

# V. METEOROLOJİK UZAKTAN ALGILAMA SEMPOZYUMU

# UZALMET 2023 BILDIRI KITAPÇIĞI

# ISBN: 978-605-7599-96-4





uzalmet.mgm.gov.tr

BİLDİRİ BAŞLIĞI	YAZARLAR	SAYFA NO
20 NİSAN 2023 DİYARBAKIR BİSMİL, KAHRAMANMARAŞ PAZARCIK HORTUM VE ADIYAMAN ÇEVRESİ DOLU HADİSELERİNİN DUAL POLARİZASYON RADAR ÜRÜNLERİYLE ANALİZİ	Ali Osman GÜLSEREN, İlker KOÇ, Nuran ALTAY, Cüneyt GEÇER, Ozan PİRBUDAK	1-16
HUNGA TONGA VOLKAN PATLAMALARININ ATMOSFER BASINCINA ETKİSİ	Muhammet Ali PEKİN, Barış ÖZGÜN, Ayşe Gökçen IŞIK, Mustafa SERT, Serap ARMUTLU, Cihan DÜNDAR,	17-34
DENİZ SUYU SICAKLIĞI ANOMALİLERİNİN HAVZALARDAKİ GÜNLÜK TOPLAM YAĞIŞ İLE KISA DÖNEMDEKİ İLİŞKİSİNİN HAZAR, KARADENİZ, MARMARA, EGE VE DOĞU AKDENİZ İLE TÜRKİYE'DEKİ HAVZALAR ÜZERİNDEN ANALİZİ	Ali Ulvi Galip ŞENOCAK, Berkin GÜMÜŞ, Ali Cem ÇATAL, M.Tuğrul YILMAZ, İsmail YÜCEL	35-49
UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİYLE KAR ANALİZİ: 23-24 OCAK 2022 İSTANBUL ÖRNEĞİ	Aylin ŞAHİN, Tolga KANATOĞLU	50-62
HİDROLOJİK MODEL İÇİN ÇOK-KRİTERLİ PARAMETRE OPTİMİZASYONUNDA UYDU ÜRÜNLERİNİN KULLANIMI	Aynur ŞENSOY, Talha ORHAN, A.Arda ŞORMAN	63-74
22 AĞUSTOS 2023 ÇANAKKALE ORMAN YANGINININ UYDU VERİLERİ İLE ANALİZİ: DOĞAL FELAKETİN İZİNİ SÜRMEK	Ayşe Gökçen IŞIK, Mustafa BORA	75-87
22-25 OCAK 2022 TARİHLERİNDE İSTANBUL GENELİNDE MEYDANA GELEN YEREL KUVVETLİ DENİZ ETKİLİ KAR YAĞIŞI (DEK) OLAYININ İNCELEMESİ	Bayram DOĞAN, Ali KAHREMAN	88-92
ÇEŞME YARIMADASI'NI ETKİLEYEN BİR KONVEKTİF YAPININ NOWCASTING (ÇOK KISA SÜRELİ HAVA TAHMİNİ) YÖNTEMLERİ TEMELİNDE İNCELENMESİ: ÖRNEK OLAY İNCELEME (11 ŞUBAT 2021, ÇEŞME)	Dr.Barış UZUN, Serdar GÖKSU	93-119
TÜRKİYE ÇEVRESİNDEKİ DENİZLERDE MEYDANA GELEN ŞİMŞEK VE YILDIRIM HADİSELERİNİN DENİZ SUYU YÜZEY SICAKLIĞIYLA İLİŞKİSİNİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ	Batuhan Ateş YILMAZ, A.Metin ÇAKIROĞLU, Prof.Dr.İhsan ÇİÇEK, Prof Dr.Necla TÜRKOĞLU, Zerrin DEMİRÖRS, Edanur GÖZET, İlker ALAN	120-135

DAĞ DALGASI MI YOKSA ATMOSFERİK YERÇEKİMİ DALGASI MI? 30 OCAK 2003 TÜRKİYE DURUM ÇALIŞMASI	Berk Yılmaz AYRANCI, Rabia Nida SOFU, Mehmet Yasin ATILGAN, Esma Nur DEMİRTAŞ, Emrah Tuncay ÖZDEMİR	136-148
ERA5-LAND, ERA-WRF, TRMM VE MSWEP VERİ SETLERİNİN TÜRKİYE ÜZERİNDE AŞIRI YAĞIŞLARI YAKALAMAKTAKİ BAŞARILARININ KARŞILAŞTIRILMASI	Berkin GÜMÜŞ, Aysu ARIK, Ali Ülvi Galip ŞENOCAK, İsmail YÜCEL, M.Tuğrul YILMAZ	149-160
CAMS AOD TAHMİNLERİNİN MODIS AOD GÖZLEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	Betül Nisa ATMACA, M.Göksu CANYILMAZ, M.Ali PEKİN, İsamettin OMAK, Nezahat ÖZ, Cihan DÜNDAR	161-174
UYDU TABANLI AGERA5 HAVA SICAKLIĞI ÜRÜNÜNÜN MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMİ İLE PERFORMANSININ ARTTIRILMASI	Çağrı KARAMAN, Zuhal AKYÜREK	175-186
GPM UYDU KAYNAKLI YAĞIŞ VERİSİNİN TÜRKİYE'DEKİ ÖRNEK ŞİDDETLİ YAĞIŞ VAKALARINDAKİ TUTARLILIK ANALİZİ	Ceyhun ÖZCAN, Onur Hakan DOĞAN	187-197
22.06.2023 TARİHİNDE MANİSA MURADİYE OSB GERİ DÖNÜŞÜM TESİSLERİNDE ÇIKAN YANGININ RADAR VE MSG UYDU VERİLERİ İLE ANALİZİ	Cüneyt GEÇER, Muharrem KUZUCA	198-207
UYDU VE METEOROLOJİK İSTASYON SICAKLIK VERİLERİNİN İKLİMSEL UYGULAMALAR İÇİN UYUMLULUĞU VE KULLANILABİLİRLİĞİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ (2000-2022)	Davut Enes TÜRKMEN, Osman ESKİOĞLU	208-219
DOĞU KARADENİZ YAĞIŞ VE SELLERİNİN TOZ TAŞINIMI VE DENİZ SUYU SICAKLIĞI İLE İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ	Edanur GÖZET, Betül Nisa ATMACA, Barış ÖZGÜN, Cihan DÜNDAR	220-246
AQUA UYDUSU MODIS SENSÖRÜ VERİLERİNE LSTM TEKNİĞİ UYGULANARAK TÜRKİYE İÇİN ORTALAMA AOD DEĞERLERİNİN TAHMİN EDİLMESİ	Emre Can AY, M.Ali PEKİN, Akif MAHUR	247-253
METEOROLOJİ RADARLARI: SEL AFETİNDE BİR SAAT ERKEN İHBAR, YANGIN AFETİNİN CANLI İZLENMESİ	Emre ÇİFTÇİBAŞI, Abdullah ALİMRAN, Eray Mete ZERAY, Tahur SIRÇACI, Öznur DURULMUŞ, K.Elif TOZKOPARAN, Bamoye MAİGA	254-260

UZUN MESAFELİ TOZ TAŞINIMININ HAVALİMANLARINA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ: 29 KASIM 2021 OLAYI	Enes BİRİNCİ, Hüseyin ÖZDEMİR, Emrah TUNCAY ÖZDEMİR	261-275
KASTAMONU İLİNDE MEYDANA GELEN SEL AFETİNİN ANALİZİ: 11 AĞUSTOS 2021	Erdem ODABAŞI, Mehmet Ayhan ERKAN	276-289
VAKA ÇALIŞMASI: ANTALYA İLİ MANAVGAT İLÇESİNDE 11 OCAK 2018'DE MEYDANA GELEN ANİ TAŞKININ FFGS ÜRÜNLERİ İLE ANALİZİ	Ertan TURGU, Alaattin UĞURLU	290-305
ADANA BÖLGESİ'Nİ KAPSAYAN HAVALİMANLARINDA MEYDANA GELEN GÖK GÜRÜLTÜLÜ FIRTINALARIN ZAMANSAL VE MEKÂNSAL ANALİZİ; 24 ARALIK 2019 ÖRNEK OLAY ÇALIŞMASI	Esra DAŞDEMİR, Ali DENİZ, Emrah Tuncay ÖZDEMİR	306-325
ERZURUM İÇİN ATMOSFERİK AEROSOLÜN KONUMSAL VE ZAMANSAL ANALİZİ	Funda YÜZLÜKOĞLU, Kazım KABA, Cahit YEŞİLYAPRAK	326-337
BARENTS DENİZİ VE SVALBARD ADASI (NORVEÇ) ÇEVRESİNİN GOOGLE EARTH ENGINE VE SENTINEL-5P UYDU VERİLERİ KULLANARAK ATMOSFERİK KİRLETİCİ EĞİLİMLERİ VE DALGACIK ANALİZİ	Furkan Ali KÜÇÜK, Erhan ARSLAN, Göksu USLULAR, H.Hakan YAVAŞOĞLU, Burcu ÖZSOY	338-350
SİS TAHMİNİNDE MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI: İSTANBUL HAVALİMANI ÖRNEĞİ	Gizem HODOĞLU, Mahmut MÜSLÜM	351-365
KARMAŞIK TOPOĞRAFYA ÜZERİNDE UYDU TABANLI YAĞIŞ TAHMİNİ HATALARININ DÜZELTMESİ İÇİN AĞAÇ TABANLI MAKİNE ÖĞRENME ALGORİTMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	Gökhan SEVİNÇ, Çağdaş SAĞIR, Orhan KARAMAN, Koray K. YILMAZ, M.Tuğrul YILMAZ, İsmail YÜCEL	366-377
ERZURUM HAVALİMANI'NDA ORAJ VE SİS HADİSELERİNİN UZAKTAN ALGILAMA İLE ANALİZİ	Emine Şeyma ESGİN, Gülara UYSAL	378-398
TÜRKİYE'DE BÜYÜK ORMAN YANGINLARI VE UYDU-MODEL VERİLERİ KULLANIMI	Gülten ÇAMALAN, İbrahim ÇAMALAN	399-416
DOPPLER SODAR PERFORMANSI VE ELDE EDİLEN VERİLERİN İSTATİKSEL DEĞERLENDİRMESİ	Doç.Dr. Haldun KARAN, Muhammet Mert ÇIRAK	417-432
TÜRKİYE'DE UYDU ÖLÇÜMLERİNDEN ELDE EDİLEN TOPRAK NEM İÇERİĞİ VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Hüseyin İLHAN, Hasan Hüseyin KAYAN	433-440

RADAR ÜRÜNLERİ KULLANARAK YAĞIŞ MİKTARININ BELİRLENMESİNDE MAKİNE ÖĞRENİMİ YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Hüseyin BULUT, Volkan Cemalettin DARENDE, İlker ALAN, Alper TÜFEK, Şemsettin KAYA	441-448
YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ UYDU- TEMELLİ DENİZ YÜZEYİ SICAKLIK ÜRÜNLERİ ARACILIĞIYLA WRF-HIDRO TAŞKIN SİMÜLASYONLARININ İYİLEŞTİRİLMESİ	İsmail YÜCEL, Berina KILIÇARSLAN, Eren DÜZENLİ, M.Tuğrul YILMAZ	449-459
AVUSTRALYA SIDNEY ŞEHRİNDE MEYDANA GELEN ŞİDDETLİ BORAN HADİSESİNİN ANALİZİ, 14 EKİM 2014	Kübra TURGUT, Emrah Tuncay ÖZDEMİR	460-476
RADAR VERİLERİNDEN ÜÇ BOYUTLU GÖRSELLEŞTİRME	Muhammed Kuddusi SARI, Yasin ESEN	477-486
SAYISAL HAVA TAHMİN MODELLERİ- INFOWORKS ICM KULLANILARAK YAĞIŞ-AKIŞ TAHMİNİ-KARABÜK YENİCE ÖRNEĞİ	Mehmet SOYLU, Yezdan YILMAZ, Murat PINARLIK	487-492
RADAR NİCEL YAĞIŞ TAHMİNLERİNİN FARKLI İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE İYİLEŞTİRİLMESİ	Mervegül ÖZDAŞ	493-503
10-11 EYLÜL 2023 TARİHİNDE MEYDANA GELEN DANIEL MEDICANE'İNİN UYDU VE SAYISAL HAVA TAHMİN MODELLERİYLE İNCELENMESİ	Berat ÇAVDAR, Muhammed ŞİMŞEK, Abdullah Emre SAFİ	504-515
ALTAR UYGULAMASININ HAVACILIK METEOROLOJİSİNDE OPERASYONEL KULLANIMI	Murat YANIK, Yusuf ÇALIK	516-527
MODIS KAR ÖRTÜSÜ FREKANSI ÜRÜNÜN (MOD10C1_CGF) ERA5-LAND KAR ÜRÜNLERİ KULLANILARAK TÜRKİYE ÜZERİNDE VALİDASYONU VE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ	Mustafa Berkay AKPINAR, Semih KUTER, Çağrı KARAMAN, Zuhal AKYÜREK	528-538
ANTALYA HAVAALANI MEZOSIKLONU	Mustafa YURTSEVEN	539-558
RADAR KURULUMUNDA 3B TOPOĞRAFYA ANALİZİ	Yasin ESEN, Nurullah BİLGİN, Aziz DENİZ	559-565
HSAF YAĞIŞ ÜRÜNLERİNİN GÖZLEM VERİLERİ İLE DOĞRULANMASI	Necati Kunter CEVHER, Oğuzhan KOLAY	566-577
AĞRI DAĞI'NIN KUZEYDOĞUSUNDA MEYDANA GELEN SELLERİN GPM İLK VERİLERİ KULLANILARAK SABİT EŞİK DEĞER YÖNTEMİ İLE ANALİZİ	Ramazan KOÇAK, Senayi DÖNMEZ, Ahmet Emre TEKELİ	578-589
YILDIRIM AKTİVİTESİ VE ŞİDDETLİ YAĞIŞLAR ARASİNDAKI İLİŞKİNİN ANALİZİ	Rıdvan AKTEPE, Zikri ÖZTAŞ	590-596

ANİ TAŞKIN ERKEN UYARI SİSTEMİ (FFGS) ÇIKTILARININ TAŞKIN TAHMİNİ PERFORMANS ANALİZİ	Salih BABAGİRAY, Cihat ADSIZ	597-618
METEOROLOJİK UZAKTAN ALGILAMA ÜRÜNLERİNİN ACİL DURUM VE AFET YÖNETİMİ SİSTEMLERİNDE KULLANILMASI	Selçuk TÜTÜNCÜ, Billur ELLİALTI, Osman ÇAYLAK, Sinan ŞAHİNOĞLU, Salim ÖZMEN	619-630
EUMETSAT H SAF PASIF MIKRODALGA RADYOMETRESİ TABANLI H13 VE H65 KAR SUYU EŞDEĞERİ ÜRÜNLERİ VE 2021 KAR SEZONU İÇİN DOĞRULAMA SONUÇLARI	Semih KUTER, Çağrı Hasan KARAMAN, Mustafa Berkay AKPINAR, Zuhal AKYÜREK	631-643
UYDU VERİLERİ ÜZERİNDEN ÜLKEMİZİN BULUT KAPALILIĞI DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ	Sena Çağla APAYDIN, Ahmet ÖZTOPAL	644-650
FLDAS MODELİ TOPRAK NEMİ İÇERİĞİ İLE ALANSAL YAĞIŞ İLİŞKİSİNİN 2022 YILI UZAMSAL DEĞERLENDİRİLMESİ: TÜRKİYE ATLASI	Sercan AKIL, Dr. Muhammed Cem AKÇAPINAR	651-667
TÜRKİYE ÜZERİNDE RADAR VE YAĞIŞ İSTASYON AĞINI KULLANARAK İYİLEŞTİRİLMİŞ YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ RADAR YAĞIŞ HARİTALARININ TAHMİNİ	M.Tuğrul YILMAZ, Kaveh P.YOUSEFI, Kurtuluş ÖZTÜRK, İsmail YÜCEL, Koray K.YILMAZ	668-677
MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE BULUT ÜRÜNLERİNİN İNCELENMESİ	Yasin ER, Orhan GÖRGÜLÜ, Yasin ESEN	678-698
SİVAS İLİ ALTINYAYLA İLÇESİNDE MEYDANA GELEN CEVİZ BÜYÜKLÜĞÜNDE DOLU HADİSESİNİN İNCELENMESİ	Denizhan EROL, Yasin YEŞİL	699-707
TÜRKİYE'DEKİ YILDIRIM VE ŞİMŞEKLERİN AKIM DÜZEYLERİ VE SAYILARI HAKKINDA İNCELEME	Yusuf Salih EROĞLU, Salih ÇAKIL	708-727
DOĞU MARMARA'DA 11 AĞUSTOS 2022 TARİHİNDE MEYDANA GELEN KUVVETLİ YAĞIŞ OLAYININ OBJEKTİF VERİFİKASYONU	Celaleddin KIZILKAYA, Zeynep Feriha ÜNAL DİNÇ, Yelis CENGİZ	728-740
PASİF MİKRODALGA VERİLERİ ÜZERİNDEN DOLU TESPİTİ	Abdurrahman DURMAZ, Ahmet ÖZTOPAL	741-749
YENİ NESİL METEOROLOJİK UYDULAR İLE ORMAN YANGINLARININ GÖZLEMLENMESİ VE YANGIN SONRASI ETKİLERİN İNCELENMESİ - 2023 ÇANAKKALE, TÜRKİYE YANGINLARI	Sema ÇİL, Mervegül ÖZDAŞ	750-760
SENTINEL ÜRÜNLERİ İLE ORMAN YANGINLARINDA SKAR BELİRLEME VE REJENERASYON İZLEME	S.Yeşer ASLANOĞLU	761-769

# 20 Nisan 2023 Diyarbakır Bismil, Kahramanmaraş Pazarcık Hortum ve Adıyaman Çevresi Dolu Hadiselerinin Dual Polarizasyon Radar Ürünleriyle Analizi

#### Ali Osman Gülseren

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Deniz Meteorolojisi Şube Müdürlüğü Ankara agulseren@mgm.gov.tr

İlker Koç Meteoroloji Genel Müdürlüğü Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü Ankara ilkerkoc@mgm.gov.tr

Nuran Altay Meteoroloji Genel Müdürlüğü Deniz Meteorolojisi Şube Müdürlüğü Ankara naltay@mgm.gov.tr

Cüneyt Geçer Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü Ankara cgecer@mgm.gov.tr

Ozan Pirbudak Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü Ankara opirbudak@mgm.gov.tr

## ÖZET

Hortum (Kasırga), konvektif bir bulut içinde gelişen ve yerle temas halinde olan, buluttan yere kadar uzanan, dar ve şiddetle dönen bir hava sütunudur. Küçük ve güçlü alçak basınç alanlarında, büyük bir hızla kendi etrafında dönen hava hareketiyle oluşur ve doğada ciddi hasarlara sebep olabilir. Bu dönen atmosferik girdaplar Dünya üzerinde bilinen en güçlü rüzgârları üretebilir. Rüzgâr görünmez olduğundan, su damlacıkları, toz ve döküntülerden oluşan bir yoğunlaşma hunisi oluşturmadığı sürece kasırganın görülmesi zordur. Kasırgalar, yaşadığımız tüm atmosferik firtınalar arasında en şiddetli olaylardan biridir.

Dolu ise yağmur damlalarının konvektif bulutlarda yukarı doğru atmosferin aşırı soğuk bölgelerine taşınması ve donması sonucu oluşur. Dolu oluşumu genellikle kümülonimbüs veya güçlü yukarı yönlü hava akımlarına sahip diğer konvektif bulutları gerektirdiğinden, genellikle fırtınalara eşlik eder . Dolu yağışı hortum gibi zaman zaman kötü sonuçlar da doğurabilmektedir.

Dual Polarizasyon radarlar, darbeleri hem yatay hem de dikey yönde iletir ve alır. Sonuç olarak geri dönen frekanslar, hedeflerin yatay ve dikey boyutlarının ölçümünü sağlayarak tahmincilere hedeflerin boyutu, şekli ve çeşitliliği hakkında daha iyi tahminler sağlar. Tahmincilere kasırga üretebilecek fırtınaları tespit etmesine yardımcı olmanın yanı sıra, tahmincilerin yüzey üzerindeki rüzgâr hızlarını ölçmesine de yardımcı olabilir, bu da tahmincilerin fırtına potansiyelini değerlendirmesine ve etkilediği alanları tespit etmesine yardımcı olabilir.

Bu çalışmada, 20 Nisan 2023 tarihinde; Diyarbakır Bismil ve Kahramanmaraş Pazarcık ilçelerinde meydana gelen Hortum hadiseleri ve Adıyamanın Gölbaşı ve Besni ilçelerinde meydana gelen Dolu hadiselerini, Gaziantep ve Şanlıurfa radarlarından alınan dual polarizasyon ürünleri ile oluşum öncesi tespiti ve etkilediği alanlar analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler — Hortum, Dolu, Reflectivity, Velocity (V), Differential Reflectivity (ZDR), Correlation Coefficient (CC), Specific Differential Phase (KDP).

### 1.GİRİŞ

Doğal afetler, toplumun sosyo-ekonomik faaliyetlerini önemli ölçüde etkileyen, can ve mal kayıplarına sebep olan doğa olayları olarak tanımlanabilir. Dünya'da gerçekleşen doğal afetlerin büyük çoğunluğu meteorolojik karakterli doğal afetlerdir.

Ülkemizde en sık görülen meteorolojik karakterli doğal afetler; dolu, sel, taşkın, don, kuraklık, şiddetli yağış, şiddetli rüzgâr, yıldırım, çığ, kar ve fırtınalardır. Afetler oluşum sebeplerine, frekans ve risklerine, etki sürelerine, başlangıç hızlarına, etki alanlarına, tahrip güçlerine, önceden tahmin edilebilirlik özelliğine, kontrol edilebilirliği ve insanlara zararına göre farklılıklar göstermektedir. Dolu afeti ele alındığında ise ülkemizde kış aylarında meydana gelen dolu olaylarının büyük bir kısmının Akdeniz Bölgesi'nde meydana geldiği görülmekte ve bununla birlikte dolu olaylarının yaz aylarında daha çok İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgeleri'ne kaydığı görülmektedir. Son yıllarda değişen iklim koşulları ile birlikte hortum hadisesinin görülme oranı da ülkemizde artış göstermektedir. Bu nedenle afetlerin gerçekleşmeden önce tahmin edilerek vereceği zararların azaltılması büyük önem taşımaktadır.

Türkiye'de son yıllarda meydana gelen afet oluşum kayıtlarına göre, en fazla meydana gelen meteorolojik karakterli doğal afetlerin fırtına, sel ve taşkınlar ile dolu olduğu görülmektedir. Meydana gelen meteorolojik karakterli doğal afetler içerisinde en büyük gerçekleşme oranı %30 ile fırtına ve kuvvetli rüzgâr afetine aittir. Bunu az bir farkla sel ve taşkınlar (%29) ve dolu (%22) afetleri izlemektedir [1].

Çapı 5mm' den büyük olan, buz kütleleri şeklinde kısa süreli sağanak olarak gerçekleşen yağışa dolu denir. Dolu yağışının gerçekleşmesi için düşey kararsızlığa bağlı olarak yukarıya doğru kuvvetli hava hareketlerinin olması gerekir. Ayrıca bulutun çeşidi, buluttaki sıvı su miktarı ve donma seviyesi de dolu oluşumu için önemli etkenlerdir. Dolu yağışı en çok ilkbahar ve yaz mevsiminde gerçekleşir. Ayrıca sonbahar ve kış mevsiminde yer seviyesi ile yüksek seviye arasında sıcaklık farkının yüksek olduğu günlerde de dolu yağışı görülmektedir. Dolu yağışının tahmin edilebilmesi için öncelikle Cumulonimbus (Cb) bulutunun tespit edilmesi gerekmektedir. Cb bulutunun tespitinde Radar, Uydu ve Yıldırım takip sistemleri kullanılmaktadır. Fırtına Dünya'da canlılar için en önemli afet riski taşıyan meteorolojik olaylardan birisidir. Rüzgâr hızının 52 ile 102 km/saat arasında esmesine fırtına denilmektedir. Hortum, fırtına çeşitlerinden dönen fırtınalar sınıfında yer almaktadır. Hortum, Cumulonimbus (Cb) bulutunun yeryüzüne kadar ulaşması

durumunda görülür. Kendi etrafında hızlı bir şekilde dönerek hareket eder. Hortum oluşumu için öncelikli olarak sıcak hava kütlesi yoğunluğu düşük olduğu için yükselerek soğuk hava kütlesi ile birleşir. Sıcak hava yükseldikçe, yer seviyesindeki basınç hızla düşmeye başlar ve kuvvetli rüzgârlar oluşur. Sıcak hava kütlesi ne kadar yükselirse rüzgâr hızı da o kadar artar. Sıcak hava kütlesi yükseldikçe soğumaya başlar ve içindeki su buharı yoğunlaşır. Su buharı yoğunlaşmaya devam ettikçe hortumun ucu yere temas eder. Hortum tespiti ve takibi için radarlar büyük önem taşımaktadır [2].

Geniş alanlarda sık aralıklarla gözlem yapmaya imkan sağlayan uzaktan algılama ürünleri olan uydu ve radarlar, erken uyarı sisteminin temelini oluşturmaktadır. Meteorolojik radarlar, yüksek zamansal ve uzaysal çözünürlüğe sahip oldukları için doğal afetlerin belirlenmesinde ve takibinde kullanılması açısından oldukça önemlidir. Radarlar atmosferin yüksek çözünürlükte ve sık aralıklarla ölçülebilmesine olanak sağlamaktadır. Anlık veri sağlaması ve uzaysal çözünürlüğün yüz metreler mertebesine indirgemesi radarı diğer ölçüm araçlarına göre ön plana çıkartmakla birlikte, birçok yağış kaynaklı afetin daha erken öngörülmesine de olanak sağlamaktadır. Nedeni ise, radarların afet kuvvetli meteorolojik hadiselerin başlangıç safhasının, hareket değişikliklerinin, gelişme ve dağılmalarının önceden tespit ve tahmin edilebilmesine imkan sağlamalarıdır [2-3].

Dual Polarizasyon Radarlar; yağışın yerini belirlemek, hareketini hesaplamak ve türünü (yağmur, kar, dolu vb.) tahmin etmek için kullanılan bir radar türüdür. Dual polarizasyon radarları çoğunlukla, yağış yoğunluğunun yanı sıra yağmur damlacıklarının hareketini de tespit edebilen radarlarıdır. Fırtınaların yapısını ve şiddetli hava koşullarına neden olma potansiyelini belirlemek için her iki veri türünü de analiz edebilirler.

Dual Polarizasyon Radarlar hem yatay hem de dikey sinyaller göndererek iki boyutta görünüm sağlarlar. Böylece yağmur, kar ve dolu arasında ayrım yaparak yağışın boyutu, şekli ve tahmini miktarı hakkında çok daha iyi bilgi sağlarlar.

Polarimetrik radarlar, yatay ve düşeyde polarize elektromagnetik dalgalar üreterek, yataydaki ZH ve düşeydeki ZV reflektivite değerlerini ölçerler. Eğer radarda çapraz polarizasyon alıcı kanalı (cross-polar receiver channel) mevcutsa kutup tesiri ZHV de ölçülebilir. Dual polarizasyon özellikli radarlar STAR (Simultaneous Transmitting and Receiving- Eş Zamanlı Gönderim ve Alım) modunda LDR ürünü hariç tüm dual polarizasyon ürünlerini aynı anda alabilirler. Radarlar istenildiğinde LDR parametresi ölçülebilecek şekilde de çalıştırılabilir [4].

Bu çalışmada, 20 Nisan 2023 tarihinde gerçekleşen Diyarbakır Bismil, Kahramanmaraş Pazarcık hortum ve Adıyaman çevresi dolu gibi meteorolojik karakterli doğal afetlerin Dual Polarizasyon Radar ile analizi incelenerek mevcut eğilimlerin varlığı araştırılmıştır.

#### 2. MATERYAL VE METOD

#### 2.1. Materyal

Materyal olarak; Kahramanmaraş Pazarcık ilçesindeki hortum ve Adıyaman çevresindeki dolu hadiseleri için Gaziantep radar verileri, Diyarbakır Bismil ilçesi hortum olayı için Şanlıurfa radar verileri kullanılmıştır.

#### 2.2. Metod

#### 2.2.1. Hortum Analizi

Hortum (Kasırga), konvektif bir bulut içinde gelişen ve yerle temas halinde olan, buluttan yere kadar uzanan, dar ve şiddetle dönen bir hava sütunudur. Küçük ve güçlü alçak basınç alanlarında, büyük bir hızla kendi etrafında dönen yukarı yönlü hava hareketiyle oluşur. Rüzgâr görünmez olduğundan, su damlacıkları, toz ve döküntülerden oluşan bir yoğunlaşma hunisi oluşturmadığı sürece hortumun görülmesi zordur.

Dual Polarizasyon Radarlar yukarı yönlü hava akımındaki dönüşü ölçebilir ve tahmincilerin bir hava akımının oluşumunu izlemesine olanak tanır. Mezosiklon alanlar (fırtına içinde dönen hava bölgesi) ve kasırga çekirdeğinin oluşumu tespit edilebilir. Bu alanların belirlenmesi için Velocity (V) ve Differential Reflectivity (ZDR) ürünlerine bakılmıştır.

Hortum konvektif buluttan oluştuğu için yapısı gereği yukarı yönde güçlü akışlar vardır. Güçlü akışlarda yerden yukarı doğru meteorolojik dışı parametrelerde ağaç gibi atmosferin üst katmanlarına kadar çıkabilir bunların tespiti için Correlation Coefficient (CC) ürünü kullanılmıştır. Yoğun yağış alanların belirlenmesi için Specific Differential Phase (KDP) ve Reflektivite (dBZ) Dual Polarizasyon Radar ürünlerinden yararlanılmıştır.

#### 2.2.2. Dolu Analizi

Dolu, yağmur damlalarının konvektif bulutlarda yukarı doğru atmosferin aşırı soğuk bölgelerine taşınması ve donması sonucu oluşur. Dolu oluşumu genellikle kümülonimbüs veya güçlü yukarı

yönlü hava akımlarına sahip diğer konvektif bulutları gerektirdiğinden, genellikle fırtınalara eşlik eder.

Yoğun yağış alanın ve dolu oluşum bölgesi tespiti için Reflektivite (dBZ). Dolu oluşumu sırasında bulut içi sirkülasyondan dolayı yağmur damlaları donup tekrar eridiği için şekil itibariyle farklılıkların tespiti için Specific Differential Phase (KDP) ve Velocity (V) ürünlerinden faydalanılmıştır [5].

Yağış cinsinin tespiti için Hydrometeor Classification (HClass) dual polarizasyon radar ürünleri kullanılmıştır.

# 2.3. Dual Polarizasyon Radar Ürünleri

# 2.3.1. Reflektivite (dBZ)

Bir yüzeyden yansıyan radyasyonun ölçüsüdür. Yüzey üzerinden yansıtılan toplam enerjinin oranı olarak tanımlanır. Bazı radar meteorolojistleri ve fırtınalar konusunda radar datasıyla çalışanlar, reflektiviteyi radar reflektivite faktörü veya eşdeğer radar reflektivite faktörü olarak söylemektedir. Değerler Şekil 1 de verilmiştir [6].



Şekil 1: Reflektivite skalası

# 2.3.2. Specific Differential Phase (KDP)

Diferansiyel Faz Kaymasındaki eğimi veya değişimi gösteren türetilmiş bir üründür. Pozitif KDP değerleri yatayda dikeyden daha büyük faz kaymasını gösterir. KDP' nin artması, yağmur damlalarının boyutu ve konsantrasyonunun arttığının ve dolayısıyla yağmur oranının arttığının bir göstergesidir. Bu, KDP' nin en yoğun yağışın meydana geldiği alanların belirlenmesinde yararlı olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 2 de değerler gösterilmiştir [7].



Şekil 2: KDP'nin tipik değerleri [8].

# 2.3.3. Differential Reflectivity (ZDR)

Yatay polarize yansıtıcılığın dikey polarize yansıtıcılığa logaritmik oranıdır. ZDR' nin pozitif değerleri, baskın hidrometeorların yatayda dikeyden daha büyük olduğunu gösterir. Negatif değerler, baskın hidrometeorların dikeyde yataydan daha büyük olduğunu gösterir. Sıfıra yakın değerler hidrometeorların boyutlarının dikey ve yatay olarak benzer olduğunu gösterir. ZDR, dolu şaftlarını tespit etmeye, yukarı yönlü hareketleri tespit etmeye, yağmur damlası boyutunu belirlemeye ve kuru kar birikimini tespit etmeye yardımcı olmak için kullanılabilir [7].

ZDR' nin Pozitif Değerleri: Yatay güç geri dönüşünün dikey güç geri dönüşünden daha fazla olduğunu, yani baskın hidrometeorların yatayda (yağmur damlaları) daha büyük olduğunu belirtir [9].

ZDR' nin Negatif Değerleri: Dikey güç geri dönüşünün yatay güç geri dönüşünden daha fazla olduğunu belirtir, bu da baskın hidrometeorların dikey yönde daha büyük olduğu anlamına gelir (dikey yönelimli kristaller veya konik graupel).

ZDR'nin Sıfıra Yakın Değerleri: yatay ve dikey güç getirilerinin benzer boyutta olduğunu gösterir. Değerler Şekil 3 de verilmiştir [9].

ZDR (dB)	-4 -2 -15	.25	<b>1 1 .</b>	522	53	4	5	6	RF
Rain		Drizzle/Small D < 1 mm	Drops	asing Drop Si 2 mm   D 3	ze <del>→</del> La 2 mm	rgest Drop D > 3 mm	5		
Hail	Significant siz	ze or small d with rain	Increasing Melting & Wei	iness →	Giant r with i	ain drops ce cores			
Graupel	Dry Conical sh	ape Increa	sing Wetness	→Wet					
Snow		Dry ——	Increasing Wetne	ess 💛 W	et				
Ice Crystals	Ag	gregated	→ Needle	Decreasing s Colum	Temp. Ins P	→ Plates			
Clutter/AP									
<b>Biological Targets</b>									
Chaff									
Debris									

Şekil 3: ZDR skala değerleri.

# 2.3.4. Correlation Coefficient (CC)

Korelasyon katsayısı (phv veya rho olarak da anılır) şekillerin tutarlılığının bir ölçüsünü sağlar ve radar ışınındaki hedeflerin boyutlarını belirler. Daha yüksek bir değer, radar hedeflerinin boyutu ve şeklinde daha yüksek bir tutarlılığı gösterirken, daha düşük bir değer, şekil ve boyutlarda daha fazla değişkenliği gösterir.

CC, meteorolojik ve meteorolojik olmayan hedefler arasında ayrım yapılmasına, eriyen katmanın bulunmasına, dev dolunun tespit edilmesine, kasırga enkazının tespit edilmesine ve diğer çift kutuplu ürünlerin kalitesinin kontrol edilmesine yardımcı olmak için kullanılabilir [7].

Katmanlı yağmur veya kar genellikle 0,97 ile 1,00 arasında CC değerleri verir. Karmaşık şekillere sahip hidrometeorlar veya hidrometeorların bir karışımı, 0,85 ile 0,95 arasında CC değerlerine sahip olacaktır. Suyla kaplı buzun herhangi bir biçimi oldukça düşük CC değerlerine sahiptir. Küçük, kuru dolu ve kuru graupel için CC 1,0' a yakındır. Yağan karın eriyip su ile kaplanmaya başladığı erime tabakası 0,65 ile 0,95 arasında CC değerleri üretir. Zemin dağınıklığı, biyolojik hedefler, saman ve rüzgârla savrulan enkaz, ölçeğin alt ucunda, tipik olarak 0,7' den düşük CC değerlerine sahiptir. Değerler Şekil 4 de gösterilmiştir [9].



Şekil 4: CC skala değerleri.

# 2.3.5. Velocity (V)

Hız, Doppler radarları tarafından üretilen ve hedeflerin hareketini ve hızını belirtmek için kullanılan temel çarpımlardan biridir. Radar sabit bir konumda olduğundan, yalnızca bir hedefin radara doğru veya radardan ne kadar hızlı hareket ettiğini ölçebilir. Buna radyal hız denir ve gerçek hızdan farklıdır. Bu önemlidir çünkü radyal hız neredeyse her zaman gerçek hızdan azdır [10]. Değerler Şekil 5 de belirtilmiştir [11].



Şekil 5: Velocity skala değerleri.

Geleneksel olarak yeşil renkler radara doğru esen rüzgârları gösterir ve hız değerleri negatiftir. Kırmızı renkler radardan uzaklaşan rüzgârları gösterir ve hız değerleri pozitiftir. Aşağı doğru esen rüzgârlar negatif, yukarı doğru esen rüzgârlar pozitiftir [10].

# 2.3.6. Hydrometeor Classification (HClass)

HCA, NEXRAD tarafından gerçekleştirilen ve radar ışınındaki yankıların en muhtemel türünü belirlemeye çalışan karmaşık bir algoritmadır. 10 hidrometeor türü üretmek için çeşitli temel momentleri (yansıma, hız, ZDR, CC, KDP) çevresel verilerle (Erime Katmanı seviyeleri) birleştirir [12]. Veriler Şekil 6 da verilmiştir.



Sekil 6: Hydrometeor sınıflandırma.

# **3. BULGULAR**

# 3.1. 20 Nisan 2023 Kahramanmaraş Pazarcık Hortum Analizi



Şekil 7: Gaziantep Radarı Dual Polorizasyon ürünleri.

Şekil 7 incelendiğinde Reflectivity (dBZ) değerlerinin (Sol üst köşe) 55-60 dBZ civarında olduğu, Velocity (V) ürününde (Üst orta) yoğunluğun olduğu yerde kuvvetli bir Mezosiklonik dönüşün varlığı saptanmıştır. Specific Differential Phase (KDP) (Sağ üst köşe) değerinin 3.9 olduğu tespit edilmiş olup buda yağmur veya dolu tanelerinin boyutunun büyüdüğünü ve bulut içinde dikey yönde kuvvetli bir dönüş içinde olduğu ipucunu vermektedir.

ZDR değeri; 11:25'de (Alt orta) 2.0 pozitif değerinden, 11:31 (Sağ alt köşe) bir anda 5.0-6.0 pozitif değerine ulaşması, bulut içi çok kuvvetli akışlardan dolayı yağmur damlalarının kısa bir sürede çok büyüdüğünü ve kristalize olduğunu göstermektedir. Correlation Coefficient (CC) (Sol alt köşe) değeri 0,85 ile 0,95 arasındadır.

Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere işaretli bölgede hortumun oluştuğu tespit edilmiştir. Hortumun nereleri etkilediği ve velocity ürününden daha başka hortum oluşma ihtimali olup olmadığı belirlenebilmektedir.



### 3.2. 20 Nisan 2023 Diyarbakır Bismil Hortum Analizi

Şekil 8: Şanlıurfa Radarı Dual Polorizasyon ürünleri.

Şekil 8 incelendiğinde Reflectivity (dBZ) değerlerinin (Sol üst köşe) 55-60 dBZ civarında olduğu ve çengel (Hook) eko görüntüsü oluştuğu tespit edilmiştir. Velocity (V) ürününde (Üst orta) yoğunluğun olduğu yerde kuvvetli bir Mezosiklonik dönüşün varlığı saptanmıştır. Specific Differential Phase (KDP) (Alt orta) değerinin 0.10 dan 0.75 değerlerine kadar çıktığı

gözlemlenmiştir. ZDR değeri; 11:07'de (Sağ alt köşe) -1.0 ile -3.0 negatif değerinden, 11:13 (Sağ üst köşe) bir anda 5.0-6.0 pozitif değerine ulaşması, bulut içi çok kuvvetli akışlardan dolayı yağmur damlalarının kısa bir sürede çok büyüdüğünü ve kristalize olduğunu göstermektedir. Correlation Coefficient (CC) (Sol alt köşe) değeri 0,85 ile 0,95 arasındadır.

Bu çalışmada da Dual Polarizasyon ürünlerinden hortumun oluştuğu bölge tespit edilmiştir.



# 3.3. 20 Nisan 2023 Adıyaman Çevresi Dolu Analizi

Şekil 9: Gaziantep Radarı Dual Polorizasyon ürünleri.

Şekil 9 incelendiğinde Reflectivity (dBZ) değerlerinin (Sol üst) 55-60 dBZ civarında olan bölgeler daire içinde gösterilmiştir. Velocity (V) ürününde (Sağ üst) dBZ ürününde daire içinde belirlenen alanlarda küçük bölgelerde yer yer kuvvetli mezosiklonik dönüşle birlikte çoğunlukla pozitif

yüksek değerler gözlemlenmesi yukarı doğru kuvvetli akışlar olduğunun belirtisidir. ZDR (Sağ alt) değeri belirlenen alanlarda 3.0-5.0, 5.0-6.0 ve yer yer 6.0 ve üzeri pozitif değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Bulut içi dikey yönde çok kuvvetli akışlardan dolayı yağmur damlalarının kısa bir sürede çok büyüdüğünü ve kristalize olduğunu gösterir. Hydrometeor Classification (HClass) (Sol alt) ürününde daire içindeki alanda dolu olduğunu tespit etmiştir.



Şekil 10: Gaziantep Radarı Dual Polorizasyon ürünleri.

Şekil 10 incelendiğinde HClass (Sol alt) 12:01 deki El:0.5 açısındaki değerlerinde doluyu tespit ettiği alanlar daire içine alınmıştır. ZDR (Sağ üst) değeri 6.0 ve üzeri pozitif değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. HClass (Sağ alt) 12:01 deki El:1.3 açısındaki değerlerinde yani atmosferin üst

katmanlarında da dolu taneleri tespit edilmiştir. Buda bize daire içindeki alanlarda büyük çapta dolu olma ihtimalinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Radar sistemleri gerçekleşen anlık hava durumunun incelenmesinde ve sistemin kısa zamanda hangi yönde nasıl ilerlediği hakkında bilgi vermektedir. Bu nedenle uzaktan algılama ürünleri kısa süreli hava tahmini için oldukça önemlidir. Bu çalışmada radar ile örnek hadiselerin tespiti incelenmiştir. 20 Nisan 2023 tarihinde Adıyaman Bismil örneğinde incelenen radar verilerinde görüldüğü gibi kuvvetli dolu yağışının meydana geldiği alanlar görülmüştür. Aynı tarihte gerçekleşen Kahramanmaraş Pazarcık ve Diyarbakır Bismil'deki hortumların süper hücre kaynaklı, mezosiklonik hortum olduğu ve meydana geldiği yer tespit edilmiştir. Atmosferdeki sıcaklık ve nem oranının artması fırtına, kasırga ve tornadoların da artmasına neden olacağı öngörülmektedir. Ülkemizde hortumlar dar bir alanda kısa süreli gerçekleştiği için tahmin edilmesi oldukça zordur. Dual Polarizasyon radarlar, hedeflerin yatay ve dikey boyutlarının ölçümünü sağlayarak tahmincilere hedeflerin boyutu, şekli ve çeşitliliği hakkında daha iyi bilgiler verir. Tahmincilere kasırga üretebilecek fırtınaları tespit etmesine yardımcı olabilir, bu da tahmincilerin fırtına potansiyelini değerlendirmesine ve etkilediği alanları tespit etmesine yardımcı olabilir. Dual Polarizasyon Radar ürünlerin ölçünesine de yardımcı olabilir, bu da tahmincilerin fırtına potansiyelini

#### KAYNAKLAR

[1] Ceylan, A., & Kömüşcü, A. Ü., Meteorolojik karakterli doğal afetlerin uzun yıllar ve mevsimsel dağılımları, İklim Değişikliği ve Çevre, (1-10), Dergipark, 2008.

[2] https://www.researchgate.net, Ünal A., Çil S., Uzaktan Algılama ve Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler, Son Kontrol: 01.10.2023.

[3] Eminoğlu, S., Beştepe, F., Geçer, C., & Öztürk, K., Meteorolojik Karakterli Doğal Afetlerin Tahmininde Meteoroloji Radarlarının Kullanılması, TMMOB Afet Sempozyumu, 2007.

[4] https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiradarlari.aspx?s=dual, Son Kontrol: 01.10.2023.

[5] https://www.weather.gov/jan/dualpolupgrade-applications, Son Kontrol: 01.10.2023.

[6] https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiradarlari.aspx?s=sozlukR#:~:text=Reflektivite%
3A%20Bir%20y%C3%BCzeyden%20yans%C4%B1yan%20radyasyonun,radar%20reflektivite%
20fakt%C3%B6r%C3%BC%20olarak%20s%C3%B6ylerler, Son Kontrol: 01.10.2023.

[7] https://www.weather.gov/jan/dualpolupgrade-products, Son Kontrol: 01.10.2023.

[8] http://weather.ou.edu/~scavallo/classes/metr\_4491\_5491/DualPol.OnePager.pdf, Son Kontrol: 01.10.2023.

[9] https://www.lakeeriewx.com/Reference/Radar/Radar.html Son Kontrol: 01.10.2023.,

[10] https://www.noaa.gov/jetstream/velocity, Son Kontrol: 01.10.2023.

[11] https://training.weather.gov/wdtd/courses/rac/documentation/rac19-velocity.pdf, Son Kontrol: 01.10.2023.

[12] https://www.grlevelx.com/manuals/grlevel3\_2/hca.htm, Son Kontrol: 01.10.202

# Hunga Tonga Volkan Patlamalarının Atmosfer Basıncına Etkisi

#### **Muhammet Ali Pekin**

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü Erzurum mapekin@mgm.gov.tr

Barış Özgün Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğü Trabzon bozgun@mgm.gov.tr

#### Ayşe Gökçen Işık

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü Ankara agisik@mgm.gov.tr

#### Mustafa Sert

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Sistem Yönetimi ve Donanım Şube Müdürlüğü Ankara msert@mgm.gov.tr

#### Serap Armutlu

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü Ankara sarmutlu@mgm.gov.tr

#### Cihan Dündar

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü Ankara cdundar@mgm.gov.tr

#### ÖZET

15 Ocak 2022'de 04:14 UTC'de, Avustralya'nın doğusunda bulunan Hunga Tonga Volkan patlaması sonucu, küresel ölçekte atmosfer basıncı dalgalanması yaşanmıştır. Volkan patlamasının yarattığı basınç sıçraması dünya genelinde ölçüm yapan Meteoroloji İstasyonlarında gözlemlenmiştir. Literatürde, ses hızında sabit hareket ettiği kabul edilen basınç dalgalanmasının (Lamb Dalgası); 16.000 km uzaklıktaki Türkiye'ye 13 saat 22 dakika sonra, saat 17:36 UTC'de ulaşacağı hesaplanmıştır. Çalışmada; Türkiye'de homojen dağılan 4 adet Otomatik Meteoroloji İstasyonunun (Bursa, Kars, Marmaris, Tokat) 1 dakikalık basınç verileri analiz edilmiştir. Yanardağ patlamasıyla oluşan küresel basınç dalgası, meteoroloji uyduları ile tespit edilen ilk olay olmuştur. Oluşan basınç dalgalanması Otomatik Meteoroloji İstasyonlarının yanı sıra Meteosat-8 Uydusu ile de tespit edilmiştir.

Yapılan analiz sonuçlarına göre; basınç dalgalanması, basınç ölçümlerinde yaşanan yukarı yönlü ani sıçrama ile ilk olarak Türkiye'nin kuzey doğusunda görülmüş ve Türkiye'nin güney batısından terk etmiştir. 673 Otomatik Meteoroloji İstasyonunun 15 Ocak 2022 tarihli dakikalık deniz seviyesine indirilmiş basınç verileri analiz edilerek, şok dalgasının Türkiye üzerindeki hareketi haritalandırılmıştır. Lamb Dalgalarının Meteoroloji İstasyonları için hesaplanan varış zamanları uydu görüntüleri ile de teyit edilmektedir. Meteosat-8 uydu görüntülerine göre (IR6.2); Lamb Dalgası Türkiye'nin doğusundan 18:30 UTC'de girmiş ve 20:00 UTC'de Türkiye'den ayrılmıştır.

Anahtar Kelimeler - Hunga Tonga, Volkanik Patlama, Şok Dalgası, Lamp Dalgası, Basınç, Deniz Seviyesi Basıncı.

## 1. GİRİŞ

Dünyanın varoluşundan bu yana yaşanmakta olan volkan patlamaları, yeryüzü üzerinde önemli etkileri olan doğal olaylardır. Volkanik patlamalar sırasında atmosfere bol miktarda kükürt ve fosfat aerosolleri yayılmaktadır. Aerosol emisyonları troposferde hava kalitesini olumsuz etkilerken, stratosferde dünyaya ulaşan güneş enerjisi miktarını azalttığı için iklimde kısa süreli soğumaya neden olmaktadır.

İskoçya'da yapılan bir çalışmada, 1783-1784 yılları arasında İzlanda'da meydana gelen volkanik patlamalar sonucunda, patlamadan sonraki yıllarda sıcaklıklarda 2,6 °C'ye varan düşüşlerin gözlemlendiği belirtilmektedir (Cole-Dai., 2010; Dawson vd., 2021; Di Martino vd., 2021).

Endonezya'da, 1815'de meydana gelen Tambora Yanardağı patlaması sonucu yaklaşık 12 bin kişinin öldüğü, 1816 yılının "yaz yaşanmayan yıl" olarak kayıtlara geçtiği ve her iki yanardağ patlamasından sonra kıtlık, kuraklık ve salgın hastalıkların baş gösterdiği bilinmektedir (TUJJB-TÜVAK Bülteni, 2015).

Filipinler'deki Pinatubo Yanardağının 1991'de patlaması sonucu; yaklaşık 20 milyon tona ulaşan emisyonlar stratosfere kadar ulaşmış ve ekvatordan kutuplara kadar yayılarak gezegeni kaplamıştır. Stratosfer tabakasında aylarca hatta yıllarca kalan aerosoller, güneş ışığını geri yansıtmış ve yeryüzünde soğumaya neden olmuştur. 1991-1993 yılları arasında gözlemlenen küresel soğuma yaklaşık 0.47°C olarak tespit edilmiştir (Chen vd., 2012).

İzlanda'da 2010'da faaliyete geçen Eyjafjallajökull Yanardağının püskürttüğü küller, 100 binden fazla uçak seferinin iptaline ve uluslararası uçuşlarda bir hafta boyunca büyük bir kaos yaşanmasına yol açmıştır. Stratosfer tabakasına kadar ulaşan emisyonlar, Türkiye'nin 2011 yılı sıcaklık ortalamasının 2000'li yıllardan sonra ilk defa uzun yıllar ortalamasının altında kalmasına neden olmuştur. Küresel olarak dünyanın 0.4-0.5 °C soğumasına neden olduğu belirtilen Pinatubo Yanardağ patlaması, Türkiye'nin 1992 sıcaklık ortalamasının 1981-2020 normalinin yaklaşık 2 °C altında olmasına yol açmıştır (Şekil-1).



Şekil-1. Türkiye Sıcaklık anomalileri, °C (Kaynak: MGM)

Atmosferde büyük volkanik patlamalar sonucunda Lamb Dalgaları olarak adlandırılan akustik dalgalar oluşmaktadır. Lamb Dalgaları, troposferin tüm seviyelerinde yatay harekete sahip olan ve yüzeyde maksimum basınç sıçraması yaratan harekettir. Dünyanın dönmesinden çok az etkilenen bu dalgalar ses hızında hareket etmektedir (Gossard ve Hooke, 1975).

Volkanik patlama, atmosferdeki teorik maksimum hızları 320 m/s olan ve tüm gezegeni kapsayan şok dalgalarına neden olmuştur. Bu patlama; yer seviyesinde 318,2±6 m/s ve stratosferde ise 308±5 ila 319±4 m/s arasında hızla yayılan Lamb Dalgalarını tetiklemiştir (Wright vd., 2022).

Volkanik patlamalar sıklıkla basınç dalgalanmalarına neden olur. İngiltere'de yapılan bir araştırmada; basınçtaki hızlı yükseliş ve düşüş serisinin yaklaşık 30 dakika kadar sürdüğü belirtilmektedir. Küresel Sismik Ağ (GSN) tarafından, Hunga Tonga Volkanı patlaması ile atmosfer basıncının küresel ölçekte yaklaşık 2 hPa arttığı tespit edilmiştir (Burt, 2022; Kubota vd., 2022; Le Pichon, 2005).

Hunga Tonga volkan patlamasının basınç üzerindeki etkisi küresel ölçekte gözlenmiştir. Bu etki, bu açıdan ilk örnektir. Volkan patlaması atmosfer basıncında sıçramaya neden olmuştur. Yaklaşık olarak ses hızında hareket eden Lamb Dalgaları, aynı zaman diliminde dünyanın farklı yerlerinde gözlemlenmiştir (Amores vd., 2022; Sepic vd., 2022).

Bu çalışmada; Pasifik Okyanusundaki Hunga Tonga - Hunga Ha'apai yanardağında, 15 Ocak 2022 tarihinde, saat 04:14 UTC'de meydana gelen patlamanın Türkiye'de ölçülen basınç değerlerine etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir.

# 2. VERİ VE YÖNTEM

# 2.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri

Hunga Tonga Yanardağı, Avustralya'nın doğusunda ve Türkiye'ye yaklaşık 16.000 km uzaklıkta yer almaktadır (Şekil-2).

15 Ocak 2022'de, 04:14 UTC'de büyük bir patlamayla faaliyete geçen Hunga Tonga Yanardağı, ABD Jeoloji Servisine göre 5,8 büyüklüğünde sismik dalgalara ve tsunamiye neden olmuştur. Volkan patlaması, kaynağından 18.000 km uzaktaki tropik Pasifik bölgesi de dahil olmak üzere tüm okyanusu etkileyen tsunami dalgaları üretmiştir (Sepic vd., 2022).



Şekil-2. Hunga Tonga Yanardağı yer bulduru haritası.

Okyanusta yaklaşık 500 km çapında bir alanda etkili olan volkan patlaması (Şekil-3), takip eden birkaç saat içinde orta stratosferde (yaklaşık 40 km yükseklikte) benzeri görülmemiş büyük ölçekli Lamb Dalgalarını ortaya çıkarmıştır. Bu patlama, orta stratosferde oluşan bir akustik dalganın potansiyel olarak uzaydan gözlemlenen ilk olayı olabilir (Hindley vd., 2022).



**Şekil-3.** NASA Earth Observatory GOES-17 Uydu Görüntüleri (Kaynak: Jeofizik Araştırma Mektupları)

## 2.2.Veri

Volkan patlamasının atmosferde yarattığı şok dalgasının Türkiye üzerindeki etkisini incelemek amacıyla; Türkiye'nin doğu, orta ve batı bölümlerinde seçilen toplam 4 adet istasyonun (Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu, OMGİ) 15 Ocak 2022 tarihine ait 1 dakikalık deniz seviyesine indirilmiş hava basıncı ölçümleri incelenmiştir (Tablo-1 ve Şekil-4). Ayrıca, 673 Otomatik Meteoroloji İstasyonunun, 15 Ocak 2022 tarihli dakikalık deniz seviyesine indirilmiş basınç verileri analiz edilerek, şok dalgasının Türkiye üzerindeki hareketi haritalandırılmıştır.

Tablo-1: Seçilen Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonları (OMGİ)

İstasyon	İst. No.	Enlem	Boylam	Yük.	Mesafe
Kars	17097	40.606059	43.111878	1.777 m	15.758 km
Tokat	17086	40.331167	36.557667	611 m	16.279 km
Bursa	17116	40.230827	29.013347	100 m	16.830 km
Marmaris	17298	36.839542	28.245166	16 m	17.104 km



Şekil-4. Seçilen Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonları (OMGİ)

# 2.3. Yöntem

Patlamanın yarattığı Lamb Dalgasının Türkiye'ye varış zamanının hesaplanabilmesi için Lamb Dalgasının ses hızıyla (343,2 m/s) hareket ettiği ve Hunga-Tonga Yanardağı ile Türkiye arasındaki mesafenin yaklaşık 16.500 km olduğu kabul edilmiştir (Denklem 1).

Lamb Dalgası Geliş Zamanı = Mesafe / Ses Hızı (1)

Eşitlik 1'de; Mesafe = 16.500 km, Ses Hızı = 1.235,5 km/saat (343,2 m/s) olarak alındığında, Lamb Dalgasının Türkiye'ye geliş süresi teorik olarak 13,4 saat olarak hesaplanmıştır.

İkinci aşamada; bölge müdürlüklerinde ölçülen deniz seviyesi basınç değerleri incelenerek Lamb Dalgasının istasyonlara varış zamanları belirlenmiştir. Basıncın hızla yukarıya doğru hareket etmeye başladığı an, Lamb Dalgasının istasyona varış zamanı olarak alınmıştır.

#### **3. HESAPLAMA VE BULGULAR**

15 Ocak ve 16 Ocak 2022 tarihlerine ait ortalama deniz seviyesi basınç değerleri ile hazırlanan ve ülkemizi etkileyen basınç merkezleri ile soğuk ve sıcak cephe sistemlerini gösteren sinoptik yer haritaları Şekil-5'te verilmiştir. Basınç haritalarına göre, alçak basınç merkezi ve cephe sistemi Rusya üzerinde bulunmaktadır. Ayrıca bu dönemde Karadeniz'in kuzeyinden soğuk cephe geçmektedir. Türkiye'nin doğusunda da yüksek basınç merkezi vardır ve bu nedenle baskı artma eğilimindedir. 15 Ocak'ta batı kesimlerde bulunan 1016 hPa izobar değerinin 24 saatlik sürede yatay hareketi ile Türkiye'nin iç kesimlerine ulaştığı görülmektedir. Bunun sonucunda istasyonlarda ölçülen basınçta artış eğilimi gözlenmektedir. Şekil-6'da verilen 500 hPa yüksek seviye haritalarında ise, Alçak Basınç Merkezinin yüksek seviyedeki hareketi görülmektedir.



Şekil-5. 15 ve 16 Ocak 2022 tarihlerine ait Sinoptik Yer Haritaları



Şekil-6. 15 ve 16 Ocak 2022 tarihlerine ait 500 hPa Haritaları

1 dakikalık veri kayıtlarından elde edilen 15 Ocak 2022 tarihli deniz seviyesine indirilmiş basınç ölçümleri Şekil-7'de verilmiştir. Basınç değişimleri incelendiğinde Lamb Dalgasının, patlamadan

14 saat 21 dakika sonra 18:35 UTC'de, Türkiye'nin kuzeydoğusunda bulunan Kars istasyonu basınç ölçümlerine yansıdığı görülmektedir. Atmosferde hareket eden şok dalgasının neden olduğu basınç sıçraması, 19:15 UTC'de Tokat, 19:35 UTC'de ise Bursa Meteoroloji İstasyonunda kayıt edilmiştir. Hareketine devam eden şok dalgası, patlamadan 15 saat 45 dakika sonra 19:59 UTC'de Marmaris'e ulaşmış ve Türkiye'nin güney batısından ülkemizi terk etmiştir (Şekil-7).

Tablo-2'de verilen hesaplamalara göre; Lamb Dalgası ilk olarak 18:35 UTC'de Kars Meteoroloji İstasyonunda gözlenmiş ve öncelikle deniz seviyesine indirilmiş basınç değerinin 26 dakika içinde 2,7 hPa artmasına, daha sonra ise 15 dakika içinde 2,9 hPa azalmasına neden olmuştur. Basınç sıçramaları, benzer zaman dilimlerinde ve benzer basınç farklarıyla diğer istasyonlarda da gözlenmiştir. En yüksek basınç artışı (3,6 hPa) ve azalışı (-5,7 hPa) Tokat istasyonu ölçümleri için hesaplanmıştır.

Yapılan basınç analizlerine göre Lamb Dalgasının, ses hızının biraz altında, ortalama 303,1 m/sn hızla hareket ettiği hesaplanmıştır. Lamb dalgasının gözlem istasyonuna varış süresi ve basınç hareketinin başladığı ana göre hesaplanan ortalama hızları Tablo 3'te verilmiştir.

	Baş	langıç	Zi	irve	В	itiş	Art	1Ş	Aza	alış
İstasyonlar	Zaman (UTC) a	Basınç (hPa) b	Zaman (UTC) c	Basınç (hPa) d	Zaman (UTC) e	Basınç (hPa) f	c-a (dk.)	d-b (hPa)	e-c (dk.)	f-d (hPa)
Kars	18:35	1009,9	19:01	1012,6	19:16	1009,7	26	2,7	15	-2,9
Tokat	19:15	1016,9	19:35	1020,5	19:56	1014,8	20	3,6	21	-5,7
Bursa	19:35	1021,9	19:59	1024,1	20:21	1020,5	24	2,2	22	-3,6
Marmaris	19:59	1015,5	20:16	1018,6	20:36	1013,4	17	3,1	20	-5,2
Ortalama		1016,1		1019,0		1014,6	21,8	2,9	19,5	-4,3

 Tablo-2: Deniz Seviyesine İndirilmiş Basınç Analizleri

Tablo-3: Lamb Dalgasının Geliş Süresi ve Hızı

İstasyonlar	Geliş Süresi (Saat)	Lamb Dalgası Hızı (m/s)
Kars	14,4	305,0
Tokat	15,0	301,1
Bursa	15,4	304,6
Marmaris	15,8	301,7
Ortalama	15,1	303,1



Şekil-7. İstasyonların Deniz Seviyesine İndirilmiş Basınçları, 15 Ocak 2022

673 OMGİ'nin 1 dakikalık deniz seviyesine indirilmiş basınç değerleri analiz edilerek, Lamb Dalgasının Türkiye üzerindeki hareketi haritalandırılmıştır. Atmosfer basıncında sıçramaya neden olan şok dalgasının Türkiye'yi, doğu-kuzeydoğusundan etkilemeye başladığı ve batıya doğru hareket ederek güneybatısından ayrıldığı görülmektedir (Şekil 8). Türkiye'nin şok dalgasına maruz kalma süresi yaklaşık 1,5 saat olarak hesaplanmıştır (Pekin M. A., vd., 2023).



Şekil-8. Lamb Dalgası Geliş Zamanları, UTC, 15 Ocak 2022 (Pekin M. A., vd., 2023)

Yapılan literatür incelemesinde, benzer basınç sıçramalarının dünyanın bütün bölgelerinde yaşandığı görülmüştür. Beklendiği gibi yaklaşık olarak ses hızında ilerleyen Lamb Dalgası için yapılan hesaplamalar diğer çalışmalarla tutarlıdır (Amores vd., 2022; Burt, 2022; Hindley vd., 2022; Kubota vd., 2022; Sepic vd., 2022). Yapılan çalışmalarda Lamb Dalgasının hızı yaklaşık 312 m/s (Bretherton, 1969), 310 m/s (Imamura vd., 2022), 300 m/s (Kubota vd., 2022) olarak verilmektedir. Büyük Britanya ve İrlanda'da 21 istasyon için yapılan bir diğer çalışmada Lamb Dalgasının ortalama hızı 311 ila 321 m/s arasında hesaplanmıştır (Burt S., 2022).

İsviçre ve Büyük Britanya'da yapılan çalışmalar aşağıda örnek olarak verilmiştir. Şekil-9'da, 6 adet İsviçre Meteoroloji İstasyonunda ölçülen basınç sıçramaları bulunmaktadır. Grafik üzerinde de görüldüğü gibi şok dalgası, volkan patlamasından yaklaşık 15.25 saat sonra, 19:30 UTC'den itibaren İsviçre Meteoroloji istasyonlarında basınç sıçramalarına neden olmuştur.



**Şekil-9.** İsviçre Meteoroloji İstasyonları Deniz Seviyesine İndirilmiş Basınç Değerleri, hPa, 15 Ocak 2022, (EUMETSAT)

Stephen Burt (2022) tarafından; Büyük Britanya'daki meteoroloji istasyonlarına ait deniz seviyesine indirilmiş basınç değerleri kullanılarak yapılan çalışmada, basınç değerlerinde yaşanan sıçramalar analiz edilerek, şok dalgasının Britanya üzerindeki hareketi gösterilmektedir (Şekil-10). Yapılan hesaplamalara göre; 18:10 UTC civarında Britanya'nın en kuzeyindeki Lerwick istasyonunda başlayan Lamb Dalgasının hareketi, 19:00 UTC'den sonra Jersey istasyonunda yapılan basınç ölçümlerini etkileyerek adayı terk etmiştir.



**Şekil-10.** Büyük Britanya Meteoroloji İstasyonları Deniz Seviyesine İndirilmiş Basınç Değerleri ve Lamb Dalgasının İstasyonlara Ulaşma Saatleri, hPa, 15 Ocak 2022, (Burt S., 2022)

Hesaplanan varış süreleri Meteosat-8 ve Meteosat-11 uydu görüntüleri ile doğrulanmaktadır (Şekil-11, Şekil-12). Meteosat-8 uydu görüntülerine (ardışık iki taramadaki WV6.2 sıcaklık değeri farkı) göre, Lamb Dalgasının Türkiye'nin doğusundan saat 18:30 UTC'de girdiği görülmektedir. Uydu verilerine göre, 19.30 UTC'de Doğu Akdeniz'i etkisi altına alan Lamb dalgasının 20.00 UTC'de Türkiye'den ayrıldığı belirlenmiştir.

Hunga Tonga Volkan patlamasının atmosferde yarattığı şok dalgasının oluşumu ve yayılımı, Japonya Meteoroloji Ajansı tarafından işletilen Himawari-8 uydu görüntüleri ile de tespit edilmiştir (Şekil-13).


**Şekil-11.** Lamb Dalgalarının Varış Zamanları (kesik çizgiler), Meteosat-8, ardışık iki taramadaki WV6.2 sıcaklık değeri farkı, EUMETSAT



**Şekil-12.** Lamb Dalgalarının Varış Zamanları (kesik çizgiler), Meteosat-11, ardışık iki taramadaki WV6.2 sıcaklık değeri farkı, EUMETSAT



Şekil-13. Şok Dalgasının Himawari-8 Uydu Görüntüleri, EUMETSAT

# 4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

15 Ocak 2022 tarihindeki Hunga Tonga volkan patlamalarından kaynaklanan Lamb Dalgası, küresel olarak atmosfer basıncında dalgalanmalara neden olmuştur. Teorik olarak ses hızında hareket etmesi beklenen Lamb Dalgası, Hunga Tonga Yanardağına yaklaşık 16.000 km uzaklıktaki Türkiye'ye, ortalama 303,1 m/s hızla, 15,1 saatte ulaşmıştır. Basınç, tüm dünyada olduğu gibi, ülkemizde yapılan ölçümlerde de önce artış eğilimi göstermiş, zirve değerine ulaştıktan sonra tekrar düşüşe geçmiştir. İncelenen 4 istasyonun ortalamalarına göre basınç; 21,8 dakikada 2,9 hPa artmış ve sonraki 19,5 dakikada 4,3 hPa azalmıştır. En yüksek artış; 20 dakikada 3,6 hPa ile Tokat'ta, en yüksek düşüş ise; 21 dakikada 5,7 hPa ile yine aynı istasyonda hesaplanmıştır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Amores, A., Monserrat, S., Marcos, M., Argüeso, D., Villalonga, J., Jordà, G., & Gomis, D. (2022). Numerical Simulation of Atmospheric Lamb Waves Generated by the 2022 Hunga-Tonga Volcanic Eruption. Geophysical Research Letters, 49 (6). https://doi.org/10.1029/2022GL098240
- [2] Bretherton, F. P. (1969). Lamb waves in a nearly isothermal atmosphere. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 95(406), 754–757. https://doi.org/10.1002/qj.49709540608
- [3] Burt, S. (2022). Multiple airwaves crossing Britain and Ireland following the eruption of Hunga Tonga–Hunga Ha'apai on 15 January 2022. Weather, 77(3), 76–81. https://doi.org/10.1002/wea.4182
- [4] Chen, F., Yuan, Y., Wei W., Wang L., Yu S., Zhang R., Fan Z., Shang H., Zhang T., Li Y. 2012. Treering density-based summer temperature reconstruction for Zajsan Lake area, East Kazakhstan. International Journal of Climatolology 32: 1089–1097.
- [5] Cole-Dai, J. (2010). Volcanoes and climate. WIREs Climate Change, 1(6), 824–839. https://doi.org/10.1002/wcc.76
- [6] Dawson, A. G., Kirkbride, M. P., & Cole, H. (2021). Atmospheric effects in Scotland of the AD 1783–84 Laki eruption in Iceland. The Holocene, 31(5), 830–843. https://doi.org/10.1177/0959683620988052

- [7] De Angelis, S., Haney, M. M., Lyons, J. J., Wech, A., Fee, D., Diaz-Moreno, A., & Zuccarello, L. (2020). Uncertainty in Detection of Volcanic Activity Using Infrasound Arrays: Examples From Mt. Etna, Italy. Frontiers in Earth Science, 8, 169. https://doi.org/10.3389/feart.2020.00169
- [8] Di Martino, R. M. R., Camarda, M., & Gurrieri, S. (2021). Continuous monitoring of hydrogen and carbon dioxide at Stromboli volcano (Aeolian Islands, Italy). Italian Journal of Geosciences, 140(1), 79–94. https://doi.org/10.3301/IJG.2020.26
- [9] Explosive eruption of the Hunga Tonga volcano—CIMSS Satellite Blog, CIMSS. (n.d.). Retrieved 14 November 2022, from https://cimss.ssec.wisc.edu/satelliteblog/archives/44252
- [10] Gossard, E. E., & Hooke, W. H. (1975). Waves in the atmosphere: Atmospheric infrasound and gravity waves: their generation and propagation. Elsevier Scientific Pub. Co.
- [11] Hindley, N., Hoffmann, L., Alexander, M. J., Mitchell, C., Osprey, S., Randall, C., Wright, C., & Yue, J. (2022). The global reach of gravity waves at the stratospheric speed limit from the 2022 Hunga Tonga volcanic eruption [Other]. display. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-10645
- [12] Hunga Tonga-Hunga Ha'apai major eruptions | EUMETSAT. (n.d.). Retrieved 14 November 2022, from https://www.eumetsat.int/hunga-tonga-hunga-haapai\_2022
- [13] Hunga Tonga-Hunga Ha'apai major eruptions, EUMETSAT, https://www.eumetsat.int/hunga-tonga-hunga-haapai\_2022
- Imamura, F., Suppasri, A., Arikawa, T., Koshimura, S., Satake, K., & Tanioka, Y. (2022). Preliminary Observations and Impact in Japan of the Tsunami Caused by the Tonga Volcanic Eruption on January 15, 2022. Pure and Applied Geophysics, 179(5), 1549–1560. https://doi.org/10.1007/s00024-022-03058-0
- [15] Kubota, T., Saito, T., & Nishida, K. (2022). Global fast-traveling tsunamis driven by atmospheric Lamb waves on the 2022 Tonga eruption. Science, 377(6601), 91–94. https://doi.org/10.1126/science.abo4364
- [16] Le Pichon, A. (2005). Infrasound monitoring of volcanoes to probe high-altitude winds. Journal of Geophysical Research, 110(D13), D13106. https://doi.org/10.1029/2004JD005587

- [17] Lee J., Tonga Eruption Made Waves in Earth's Ionosphere, 21 April 2022. https://eos.org/research-spotlights/tonga-eruption-made-waves-in-earths-ionosphere
- [18] M 5.8 Volcanic Eruption—68 km NNW of Nuku'alofa, Tonga. (n.d.). Retrieved 14 November 2022, from https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000gc8r/origin/detail
- [19] Marchetti, E., Ripepe, M., Campus, P., Le Pichon, A., Vergoz, J., Lacanna, G., Mialle, P., Héreil, P., & Husson, P. (2019). Long range infrasound monitoring of Etna volcano. Scientific Reports, 9(1), 18015. https://doi.org/10.1038/s41598-019-54468-5
- [20] Matoza, R., Fee, D., Green, D., & Mialle, P. (2019). Volcano Infrasound and the International Monitoring System. In A. Le Pichon, E. Blanc, & A. Hauchecorne (Eds.), Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies (pp. 1023–1077). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75140-5\_33
- [21] Pekin, M. A., Özgün, B., Işık, A. G., Sert, M., Armutlu, S. & Dündar, C. (2023).
   Effect of Hunga Tonga Hunga Ha'apai Volcanic Eruptions on Atmospheric Pressure .
   Coğrafi Bilimler Dergisi, 21 (1), 36-48. DOI: 10.33688/aucbd.1212115
- [22] Sepic, J., Medvedev, I., Fine, I., Thomson, R., & Rabinovich, A. (2022). The global reach of the 2022 Tonga volcanic eruption [Other]. display. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-13588
- [23] The January 15, 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai Eruption and Tsunami, Tonga.[Global Rapid Post Disaster Damage Estimation (Grade) Report]. World Bank.
- [24] Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB) Türkiye Ulusal Volkanoloji ve
   Arziçi Kimyası Komisyonu (TÜVAK) Bülteni, 2015. https://www.mta.gov.tr/v3.0/birimler/tuvak-bulten
- [25] Wright, C., Hindley, N., Alexander, M. J., Barlow, M., Hoffmann, L., Mitchell, C., Prata, F., Bouillon, M., Carstens, J., Clerbaux, C., Osprey, S., Powell, N., Randall, C., & Yue, J. (2022). Tonga eruption triggered waves propagating globally from surface to edge of space [Preprint]. Atmospheric Sciences. https://doi.org/10.1002/essoar.10510674.1

# Deniz Suyu Sıcaklığı Anomalilerinin Havzalardaki Günlük Toplam Yağış İle Kısa Dönemdeki İlişkisinin Hazar, Karadeniz, Marmara, Ege ve Doğu Akdeniz ile Türkiye'deki Havzalar Üzerinden Analizi

# Ali Ulvi Galip Şenocak

İnşaat Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara e162324@metu.edu.tr

### Berkin Gümüş

İnşaat Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara berkin.gumus@metu.edu.tr

#### Ali Cem Çatal

İnşaat Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara cem.catal@metu.edu.tr

# M. Tuğrul Yılmaz

İnşaat Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara tuyilmaz@metu.edu.tr

#### İsmail Yücel

İnşaat Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara iyucel@metu.edu.tr

#### ÖZET

Deniz suyu sıcaklığının atmosferik değişkenlerle etkileşiminin incelenmesi sırasında zamansal kaymalar görülebilmektedir. Bu kaymalar, calısma yapılan bölge ile sıcaklığı incelenen deniz. arasındaki topoğrafya, mesafe ve atmosferik parametrelere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Aynı zamanda, deniz suyu sıcaklığı ile ekstrem meteorolojik olaylar arasında ilişki kurmuş olan çalışmalar literatürde yer almaktadır. İklim değişikliğinin bir sonucu olarak ekstrem meteorolojik olayların frekanslarının artması da göz önünde bulundurulduğunda bu zamansal kaymalarının yerel ölçekte analiz edilmeleri önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'deki yağışlar üzerinde etkili olduğu değerlendirilen Hazar, Karadeniz, Marmara Denizi, Ege Denizi ve Doğu Akdeniz'deki deniz suyu sıcaklıklarının anomalileri ile Türkiye'deki 26 havzadaki günlük toplam yağışların ilişkileri incelenmiştir. Çalışma dönemi olarak Ocak-1982 ile Haziran-2020 arası kullanılmıştır. Deniz suyu sıcaklığı anomalileri için NOAA'nın uzaktan algılama tabanlı 0,25 derecelik Optimum İnterpole Günlük Deniz Suyu Sıcaklığı Analizleri (2. sürüm) kullanılmış olup günlük toplam yağış verileri ise ERA5 günlük agrege veriseti üzerinden temin edilmiştir. Çalışma kapsamında her denizin her havza üzerindeki ilişkisi 0-30 gün aralığındaki zaman kaymalarına göre ayrı ayrı değerlendirilerek en iyi sonuç veren zamansal kayma, en yüksek mutlak korelasyon baz alınarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında pearson ve spearman korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Bulgulara göre deniz suyu sıcaklığındaki anomaliler ile günlük toplam yağış arasındaki ilişkinin yüksek bir lineerite göstermediği fakat nispeten daha iyi bir monotonik bir etkileşim içerdiği ifade edilebilir. Ayrıca, lineer ve monotonik etkileşimlerin zamansal kaymalarını farklı olduğu durumlarda genellikle önce lineer etki görülmekte, ardından ise monotonik etki gözlemlenmektedir. Dikkat çekici bir başka bulgu olarak ise Hazar Denizi'ndeki anomalilerin Van Gölü Havzası'nın toplam günlük yağışı üzerinde 24 saat içinde, Aras Havzası'ndaki toplam günlük yağış üzerinde ise bir gün sonra hem lineer hem de monotonik olarak etkili olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler — Deniz Suyu Sıcaklığı, Günlük Toplam Yağış, ERA5, NOAA OISST, Hazar Denizi, Türkiye

#### Abstract

Temporal shifts can be observed when examining the interaction of sea surface temperature with atmospheric variables. These shifts vary depending on the topography, the distance between the study area and the sea whose surface temperature is examined, and atmospheric parameters. At the same time, studies in the literature have established a relationship between sea surface temperature and extreme meteorological events. Considering the increased frequency of extreme meteorological events due to climate change, analyzing these temporal shifts on a local scale is essential. This study examined the relationships between sea surface temperature anomalies in the seas considered influential on precipitation in Türkiye (Caspian, Black Sea, Marmara Sea, Aegean Sea, and Eastern Mediterranean Sea) and the daily total precipitation in 26 basins in Türkiye. The study period was used between January 1982 and June 2020. NOAA's remote sensing-based 0.25-degree Daily Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (2nd edition) was used for sea water temperature anomalies, and daily total precipitation data were obtained from the ERA5 daily aggregate dataset. Within the scope of the study, the relationship of each sea on each basin was individually evaluated according to temporal shifts in the range of 0-30 days. Pearson and Spearman correlation coefficients were calculated within the study's scope. The temporal shift with the best results was selected based on the highest absolute correlation. According to the results, the relationship between sea surface temperature anomalies and daily total precipitation does not show a high linearity but contains a relatively stronger monotonic interaction. In addition, in cases where the temporal shifts of linear and monotonic interactions are different, the linear influence is generally observed first, and then the monotonic effect is observed. Another remarkable finding is that the anomalies in the Caspian Sea have linear and monotonic relations to the total precipitations of Lake Van Basin (within 24 hours) and Aras Basin (with a temporal shift of one day).

Keywords – Sea Surface Temperature, Daily Total Precipitaiton, ERA5, NOAA OISST, Caspian Sea, Türkiye

# 1.GİRİŞ

Ekstrem yağışlar, tarımsal üretimi olumsuz etkilemenin [1] yanı sıra taşkınlara yol açarak [2, 3] can ve mal kayıplarına da yol açabilen [4] atmosferik olaylardır. Literatüre bakıldığında ekstrem

yağışların iklim değişikliğinden etkilendiği [5, 6], fakat genel veriseti içindeki düşük frekansları sebebiyle modeller tarafından genelleştirilmelerinin zorluk teşkil ettiği [7] ve iklim verilerinin ölçeklerinin küçültülmesi çalışmalarında dikkat edilmesi gereken veriler oldukları [8] görülmektedir. Kök ortalama kare hata (RMSE) gibi hata fonksiyonları kullanıldığında, düşük temsil oranlarına rağmen sayısal büyüklükleri sebebiyle sonuçlar üzerinde orantısız olarak olumsuz etkisi olan bu olayların etkilerini azalmak için Huber Loss gibi L1 ve L2 kayıplar arasında geçiş barındıran hata fonksiyonları kullanımı da literatürde görülmektedir [9]. Ancak gerek makine öğrenmesi gerekse model tabanlı tahminlerde, yer gözlemlerine kıyasla hatalar bulunmaktadır [9, 10]. Bu hataların minimize edilebilmesi için atılabilecek adımlardan biri, düşük temsil oranına sahip olan ekstrem olayların arka planında yer alan ve meydana gelmelerinde etkisi olan fiziksel etkileşimlerin incelenmesi olarak değerlendirilebilir. Bu doğrultuda, ortalama deniz suyu sıcaklığı ile ekstrem olaylar arasındaki ilişkileri inceleyen yayınlar dikkat çekicidir [11, 12]. Ayrıca, yine literatürde, Hazar Denizi'ni hesaba katan iklimsel modellerin Türkiye üzerinde daha başarılı oldukları görülmektedir [13]. Tüm bunların ışığında, bu çalışma, Türkiye'nin etrafında bulunan Karadeniz, Marmara Denizi, Ege Denizi, Akdeniz ve Hazar Denizi'nin, Türkiye'nin 26 su havzasındaki ekstrem olaylarla olan ilişkisini lineer ve monotonik açılardan incelemeyi hedeflemektedir.

#### Çalışma Alanı, Veriler ve Yazılımsal Arka Plan

Bu çalışmada, 10 farklı Köppen iklim türünü barındıran [14] ve kompleks bir coğrafyaya sahip Türkiye'nin [15] su havzalarının ülke sınırları içinde kalan kısımları incelenmiştir. Deniz suyu sıcaklığı açısından ise Karadeniz, Marmara Denizi, Ege Denizi, Akdeniz ve Hazar Denizi kullanılmıştır. Ancak, Akdeniz'in geniş alanı ve sınırlarının Türkiye'ye uzaklığı sebebiyle Doğu Akdeniz üzerinde yoğunlaşılmış ve Yunanistan'dan Libya'ya doğru çekilen bir çalışma alanı sınırı ile, Adriyatik ve batısında kalan Akdeniz bölgeleri çalışma dışında tutulmuştur. Çalışma alanına dair görsel, Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1 : Çalışma alanına giren deniz alanları. Doğu Akdeniz'in çalışmada kullanılan bölgesi kırmızı, Ege Deneizi pembe, Marmara Denizi yeşil, Karadeniz beyaz, Hazar Denizi ise turuncu renk ile gösterilmiştir. Siyah çizgiler ise havza sınırlarını temsil etmektedir.

Çalışmada deniz suyu sıcaklığı anomalisi (DSSA) veriseti olarak 0,25 derecelik Optimum İnterpole Günlük Deniz Suyu Sıcaklığı Analizleri'nin 2. Sürümü (NOAA CDR OISST v02r01) [16] kullanılmış olup, yer gözlem verileri açısından ise ERA5 reanaliz verileri [17] tercih edilmiştir. Çalışmanın zaman aralığı Ocak 1982- Haziran 2020 arasını kapsamakta olup günlük zamansal çözünürlük tercih edilmiştir.

Yazılımsal açıdan bakıldığında ise, coğrafi alanları kapsayan shapefile dosyaları Google Earth Pro (GEP) üzerinde oluşturulmuş ve kml formatına çevrilerek Google Earth Engine'e (GEE) aktarılmıştır. GEE platformu hem ERA5 (Daily Aggregates) hem de uzaktan algılama verilerinin temininde ve ön işlemesinde kullanılmıştır. Lineer ve monotonik ilişkilerin analizi için Python [18] programlama dili kullanılmıştır. GEE üzerinden csv formatında dışa aktarılan verilerin okunması için pandas [19], sayısal işlemler için Numpy [20], istatistiksel analizler için scipy [21] kütüphaneleri kullanılmıştır.

#### 1. METODOLOJİ



Şekil 2 : Çalışmanın metodolojisi

Çalışmanın metodolojisine yönelik akış şeması Şekil-2'de verilmiştir. Çalışmada, GEP kullanılarak her bir deniz için ayrı ayrı sınır dosyaları (shapefile) oluşturulmuştur. Bu dosyalar GEE'ye yüklenerek DSSA verisetinin ölçümlerden 30 yıllık meteorolojik ortalamaların çıkarılması ile elde edilmiş olan anomalileri içeren "anom" bandı bu dosyalara göre kesilmiştir. Devamında ise her bir denizin alanı içinde kalan tüm piksellerin ağırlıksız aritmetik ortalaması (Eşitlik 1) alınarak ortalama bir günlük değer elde edilmiştir. Benzer şekilde ERA5 reanaliz verilerinden üretilmiş ve GEE üzerinde yer alan günlük toplam yağış veriseti de 26 havzaya ait 26 shapefile ile kesilmiştir. Ardından her bir havzadaki tüm günlük toplam yağış değerlerinin ağırlıksız aritmetik ortalaması (Eşitlik 1) alınarak, ortalama bir değer elde edilmiştir. Ağırlıksız aritmetik ortalama hesabında kullanılan

$$Ortalama \ Değer = \frac{1}{N} (\sum_{i}^{N} x_{i})$$
(1)

eşitliğinde [22] N toplam veri sayısını,  $x_i$  ise her bir veriyi temsil etmektedir.

Korelasyon katsayısı hesabında hem lineer ilişki hem de monotonik ilişki incelemesi için sırasıyla Pearson korelasyon katsayısı (COR) ve Spearman sıralama korelasyon katsayısı (S-COR) kullanılmıştır. İki değişken arasındaki lineer ilişkiyi inceleyen COR hesabı,

$$r_{c} = \frac{\sum (x_{i} - \bar{x})(y_{i} - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_{i} - \bar{x})^{2}(y_{i} - \bar{y})^{2}}}$$
(2)

eşitliği [23] ile hesaplanmakta olup,  $r_c$  değeri [-1,0, 1,0] aralığında alabileceği değerler ile lineer ilişkinin yönünü ve kuvvetini,  $x_i$  ve  $y_i$  değerleri her bir veri dizisindeki tekil elemanları,  $\bar{x}$  ve  $\bar{y}$ değerleri ise her bir veri dizisinin basit aritmetik ortalamasını temsil etmektedir.  $r_c$  değerinin -1,0 değerine yakınsaması negatif yönlü güçlü bir korelasyonu, 1,0 değerine yakınsaması ise pozitif yönlü güçlü bir korelasyonu temsil etmektedir [24]. Benzer şekilde,  $r_c$  değerinin 0,0 değerine yakınsaması ise lineer ilişkinin mevcut olmadığına işaret etmektedir [24]. İki sayı dizisi arasındaki monotonik ilişkiyi inceleyen S-COR ise,

$$r_s = 1.0 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2 - 1.0)} \tag{3}$$

eşitliği [25] hesaplanmakta olup  $r_s$  değeri monotonik ilişkiyi, n değeri veri dizilerinin uzunluğunu,  $d_i$  ise her bir sıralamadaki gözlemler arasındaki farkı temsil eder. Sıralanmış gözlemler arasındaki fark,

$$d_i = R(X_i) - R(Y_i) \tag{4}$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Bu eşitlikte R değeri sıralama fonksiyonunu temsil etmektedir.

Havzalar ile denizler arasındaki fiziksel mesafenin de göz önünde bulundurulması sonucunda, en yüksek lineer ve monotonik ilişkilerin görülmesinin zaman alacağı varsayımıyla hesaplamalarda zaman kayması (lag) kullanılmıştır. Bu zaman kaymaları 0-30 gün aralığında tam sayı değerler olarak değerlendirilmiş olup bu yüzden zamansal çözünürlükleri gündür. Optimum zamansal kaymanın tespiti, COR ve S-COR sonuçlarının mutlak değerlerinin yüksekliği üzerinden yapılmıştır.

#### Sonuçlar

Yapılan analizlerde DSSA'nın genellikle yakın havzalarda daha kısa sürede olmak üzere, havzalardaki günlük toplam yağışlar ile güçlü olmayan bir bağa sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, monotonik ilişki açısından bakıldığında elde edilen değerler, lineer ilişki açısı elde edilen değerler, lineer ilişki açısından bakıldığı bakıdı elde edilen değerler, lineer ilişki açısı elde edilen değerler, l

	COR	Lag	S-COR	Lag
		COR		S-COR
Aksaray	-0.063	2	-0.090	2
Antalya	-0.075	2	-0.122	2
Aras	0.048	28	0.127	28
Asi	-0.105	4	0.006	2
Batı Akdeniz	-0.135	12	-0.173	2
Batı		3		3
Karadeniz	-0.119		-0.173	
Burdur	-0.088	2	-0.116	2
Büyük		2		2
Menderes	-0.067		-0.086	
Ceyhan	-0.058	1	-0.086	1
Coruh	-0.021	30	0.025	26
Dicle	-0.106	4	-0.123	1
Doğu Akdeniz	-0.067	2	-0.047	2
Doğu		30		2
Karadeniz	-0.030		0.006	

Tablo 1: Ege Denizi DSSA ile havzalardaki günük toplam yağış arasındaki ilişki

Tablo 1 (Devam): Ege Denizi DSSA ile havzalardaki günük toplam yağış arasındaki ilişki

Fırat	0.012	1	0.031	1
Gediz	-0.097	2	-0.126	2
Kızılırmak	-0.011	2	-0.048	2
Konya	-0.058	2	-0.074	2
Küçük		27		3
Menderes	-0.153		-0.271	
Kuzey Ege	-0.104	4	-0.180	3
Marmara		3		3
Havzası	-0.041		-0.064	
Meriç Ergene	-0.008	4	-0.010	3
Sakarya	-0.098	3	-0.142	2
Seyhan	-0.043	1	-0.058	1

Susurluk	-0.111	3	-0.170	3
Van Gölü		1		30
Havzası	0.033		0.059	
Yeşilırmak	-0.038	2	-0.022	2

Tablo 2: Karadeniz DSSA ile havzalardaki günük toplam yağış arasındaki ilişki

	COR	Lag	S-COR	Lag
		COR		S-COR
Aksaray	-0.031	1	-0.013	1
Antalya	-0.047	0	-0.047	0
Aras	0.062	29	0.190	0
Asi	-0.093	0	0.088	30
Batı Akdeniz	-0.176	8	-0.164	4
Batı		3		0
Karadeniz	-0.167		-0.193	
Burdur	-0.059	0	-0.050	0
Büyük		1		1
Menderes	-0.046		-0.013	
Ceyhan	-0.021	0	0.023	0
Coruh	-0.087	30	-0.002	0
Dicle	-0.077	0	-0.016	0
Doğu Akdeniz	-0.039	30	0.051	30
Doğu		0		0
Karadeniz	-0.103		-0.027	

Tablo 2 (Devam): Karadeniz DSSA ile havzalardaki günük toplam yağış arasındaki ilişki

Fırat	0.067	30	0.145	30
Gediz	-0.107	3	-0.101	2
Kızılırmak	0.011	3	0.012	3
Konya	-0.031	0	0.017	0
Küçük		0		0
Menderes	-0.196		-0.307	
Kuzey Ege	-0.130	3	-0.177	0
Marmara		10		4
Havzası	-0.044		-0.023	
Meriç Ergene	-0.008	9	0.056	30
Sakarya	-0.132	9	-0.160	4
Seyhan	0.009	0	0.060	0

Susurluk	-0.143	3	-0.193	4
Van Gölü		30		30
Havzası	0.104		0.188	
Yeşilırmak	-0.016	3	0.049	30

Tablo 3: Akdeniz DSSA ile havzalardaki günük toplam yağış arasındaki ilişki

	COR	Lag	S-COR	Lag
		COR		S-COR
Aksaray	-0.086	4	-0.164	4
Antalya	-0.099	4	-0.199	4
Aras	0.022	5	0.070	30
Asi	-0.126	6	-0.049	5
Batı Akdeniz	-0.099	12	-0.196	10
Batı		30		5
Karadeniz	-0.087		-0.156	
Burdur	-0.105	4	-0.179	4
Büyük		4		4
Menderes	-0.087		-0.160	
Ceyhan	-0.116	6	-0.196	4
Coruh	0.045	0	0.073	0
Dicle	-0.152	5	-0.241	5
Doğu Akdeniz	-0.106	4	-0.145	4
Doğu		0		0
Karadeniz	0.038		0.062	
Fırat	-0.074	5	-0.084	4

Tablo 3 (Devam): Akdeniz DSSA ile havzalardaki günük toplam yağış arasındaki ilişki

Gediz	-0.098	7	-0.152	4
Kızılırmak	-0.041	5	-0.090	4
Konya	-0.088	4	-0.162	4
Küçük		28		30
Menderes	-0.103		-0.263	
Kuzey Ege	-0.079	12	-0.190	8
Marmara		8		4
Havzası	-0.031		-0.082	
Meriç Ergene	-0.015	8	-0.061	4
Sakarya	-0.072	6	-0.110	5
Seyhan	-0.110	4	-0.173	4

Susurluk	-0.078	7	-0.134	5
Van Gölü		4		4
Havzası	-0.070		-0.068	
Yeşilırmak	-0.064	4	-0.062	4

Tablo 4: Marmara Denizi DSSA ile havzalardaki günük toplam yağış arasındaki ilişki

	COR	Lag	S-COR	Lag
		COR		S-COR
Aksaray	-0.079	2	-0.098	2
Antalya	-0.092	2	-0.131	1
Aras	0.043	29	0.131	29
Asi	-0.137	2	0.013	1
Batı Akdeniz	-0.159	15	-0.187	2
Batı		3		3
Karadeniz	-0.164		-0.222	
Burdur	-0.105	2	-0.122	2
Büyük		2		2
Menderes	-0.086		-0.092	
Ceyhan	-0.082	1	-0.096	1
Coruh	-0.043	30	0.001	2
Dicle	-0.137	3	-0.134	2
Doğu Akdeniz	-0.092	1	-0.038	1
Doğu		30		2
Karadeniz	-0.055		-0.021	
Fırat	0.002	1	0.029	1
Gediz	-0.121	2	-0.141	2

Tablo 4 (Devam): Marmara Denizi DSSA ile havzalardaki günük toplam yağış arasındaki ilişki

Kızılırmak	-0.021	2	-0.058	2
Konya	-0.078	2	-0.081	2
Küçük		17		2
Menderes	-0.184		-0.315	
Kuzey Ege	-0.121	2	-0.205	2
Marmara		3		3
Havzası	-0.041		-0.064	
Meriç Ergene	-0.002	3	0.000	3
Sakarya	-0.131	3	-0.172	2
Seyhan	-0.057	1	-0.063	1
Susurluk	-0.136	3	-0.198	2

Van Gölü		1		30
Havzası	0.025		0.068	
Yeşilırmak	-0.057	2	-0.023	2

Tablo 5: Hazar Denizi DSSA ile havzalardaki günük toplam yağış arasındaki ilişki

	COR	Lag	S-COR	Lag
		COR		S-COR
Aksaray	0.001	0	0.012	0
Antalya	-0.013	0	-0.016	0
Aras	0.056	1	0.173	1
Asi	-0.060	0	0.100	30
Batı Akdeniz	-0.143	0	-0.118	0
Batı		5		8
Karadeniz	-0.152		-0.172	
Burdur	-0.025	0	-0.015	0
Büyük		0		0
Menderes	-0.008		0.016	
Ceyhan	0.004	0	0.044	0
Coruh	-0.097	30	-0.012	0
Dicle	-0.033	0	0.021	0
Doğu Akdeniz	-0.014	0	0.069	30
Doğu		30		30
Karadeniz	-0.110		-0.035	
Fırat	0.082	30	0.150	30
Gediz	-0.068	0	-0.073	0
Kızılırmak	0.018	0	0.021	30

Tablo 5 (Devam): Hazar Denizi DSSA ile havzalardaki günük toplam yağış arasındaki ilişki

Konya	0.001	5	0.040	0
Marmara		10		7
Havzası	-0.035		-0.005	
Meriç Ergene	0.000	8	0.072	30
Sakarya	-0.108	5	-0.135	6
Seyhan	0.031	1	0.077	30
Susurluk	-0.118	0	-0.167	7
Van Gölü		0		0
Havzası	0.115		0.189	
Yeşilırmak	-0.001	6	0.055	30

# 2. DEĞERLENDİRMELER

Literatüre benzer şekilde, deniz suyu sıcaklıklarının yağışlar ile arasında ilişki olduğu bulunmuştur. Bu ilişkinin birçok noktada lineer olmaktan ziyade monotonik olması, gelecekteki çalışmalarda nonlineer modellemelerin denenmesinin gerekliliğine ışık tutmaktadır. Aynı zamanda Hazar Denizi ile ülkemizin (özellikle Van Gölü ve Aras) havzaları arasında günlük ve hatta saatlik mertebede etkileşimler olabildiği tespit edilmiştir. Buna karşın, Hazar Denizi'ne coğrafi olarak uzak olan bölgelerde Hazar Denizi'nin etkisi gibi, denizlere ait DSSA değerleri ile coğrafi olarak uzak bölgelerdeki etkileşimlerin daha detaylı olarak incelenmesi faydalı olabilecektir. Yine denizlere coğrafi olarak yakın bölgeler için gün altı zamansal çözünürlükte çalışılarak saatlik verilere bakılması, daha kuvvetli ilişkilerin bulunmasına yol açabilir. Gelecek araştırmalarda bu ilişkinin ekstrem yağışlar özelinde yapılarak ilişkinin ne yönde değiştiğinin incelenmesi, mevsimselliğin hesaba katıldığı çalışmaların yapılması, değişimin trendinin analiz edilmesi, farklı denizlere ait DSSA verilerinin birbirlerinin etkilerini ne yönde etkilediklerinin analiz edilmesi, DSSA ile yağış ilişkininin daha iyi anlaşılmasına ışık tutabilecektir.

### KAYNAKLAR

[1] **Rosenzweig C, Tubiello FN, Goldberg R, Mills E, Bloomfield J.** Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change. Global Environmental Change. 2002 Oct 1;12(3):197-202.

[2] **Kunkel KE**. North American trends in extreme precipitation. Natural hazards. 2003 Jun;29(2):291-305.

[3] Garg S, Mishra V. Role of extreme precipitation and initial hydrologic conditions on floods in Godavari river basin, India. Water Resources Research. 2019 Nov;55(11):9191-210.

[4] **Mahapatra B, Walia M, Saggurti N.** Extreme weather events induced deaths in India 2001–2014: Trends and differentials by region, sex and age group. Weather and climate extremes. 2018 Sep 1;21:110-6.

[5] **Trenberth KE.** Changes in precipitation with climate change. Climate research. 2011 Mar 31;47(1-2):123-38.

[6] **Gumus B, Oruc S, Yucel I, Yilmaz MT.** Impacts of Climate Change on Extreme Climate Indices in Türkiye Driven by High-Resolution Downscaled CMIP6 Climate Models. Sustainability. 2023 Apr 26;15(9):7202.

[7] **Senocak AUG, Yilmaz MT, Kalkan S, Yucel I, Amjad M.** An explainable two-stage machine learning approach for precipitation forecast. Journal of Hydrology. 2023 Oct 21:130375.

[8] Gumus B, Yucel I, Oruc S, Yilmaz MT. CMIP6 Küresel İklim Modellerinin Kantil Haritalama Yöntemleriyle Yüksek Çözünürlüklü İstatistiksel Ölçek Küçültmesi, 11. Ulusal Hidroloji Kongresi. Gaziantep, 2022

[9] Senocak, AUG, Yilmaz, M., Yucel, I., Amjad, M. Derin Sinir Ağları İle Sayısal Yağış Tahminlerinin Değerlendirilmesinde Huber Loss Kullanımı, 11. Ulusal Hidroloji Kongresi. Gaziantep, 2022

[10] Amjad M, Düzenli E, Afshar M, Bulut B, Senocak AUG, Yılmaz KK, Yılmaz MT, Yücelİ. TMPA VE ECMWF yağiş verilerinin yer gözlem verileriyle doğrulanmasi. Mugla, 2019

[11] **Zhang L, Sielmann F, Fraedrich K, Zhu X, Zhi X.** Variability of winter extreme precipitation in Southeast China: contributions of SST anomalies. Climate dynamics. 2015 Nov;45:2557-70.

[12] Meredith EP, Semenov VA, Maraun D, Park W, Chernokulsky AV. Crucial role of Black Sea warming in amplifying the 2012 Krymsk precipitation extreme. Nature Geoscience. 2015 Aug;8(8):615-9.

[13] **Bağçacı SÇ.** The analysis of current and future climate projections of Türkiye and the largescale Eastern Mediterranean Black Sea Region in the coarse and high resolutions. Ankara, 2023

[14] Bölük E. KÖPPEN İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi. Ankara, 2016.

[15] **Amjad M, Yilmaz MT, Yucel I, Yilmaz KK.** Performance evaluation of satellite-and modelbased precipitation products over varying climate and complex topography. Journal of Hydrology. 2020 May 1;584:124707.

[16] Reynolds RW, Banzon VF. NOAA optimum interpolation 1/4 degree daily sea surface temperature (OISST) analysis, version 2. NOAA National Centers for Environmental Information. 2008;10:V5SQ8XB5.

[17] Copernicus Climate Change Service (C3S): ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), 2017, https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home

[18] Van Rossum, G., & Drake, F. L. Python 3 Reference Manual. CreateSpace, 2009

[19] Pandas Development Team. pandas-dev/pandas: Pandas. Zenodo. 2020 https://doi.org/10.5281/zenodo.3509134

[20] Harris CR, Millman KJ, Van Der Walt SJ, Gommers R, Virtanen P, Cournapeau D, Wieser E, Taylor J, Berg S, Smith NJ, Kern R. Array programming with NumPy. Nature. 2020 Sep 17;585(7825):357-62.

[21] Virtanen P, Gommers R, Oliphant TE, Haberland M, Reddy T, Cournapeau D, Burovski E, Peterson P, Weckesser W, Bright J, Van Der Walt SJ. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. Nature methods. 2020 Mar;17(3):261-72.

[22] Hu S. Simple mean, weighted mean, or geometric mean. InProc. ISPA/SCEA Int. Conf 2010Jun 8 (pp. 1-24).

[23] Freedman D, Pisani R, Purves R. Statistics (international student edition). Pisani, R Purves,4th edn WW Norton & Company, New York. 2007

[24] Shukla N. Haskell data analysis cookbook. Packt Publishing Ltd; 2014 Jun 25.

[25] **Spearman C.** The proof and measurement of association between two things. The American journal of psychology. 1904. 15, 72–101.

# Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Kar Analizi: 23-24 Ocak 2022 İstanbul Örneği

Aylin Şahin,

Türk Hava Yolları Meteorolojik Analiz ve Raporlama Şefliği İstanbul aylinsahin@thy.com,

Tolga Kanatoğlu Türk Hava Yolları Meteorolojik Analiz ve Raporlama Şefliği İstanbul tkanatoglu@thy.com

# ÖZET

İstanbul'da kışları ılıman, yazları ise sıcak ve kurak olan; Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında bir geçiş ikliminin etkileri görülür. Bu nedenle kış aylarında kar yağışı nispeten az görülmektedir. Uzun dönem kar yağışı olan gün sayısı ortalamaları bölgeden bölgeye değişiklik gösterirken, deniz sevivesinde bulunan İstanbul Atatürk Havalimanı'nda 2000-2022 döneminde kar ve karla karışık yağış olan yıllık gün sayısı ortalamasının 15 gün olduğu görülmektedir. 23-24 Ocak 2022 tarihinde İstanbul'da yer yer 100 santimetre kalınlığa ulaşan kar yağışı meydana gelmiştir. İlgili tarihte meydana gelen bu kar fırtınası sebebiyle İstanbul Havalimanında iptaller/gecikmeler, ulaşımda aksamalar ve bazı bölgelerde elektrik kesintileri meydana gelmiş olup, okullar ve iş yerleri birkaç gün süreyle kapatılmıştır. İstanbul Havalimanı'nda 24 Ocak 2022 tarihinde 14:00L itibarıyla durdurulan tüm uçuş operasyonu 26 Ocak 2022 tarihinde 11:00L itibarıyla tekrar başlamıştır. Bu çalışmada, İstanbul'un iklim koşulları çerçevesinde aşırı bir hava olayı olarak nitelendirilebilecek olan ve bölgedeki vatandaşların hayatını olumsuz etkileyip iş faaliyetlerini aksatan kar hadisesinin sinoptik analizi ve uzaktan algılama yöntemleriyle incelenmesi/takip edilmesi işlenmiştir. Sinoptik analizde Karadeniz üzerinde oluşan alçak basınç sistemi, bölgeye ilerleyen soğuk cephe ve Akdeniz üzerinden gelen sıcak ve nemli hava kütlesi dikkat çekerken; uzaktan algılama teknikleriyle bu sistemlerin takibi ve analizi yapılmıştır. Kullanılan uzaktan algılama teknikleri arasında başta Sentinel-2 ve METEOSAT 2. Nesil (MSG) uvdu görüntüleri olmak üzere optik sensörler, mikrodalga bandında elde edilen

görüntüler, hava radarı verileri kullanılarak haritalandırma/takibi ve elde edilen sonuçların sinoptik analizlerle karşılaştırması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler — meteorolojik uydu; hava radarı; sinoptik; İstanbul; kar.

# 1. GİRİŞ

Kar yağışı, küresel su döngüsünün kritik bir bilesenidir ve iklim düzenlemesi, tarım ve su kaynakları yönetiminde hayati bir rol oynar. 23 Ocak 2022 00UTC (Universal Coordinated Time) tarihinde İskandinavya'dan orta enlemlere doğru uzanan soğuk merkezli yukarı seviye alçağı Ukrayna ve Karadeniz üzerinden Türkiye'nin batı bölgelerine doğru hareket edip 24 Ocak tarihinden itibaren özellikle Marmara Bölgesi'ni etkilemeye başlamıştır. Bölgeye ilerleyen soğuk hava kütlesinin Akdeniz üzerinden gelen sıcak ve nemli hava ile etkileşimi sonucunda Karadeniz üzerinde oluşan alçak basınç sistemi siklonik dönüş hareketiyle İstanbul'un Karadeniz kıyı kesimlerinde ciddi kar yağışı bırakmıştır. Bu soğuk ve yağışlı sistem İstanbul Havalimanı'na (LTFM) 24 Ocak 04UTC itibariyle ulaşmış, 07UTC itibariyle etkisini artırarak 18UTC'ye kadar kuvvetli kar yağışı ile birlikte hakim rüyetin 200 metreye düşmesine neden olmuştur. Aynı gün 21UTC'ye kadar etkisini hafifleterek devam etmiş ve 21UTC itibariyle sona ermiştir. Bu önemli hava hadisesi İstanbul Havalimanı'nda uçuş operasyonunun 24.01.2022 10UTC ile 26.01.2022 08UTC arasında tamamen durmasına sebebiyet vermiştir. İnsanların hayatlarını ve uçuş operasyonlarını olumsuz etkileyen bu kar hadisesini incelemek için kullanılabilecek çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan ikisi sinoptik analizler ve uzaktan algılama ile tespittir. Meteorolojide "sinoptik" terimi, geniş bir alanı kapsayan ve tipik olarak yüksek ve alçak basınç sistemleri, soğuk cepheler, sıcak cepheler gibi hava sistemlerini içeren koşulları ifade eder. Sinoptik meteoroloji, 1940'larda ve 1950'lerde radyosonde ağı ve hava durumu radarının ortaya çıkışı gibi yeni hava gözlemlerinin yaygın olarak kullanılmasıyla bir devrim yaşadı. Nispeten geniş bir coğrafi alanı kapsayan sinoptik ölçekte bahsedilen radyosonde ağları, radarlar, uydular ve diğer gözlem araçlarından toplanan veriler kullanılarak gelecekte gerçekleşebilecek meteorolojik koşulların tahmini üzerinde çalışılmaktadır [1]. Kar yağışı da diğer meteorolojik hadiseler gibi sinoptik analizlerle tespit ve takip edilebilmektedir. Öte yandan kullanılabilecek bir diğer yöntem de uzaktan algılama metotlarıdır.

Uzaktan algılama teknolojileri, geniş mekansal ve zamansal ölçeklerde kar yağışının izlenmesi ve ölçülmesi için gereklidir. Uydu ve radar cihazları, kar yağışı olaylarını tespit etmek, kar yağışı oranlarını tahmin etmek ve kar örtüsü boyutunu haritalamak için benzersiz ve değerli bir araç sağlar. Uzaktan algılama verileri bilim adamları, su yöneticileri ve diğer paydaşlar tarafından taşkın tahmini, kuraklık izleme ve su kaynağı yönetimi gibi çeşitli konularda bilinçli kararlar almak için kullanılır.

Kar yağışını tespit etmek için kullanılan iki ana uydu uzaktan algılama cihazı türü vardır: optik ve pasif mikrodalga. Optik sensörler görünür ve kızılötesi frekans bantları yardımıyla Dünya üzerindeki farklı nesne ve yüzeylerden yansıyan güneş ışığı miktarını ölçer. Kar, görünür ve yakın kızılötesi dalga boylarında oldukça yansıtıcıdır ve bu da onun optik görüntülerde tanımlanmasını kolaylaştırır. Bununla birlikte, bulutlar güneş ışığını da yansıttığından ve yerdeki karın görünümünü engelleyebildiğinden, optik cihazlar bulut örtüsü nedeniyle sınırlıdır.

Pasif mikrodalga cihazları, Dünya üzerindeki farklı nesneler ve yüzeyler tarafından yayılan termal radyasyonu ölçer. Kar soğuk bir yüzey olduğundan diğer arazi örtüsü türlerinin çoğundan daha az termal radyasyon yayar. Bu, bulutlar mevcut olsa bile pasif mikrodalga görüntülerinde karı tanımlamayı mümkün kılar.

Radar uzaktan algılama, elektromanyetik radyasyonun gönderilmesi ve sensöre geri yansıyan radyasyon miktarının ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Radar cihazları bulutların içinden geçebilir, bu da onları her türlü hava koşulunda kar yağışını izlemek için ideal kılar.

Radar cihazları, radar yansıması olarak bilinen, yansıyan sinyalin yoğunluğunu ölçer. Kar, diğer arazi örtüsü türlerinin çoğundan daha yüksek bir radar yansıtıcılığına sahiptir, bu da onun radar görüntülerinde tanımlanmasını kolaylaştırır. Ancak radar cihazları kar yağışının miktarını doğrudan ölçememektedir [2].

# 2. VERİ VE YÖNTEM

### 2.1. Sinoptik Analiz

#### 2.1.1. 300hPa Seviyesi Jet Akımları Analizi

WRF modeline ait 24 Ocak 06UTC tarihine ait 300hPa seviyesindeki rüzgar şiddet ve yönleri incelendiğinde; Balkanlar üzerinde şiddeti 125KT'ı bulan polar jet akımları soğuk havayı kuzey

bölgelerden güney enlemlere taşımakta, daha güneyde şiddeti 135KT'ı bulan subtropikal jet akımları ise nispeten sıcak havayı Afrika üzerinden Ortadoğu'ya taşımaktadır. İstanbul özelinde bakılacak olursa; polar jet akımının sol çıkış noktasına yakın olduğu görülmektedir ki bu da yükselici hava hareketlerini destekleyen bir göstergedir.



Şekil 1. WRF modeli 24 Ocak 2022 06UTC tarihli 300hPa seviyesi jet akımları haritası [3]

# 2.1.2. 500hpa Seviyesi Jeopotansiyel Yükseklik Analizi

23-24 Ocak 2022 tarihine ait yukarı seviye haritaları sinoptik ölçekte incelenmiştir. İlk olarak 500hPa jeopotansiyel yükseklik haritalarına bakıldığında; 23 Ocak 00UTC'de Atlantik Okyanusu'nun kuzeyinde-İngiltere ve Fransa'nın batısında 579.3dam değerine sahip yukarı seviye yükseği varken daha doğuya gidildiğinde merkezi Ukrayna'nın kuzeyinde bulunan ve değeri 519.1dam seviyesinde bir alçak merkez görülmektedir. Bu alçak merkezin Türkiye'ye doğru uzandığı görülmektedir ve bu görüntü geniş alanları etkileyen uzun dalga trofu ile ilişkilidir. 24 Ocak 00UTC'de Batı Avrupa'da Hollanda ve Belçika üzerinde konumlanmış yukarı seviye yükseği, Marmara Bölgesi'nin kuzeyinde ise merkezindeki kalınlık değeri biraz daha yükselmesine rağmen 526.2dam değerinde yukarı seviye alçağı dikkat çekmektedir. Uzun dalga trofunun daha güneye

doğru hareket ederek Türkiye'nin kuzeybatısı başta olmak üzere genelinde etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 2. 23-24 Ocak 2022 00UTC 500hPa jeopotansiyel yükseklik haritaları [4]

# 2.1.3. 700hPa-850hPa Seviyesi Rüzgar ve Bağıl Nem Analizi

WRF modelinin 24 Ocak 12UTC tarihine ait 700hPa seviyesi nem ve rüzgar haritası Marmara bölgesi özelinde incelendiğinde; İstanbul'un Karadeniz açıklarında yüksek bağıl nem değerleri dikkat çekmekte kuzeyli hava akışıyla bu nemli havanın İstanbul'un özellikle Avrupa yakasına doğru hareket ettiği görülmektedir. Yine aynı saat için 850hPa bağıl nem ve rüzgar analizi yapılacak olursa benzer şekilde kuzeyli hava akımlarının Avrupa yakasına yüksek nemi taşıdığı dikkat çekmektedir. Batı Karadeniz'e doğru ilerlendiğinde ise bu seviyelerde güneyli rüzgarların olduğu görülüyor. Buradan Doğu Marmara üzerinde bir siklonik dönüş hareketinin olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu sistem özellikle İstanbul Havalimanı'nı 24 Ocak 18UTC tarihine kadar etkilemiş ve uzun süreli yoğun kar yağışına sebep olmuştur.



Şekil 3. WRF modeli 24 Ocak 2022 12UTC tarihli 700-850hPa bağıl nem ve rüzgar haritası [3]

# 2.1.4. 850hPa Seviyesi Sıcaklık Analizi

24-25 Ocak 00UTC 850hPa sıcaklık değerleri incelendiğinde; İstanbul için -10 ile -12 santigrat derece civarında olduğu görülmektedir ki bu değerler deniz seviyesinde yağış olması halinde kar olarak düşmesi açısından yeterli bir koşuldur.



Şekil 4. 24-25 Ocak 2022 00UTC tarihlerine ait 850hPa sıcaklık haritaları [4]

# 2.1.5. Yağış Analizi

Aşağıda WRF modelinin 24 Ocak 12UTC tarihine ait 1 saatlik toplam yağış haritası ve yine 12UTC tarihli İstanbul radar görüntüsü bulunmaktadır. Model çıktısında Karadeniz üzerinden İstanbul'un

Avrupa yakasına doğru hareket eden yağışın özellikle Karadeniz kıyı kesimlerinde daha etkili olacağı öngörülmektedir. WRF modelinin yağış tahmini ile gerçekleşen radar görüntüsünün İstanbul



için oldukça tutarlı olduğu göze çarpmaktadır.

Şekil 5. WRF modeli 24 Ocak 2022 12UTC tarihi için 1 saatlik toplam yağış haritası [3]

# 2.2. Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Analiz

Uzaktan algılama teknolojilerinin kar yağışını tespit etmede yer tabanlı yöntemlere göre birçok avantajı vardır. Uydu ve radar sensörleri küresel kapsama alanı sağlayabilir ve uzak ve erişilemeyen bölgelerdeki kar yağışını izleyebilir. Ek olarak, kar yağışı dağılımı ve yoğunluğuna ilişkin yüksek çözünürlüklü haritalar oluşturmak için uzaktan algılama verileri kullanılabilir. Uydular genellikle karın görünür ve kızılötesi yansımasını ölçmek için optik sensörler kullanırken, radar sensörleri ise mikrodalga radyasyonunun saçılımını ölçer.

Şekil 6'da İstanbul'a yoğun kar getiren sistemin adım adım ilerleyişi MGM hava radarının MAX ürünü yardımıyla görünmektedir. Sistem kuzeyli rüzgarların etkisiyle deniz üzerinden nemle beslenerek ilerlemiş ve başta İstanbul Havalimanı'nın bulunduğu İstanbulu'un kuzeyinde yer alan ilçelerden Arnavutköy olmak üzere bütün İstanbul ili boyunca yoğun bir kar yağışı bırakmıştır ve İstanbul Havalimanı meteoroloji ofisi tarafından METAR kodlarında TSRA ve +TSRA (gök

gürültülü sağanak yağış ve kuvvetli gök gürültülü sağanak yağış) periyotlarına ait radar görüntüleri kodlarıkları periyorlarla eşleşmektedir.



Şekil 6. 23-24 Ocak 2022 tarihli İstanbul radar MAX ürünü birleştirilmiş görüntüsü [3]

METEOSAT 2. Jenerasyon (MSG) uyduları yer durağan bir uydu olup 15 dakikalık zaman çözünürlüğünde konumlandırıldığı noktadan Dünya'yı görüntülemektedir [5]. MSG uydularının tam disk görüntüsü Türkiye sınırlarını kapsamakta olup SEVIRI isimli 12 adet kanala sahip sensor ilgili tarihlerde algılama yapmaya devam etmiştir. Şekil 7'de MSG uydularından derlenen ve 24 Ocak 2022 11UTC tarihine ait olan görüntü yaşanan kar hadisesinin çeşitli frekans bantlarında görüntülerini barındırmakta olup bulut maskesi ürününde bulutlu alanlar görülmektedir.



Şekil 7. 24 Ocak 2022 tarihli İstanbul MSG uydu görüntüleri [6]



Şekil 8. 28 Ocak 2022 tarihli İstanbul Landsat-8 görüntüsü [7]

Şekil 8'de yüksek çözünürlüklü, 2013 yılında yörüngeye oturtulmuş, 9 kanallı ve 15 m yersel çözünürlüğe sahip Landsat-8 [8] uydusuna ait görüntüler bulunmaktadır. Bulut kapalılığı sebebiyle İstanbul Havalimanına ait yüksek çözünürlüklü görüntüler yağış esnasında elde edilememiş olsa da söz konusu yağıştan 4 gün sonra dahi %8.06 bulut kapalılığı ile elde edilen görüntü yağışın şiddetini gözler önüne sermektedir. Şekil 9'da ise bu görüntüden elde edilen kar-kara örtüsü sınıflandırması bulunmaktadır.



Şekil 9. 28 Ocak 2022 tarihli İstanbul Landsat-8 kar sınıflandırması [7]

Yapılan bu sınıflandırmada kar-buz sınıflandırması yapan özel bir bant kombinasyonu kullanılmıştır. Bu indeks, kar ve buzu ortaya çıkarmak için iyidir çünkü bunlar spektrumun görünür kısmında oldukça yansıtıcıdır ve kısa dalga kızılötesinde çok emicidir. Bu görüntülerde kullanılan tek görünür ışık kırmızıya atandığı için kar ve buz parlak kırmızı görünür. Buz ne kadar fazla olursa, kısa dalga boylu mikrodalga radyasyon (SWIR) bantlarındaki emilim o kadar güçlü olur ve renk de o kadar kırmızı olur. Kalın buz ve kar canlı kırmızı (veya kırmızı-turuncu) görünürken, yüksek seviyedeki bulutlardaki küçük buz kristalleri kırmızımsı-turuncu veya şeftali renginde görünecektir. Bu bant kombinasyonunda bitki örtüsü yeşilimsi görünecektir. Çıplak toprak görüntüde parlak camgöbeği görünecektir. Yerdeki sıvı su, kırmızıyı ve SWIR'ı emdiği için çok koyu olacaktır, ancak bulutlardaki küçük sıvı su damlaları ışığı hem görünürde hem de SWIR'de eşit şekilde dağıtır ve bu nedenle beyaz görünecektir. Sudaki tortular koyu kırmızı görünür. Bu bant kombinasyonu özellikle bulutları kardan ayırmak için kullanışlıdır [9].



Şekil 10. 24 Ocak 2022 tarihli İstanbul Sentinel 2 uydu görüntüsü ve NDSI uygulaması [7]

Şekil 10'da Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından 2015 yılında faaliyete alına 10myersel çözünürlüğe ve 13 adet spektral banda sahip olan Sentinel 2 uydusunun L2A ürünü soldaki görselde bulunmaktadır [10]. Sağda ise bu görüntüye Normalleştirilmiş Kar Farkı İndeksi (NDSI) olarak adlandırılan index uygulanmıştır. NDSI, karı tanımlamak için kısa dalga kızılötesi ve görünür spektral bantlardaki karın spektral farklılıklarından yararlanan bir spektral bant oranıdır. Görünür dalga boylarında kar örtüsü bulutlar kadar parlaktır ve bu nedenle bulut örtüsünden ayırt edilmesi zordur. Ancak 1,6 mikron kalınlığındaki kar örtüsü güneş ışığını emer ve bu nedenle bulutlardan çok daha koyu görünür. Bu, kar örtüsü ile bulutlar arasında etkili bir ayrım yapılmasına olanak sağlar. NDSI 0,4'ten büyük değerleri tipik olarak kar varlığını gösterir [11].

## **3. SONUÇLAR**

Bu çalışmada 23-24 Ocak 2022 İstanbul kar analizinde yola çıkılarak, uzaktan algılama yöntemleri ve sinoptik analizler yardımıyla kar hadisesi gözlemlenmiştir. Yapılan uydu ve radar görüntüsü analizleri bize hadise esnası ve sonrasındaki kar yağış durumunu vermekle birlikte yağış öncesi durumlar sinoptik analizlerde incelenmiş ve Karadeniz üzerinde oluşan alçak basınç sistemi, bölgeye ilerleyen soğuk cephe ve Akdeniz üzerinden gelen sıcak ve nemli hava kütlesi sinoptik analizlerde kar beklentisini net şekilde ortaya koymuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda İstanbul Havalimanı meteoroloji ofisinin yaptığı METAR yayınları, sinoptik model beklentileri ve hadisenin gerçekleştiği periyot ve sonrasındaki uydu-radar görüntülerinin birbirini desteklediği ortaya konmuş

olup, elde edilen sonuçlar benzer sinoptik koşullarla tekrar karşılaşılması durumunda önlem alma noktasında yardımcı olacaktır.

# KAYNAKLAR

- Hakim, G.J., Torn, R.D., Ensemble Synoptic Analysis. American Meteorological Society, 33(55), 147-162. DOI: https://doi.org/10.1175/0065-9401-33.55.147
- [2] Ulaby, F. T. (2013). Fundamentals of Applied Electromagnetics: Pearson New International Edition. Pearson.
- [3] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Erişim adresi: https://www.mgm.gov.tr/
- [4] Plymouth State Weather Center. Erişim adresi: https://vortex.plymouth.edu/
- [5] About Meteosat Second Generation, https://earth.esa.int/eogateway/missions/meteosatsecond-generation#instruments-section
- [6] European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default
- [7] EOSDA LandViewer, https://eos.com/landviewer/
- [8] Landsat-8, https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/
- [9] Snow/Clouds, EOSDIS, https://eos.com/landviewer/?lat=41.28637&lng=28.78356&z=12&preset=highResolutionS ensors&id=S2A\_tile\_20220124\_35TPF\_0&b=Blue,SWIR1,SWIR2&anti
- [10] Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., &
   Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. Remote Sensing, 12(14), 2291.
- [11] Hall, D. K., & Riggs, G. A. (2010). Normalized-difference snow index (NDSI). Encyclopedia of snow, ice and glaciers.

# Hidrolojik Model için Çok-Kriterli Parametre Optimizasyonunda Uydu Ürünlerinin Kullanımı

# Aynur Şensoy

İnşaat Mühendisliği Bölümü Eskişehir Teknik Üniversitesi Eskişehir asensoy@eskisehir.edu.tr

### Talha Orhan

İnşaat Mühendisliği Bölümü Eskişehir Teknik Üniversitesi Eskişehir talhaorhan@eskisehir.edu.tr

A.Arda Şorman İnşaat Mühendisliği Bölümü Eskişehir Teknik Üniversitesi Eskişehir asorman@eskisehir.edu.tr

# ÖZET

Su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde; taşkın, kuraklık, iklim değişikliği, vb. farklı amaçlara ulaşmak için yağış akış ilişkisini içeren hidrolojik model uygulamaları kullanılmaktadır. Farklı kavramsal modellerdeki temel model girdi değişkenleri (yağış, sıcaklık, vb) birbirine çok yakınken, model parametreleri çok değişkenlik göstermektedir. Model parametrelerinin tespiti için en çok kullanılan yaklaşım modellenen ve gözlenen akımları yakınsayacak bir amaç fonksiyonu kullanarak parametreleri kalibre etmektir.

Bu çalışmada, birçok uygulama projesinde kullanıla gelen ve hidrolojik süreçler için metot çeşitliliği sunabilen bir hidrolojik model (HEC-HMS) tercih edilmiştir. Model parametrelerini çok kriterli olarak belirlemeyi sağlayan bir optimizasyon aracı geliştirilerek bu modele entegre edilmiştir. Bu yaklaşımla model parametrelerinin belirlenmesinde, gözlenen akımların yanı sıra uydu ürünleri ile gözlenen kar ve toprak nemi gibi değişkenlerin de model durum değişkenleri ile uyumu birer kısıt olarak amaç fonksiyonuna eklenmiştir. EUMETSAT H SAF projesinin kar (SE-E-SEVIRI(H10)) ve toprak nemi (SM-DAS-2(H14)) ürünlerinin kullanıldığı çalışmada 2012-2017 su yılları için Doğu Anadolu'daki pilot bir havzada uygulama yapılmıştır. İlave değişkenler ile modelin akım performansından (KGE>0.80) ödün verilmeden, iç değişkenlerin performansının yükseltilmesi mümkün olmuştur, böylece model güvenilirliğinin arttırılarak belirsizliklerin azaltılması sağlanılmıştır.

Anahtar Kelimeler — hidrolojik modelleme; kar; toprak nemi.

## 1. GİRİŞ

Su kaynaklarının planlanması ve yönetimi her geçen gün daha önemli hale gelmektedir. İklim değişiminin etkisi ile gözlenecek olan uç olayların sayısının ve şiddetinin artacağı öngörülmektedir. Taşkın, kuraklık, iklim değişikliği ve geleceğe dönük kısa/uzun vadeli tahmin çalışmalarının yürütülerek barajlarımızın daha verimli işletilmesi vb. amaçlara ulaşmak için yağış akış ilişkisini içeren hidrolojik model uygulamalarının yapılması gerekmektedir. Hidrolojik modeller farklı karmaşıklık seviyelerine sahip olsalar ve farklı şekillerde kategorize (model yapısına, mekansal dağılıma, olay türüne ve mekansal-zamansal uygulamaya, vb. göre) edilseler de veri ihtiyacının nispeten kolay karşılanabildiği kavramsal modeller uygulamalarda daha yaygın kullanılmaktadır. Bu modeller, içerdikleri hidrolojik süreçlere göre model parametrelerine sahiptirler. Farklı kavramsal modellerdeki temel model girdi değişkenleri (yağış, sıcaklık, vb) birbirine çok yakınken, farklı metot içerikleri nedeniyle model parametreleri çok değişkenlik göstermektedir. Öte yandan, bu parametrelerin bir kısmı ölçülebilir ya da hesaplanabilirken bir kısmı ancak kalibre edilerek tespit edilmektedir. Farklı sayıda ve içerikteki bu model parametrelerinin belirli kısıtlar altındaki değerlerinin tespiti zorlu bir çalışma gerektirmektedir.

Kavramsal modellerde model parametrelerinin belirlenmesi için önce model kalibrasyonu ve daha sonra da doğrulama çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu parametrelerin aynı anda belirlenmesi için en uygun yöntem optimizasyon yaklaşımı olmaktadır. Model parametrelerinin tespiti için bu çalışmalarda en yaygın kullanılan yaklaşım modellenen ve gözlenen akımları yakınsayacak bir amaç fonksiyonu kullanarak parametreleri kalibre etmektir. Oysa modellerin güvenilirliğini arttırmak için model durum değişkenlerinin izlenmesi ve gözlem değerleri ile tutarlılıklarınının test edilmesi önemlidir. Bu durum, yanlış gerekçelerle doğru sonuca varma ihtimalini de düşürmektedir. Bu nedenle, kalibrasyon aşamasında akım dışındaki değişkenlerin de model parametrelerinin belirlenmesine katkı sağlaması önemli bir kazanım olmaktadır.

Günümüzde hidrolojik çalışmalarda kullanılan verilerin çeşitliliği, miktarı ve kalitesi geçmiş zamanlara göre çok daha zengindir. Özellikle uydu teknolojisinde gündeme gelen gelişmeler hidrometeorolojik gözlemlerin alansal ve zamansal olarak daha iyi bir ölçekte gözlemlenebilir olmasını sağlamıştır. Noktasal yer ölçümlerinin yanı sıra bu gözlem verileri ile doğrulamaları yapılmış uydu ürünlerinin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Hidrolojik modeller aracılığıyla, farklı uydu ürünlerinin etki analizini ya da hidrolojik olarak doğrulamasını yapmak mümkün olabilmektedir [1]. Bu ürünler aynı zamanda model parametrelerinin belirlenmesi aşamasında da çok işlevsel olmaktadır. Akım dışındaki durum değişkenlerinin (toprak nemi, kar, vb) kalibrasyon aşamasında kullanılması model parametrelerindeki belirsizliği azaltmakta ve modelleri daha güvenilir hale getirmektedir [2, 3].

Bu çalışmada birçok uygulama projesinde kullanıla gelen ve sunduğu metot çeşitliliği nedeniyle farklı avantajlar sunan HEC-HMS [4] kavramsal hidrolojik modeli seçilmiştir. Grafiksel kullanıcı arayüzü, gelişmiş hesaplama yöntemleri, sürekli simülasyon gibi yeteneklere sahip Hidrolojik Modelleme Sistemi (HEC-HMS), 1992 yılında ABD Ordusu Mühendisler Birliği'nin (USACE) Hidrolojik Mühendislik Merkezi (HEC) tarafından, HEC-1'in yerine geçmek üzere kullanıma sunulmuştur.

Yaygın kullanımı olan bu hidrolojik modelin ilk defa çok kriterli optimizasyon ile model parametrelerinin belirlenmesi söz konusu olmuştur. Modelin geliştirilmeden önceki halinde mevcut bulunan optimizasyon araçları en basit olanlarıdır ve literatürde de sıklıkla değinildiği gibi bu metotlarla başarılı model performans sonuçlarına ulaşılması mümkün olmamaktadır [5]. Bu nedenle HEC-HMS modelinde daha güçlü bir otomatik kalibrasyon yönteminin geliştirilmesi gerekmiştir. Ayrıca, bir modelin birden fazla kritere göre kalibre edilmesi, iç süreçlerin güvenilir simülasyonları için önemlidir. Performans ölçümleri kullanılarak yapılan çok kriterli (performans metriği ve/veya durum değişkeni kullanılarak) değerlendirme, tek başına yanıltıcı olabilecek tek kriterli istatistiklerine göre model performansına ilişkin çok daha kapsamlı bir değerlendirme sağlamaktadır. Bu nedenle, çalışmanın amacı, bu kavramsal hidrolojik model için çok kriterli model parametresi tayin edebilecek bir optimizasyon aracının geliştirilerek modele entegre edilmesidir.

Çalışmada, MATLAB ortamında yürütülen çalışma ile model parametrelerinin belirlenmesi aşamasında sezgisel optimizasyon yaklaşımı (Particle Swarm Optimization, PSO) kullanılmıştır. Bu haliyle model parametrelerini, akımın yanı sıra toprak nemi ve karla kaplı alan ve/veya kar su eşdeğeri değişkenlerini kullanarak belirlemek mümkün olmuştur. Her iki veri grubu için de EUMETSAT H SAF [6] projesi ürünleri tercih edilmiştir. Karla kaplı alan için SE-E-SEVIRI(H10), kar su eşdeğeri için H SAF SWE-E(H13) ve toprak nemi için SM-DAS-2(H14) uydu ürünleri kullanılmıştır. Bu değişkenlerden hangi ya da hangilerinin kullanılacağı, hangi ağırlıkla kullanılabileceği uygulayıcı tarafından seçilebilmektedir. Ayrıca, model performans kriterleri de seçilebilmekte ve ağırlık verilebilmektedir. Çalışma sonunda alınan sonuçlar, çok kriterli optimizasyon yaklaşımının, model değişkenlerinin iyileşmesine, ayrıca, çok kriterle belirlenen model parametrelerinin daha güvenilir olmasına katkı sağladığı görülmektedir.
#### 2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ

Çalışma alanı olarak EUMETSAT H SAF projesinde uydu kar ürünlerinin hidrolojik olarak doğrulanmasında ve etki çalışmalarında pilot havza olan ve Doğu Anadolu bölgesinde Yukarı Fırat üzerinde yer alan Karasu Havzası seçilmiştir. Havza 38°58'D ve 41°39'D boylamları ile 39°23'K ve 40°25'K enlemleri arasında yer almaktadır ve 10.275 km<sup>2</sup> drenaj alanını kapsamaktadır (Şekil 1). Havzadaki yükselti aralığı, 1125 ila 3487 metre arasındadır. Mera, tarım arazisi ve çıplak arazi havzadaki üç temel arazi örtüsü türüdür. Gerek topoğrafik konumu gerekse iklimsel durumu havzanın kar yağışından beslenmekte olduğunu göstermektedir. Çalışma bölgesi kar verilerini değerlendirmek ve hidrolojik modellemeyi uygulamak için beş yükseklik aralığına ayrılmıştır. Havza ve çevresinde 18 adet Otomatik Gözlem İstasyonu bulunmaktadır. Günlük toplam yağış ve ortalama sıcaklık verileri bu istasyonlardan sağlanılmıştır. Havzanın akım verileri ise E21A019 numaralı Akım Gözlem İstasyonuna ait verilerdir.



#### Şekil 1: Çalışma alanının konumu.

SE-E-SEVIRI(H10), sabit görünür (VIS) ve kızılötesi (IR) görüntülerle kar/kar yok durumunu gösteren günlük operasyonel bir uydu ürünüdür. Bu ürün, 21 Aralık 2005'te fırlatılan sabit Meteosat İkinci Nesil (MSG) uyduları üzerindeki Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI) cihazının VIS/IR radyometrisinden türetilmiştir. Çalışma bölgesinde görüntülemenin

alansal çözünürlüğü yaklaşık 5 km'dir. Ortaya çıkan günlük haritada kar, bulut, su ve çıplak zemin olmak üzere dört kategori bulunmaktadır. Ürünle ilgili doğrulama ve hidrolojik doğrulama çalışmalarına çeşitli yayınlarda yer verilmiştir [1, 7].

SWE-E(H13) ürünü ise 25 km mekansal çözünürlüğe sahiptir, ve ürün 10 Nisan 2012 tarihinden itibaren SSMI/S verileri kullanılarak gerçek zamanlı olarak üretilmektedir. Şorman ve Beşer [8] algoritmanın tüm özelliklerini sunmaktadır.

SM-DAS-2(H14), sayısal hava tahmini, iklim ve hidroloji çalışmalarında neredeyse gerçek zamanlı olarak kullanılabilen yüzey ve kök bölgesi toprak neminin ilk küresel ürünüdür. SM-DAS-2, 25 km'lik mekansal çözünürlükle ve 24 saatlik bir zaman adımında mevcuttur. Genel olarak SM-DAS-2, genişletilmiş Kalman filtresine (EKF) bağlı gelişmiş bir arazi veri asimilasyon sistemine dayanır. EKF içerisinde ASCAT'tan gelen yüzey gözlemi, yüzeyin 289 cm altına kadar kök bölgesine doğru yayılır ve 4 katman (7, 21, 72 ve 189 cm kalınlık) için tahminler sağlanır. SM-DAS-2(H14) ürünü ile ilgili örneklere çeşitli çalışmalarda yer verilmiştir [9, 10].

#### 3. YÖNTEM

HEC-HMS modeli, yağış-akış simülasyonu için hidrolojik süreçlerin hesaplanmasında farklı olasılıklar sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, sızma kayıplarının hesaplanmasında daha fiziksel tabanlı ve sürekli modelleme yaklaşımına uygun olan Soil Moisture Accounting (SMA) yöntemi, baz akım hesabı için SMA ile en uyumlu çalışan Linear Rezervuar (LR) yaklaşımı tercih edilmiştir. Birm hidrograf hesabında Clark sentetik birim hidrografı kullanılmıştır. Diğer yandan, çalışma alanının dağlık bir bölge olması ve kar baskın bir havza olması nedeniyle, kar modülü de kullanılmış ve kar erimesi derece gün yöntemi ile hesaplanmıştır. Tercih edilen bu yöntemler için model parametrelerinin neredeyse tamamı optimizasyona tabii tutulmuştur.

Optimizasyon için farklı sezgisel algoritmalar değerlendirmeye alınmışsa da burada sadece Particle Swarm Optimization (PSO) uygulaması sonuçlarına yer verilecektir. Modele entegre edilen optimizasyon aracında amaç fonksiyonları için farklı model performans kriterleri tekil ya da çoklu olarak kullanılabilmektedir. Bu fonksiyonlardan bazıları aşağıdaki formüllerde sunulmuştur.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{T} (Q_0^t - Q_S^t)^2}{\sum_{t=1}^{T} (Q_0^t - \bar{Q}_0)^2}$$
(1)

$$KGE = 1 - \sqrt{(R-1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\alpha - 1)^2}$$
<sup>(2)</sup>

$$P - Bias = 100 \frac{\sum_{t=1}^{T} (q_s^t - q_o^t)}{\sum_{t=1}^{T} q_o^t}$$
(3)

$$MBE = \frac{\sum_{t=1}^{T} (Q_0^t - Q_s^t)}{T}$$
(4)

Burada  $Q_0^t$  ve  $Q_s^t$ s, sırasıyla t zamanında gözlenen ve simüle edilen akımları,  $\bar{Q}_0$  and  $\bar{Q}_s$  gözlenen ve simüle edilen akımların ortalamasını,  $\sigma_0$  ve  $\sigma_s$  gözlenen ve simüle edilen akımların standart sapmasını göstermektedir. Ayrıca, KGE içindeki değişkenler aşağıdaki formülle bulunabilir.

$$\beta = \frac{\bar{q}_S}{\bar{q}_o}, \, \alpha = \frac{\sigma_S/\bar{q}_S}{\sigma_o/\bar{q}_o} \tag{5}$$

Gözlenen akımların (Q) yanı sıra uydu ürünleri vasıtasıyla gözlenen karla kaplı alan (SCA), kar suyu eşdeğeri (SWE) ve toprak nemi (SM) değerleri de tekil veya çoklu olarak amaç fonksiyonunda yer alabilmekte ve istenilen kat sayılar ile ağırlıklar tanımlanabilmektedir. Kullanılan durum değişkenine göre yukarıdaki formüllerdeki akım yerine SCA, SWE ya da SM gelmektedir.

HEC-HMS model çıktısı olarak her yükseklik katmanında kar suyu eşdeğeri sunabilmektedir ancak karla kaplı alan değerlerini doğrudan vermemektedir, karla kaplı alan, kar su eşdeğerine bağlı lineer bir fonksiyon olarak hesaplatılmıştır. Karla kaplı alan hesabında bulutlu günler için bulut temizleme algoritması kullanılmıştır. Model toprak nemi için de havza genelinde ya da yükseklik aralıklarında üç farklı katmanda bir hesap sunabilmektedir. Bu değerlerin SM-DAS-2(H14) gözlemleri ile kıyaslanabilmesi her iki veri için de indeksleme yoluyla hesaplama yapılmıştır.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

HEC-HMS model parametreleri 2012-2017 su yılları için kalibre edilmiş ve 2018-2020 su yılları için doğrulanmıştır. Bu çalışmada kullanılan modeller ve detayları aşağıda Tablo 1'de sunulmuştur. Dağlık bir havza ve karın önemli bir bileşen olması nedeniyle, toprak nemi ile ilgili tüm analizlerde kar olmayan dönem için hesaplar yapılmıştır. Kar olmayan dönem ise karla kaplı alanın tüm havzada %10'dan az olduğu tarihler olarak seçilmiştir.

		AĞIRLIKLAR				
	Model	Q	SCA	SM	Amaç Fonksiyonu	
Model-1	Q01	1	0	0	NSE	
Model-2	SM01	0	0	1	KGE	
Model-3	SCA05-SM05	0	0.5	0.5	NSE	
Model-4	Q05-SCA05	0.5	0.5	0	NSE	
Model-5	Q05-SCA03-SM02	0.5	0.3	0.2	NSE	
Model-6	Q05-SCA03-SM02	0.5	0.3	0.2	KGE-PBIAS	

Tablo 1: Cok kriterli model kalibrasyonunda uygulanan modeller.

Model sonuçları için performans değerlendirmesi detayları aşağıdaki tablolarda (Tablo 2 ve Tablo 3) yer almaktadır. Tablo 2'de kalibrasyon ve Tablo 3'te doğrulama dönemi performansları sunulmuştur. Tabloda yer almayan KGE değerleri NSE değerlerine daha yüksektir ve akımlar için 0.85'e, toprak nemi için 0.60'a ve karla kaplı alan için 0.92'ye kadar yükselmektedir. Özellikle, karla kaplı alan için farklı modellerde birbirine çok yakın seyreden NSE ve KGE yerine P-BIAS değerlerine de yer verilmiştir (Tablo 2 ve Tablo 3).

Beklenildiği üzere çok kriterli kalibrasyonun amaç fonksiyonunda en çok ağırlık alan değişkenin performansı daha yüksek olmaktadır. Akım verilerinin amaç fonksiyonunda yer almaması halinde akım performansının kabul edilemez derecede düştüğü görülmektedir (Model-2 ve Model-3). Öte yandan, toprak neminin amaç fonksiyonuna hiç katılmaması durumunda akım ve kar performansında önemli bir değişme (düşme) olmazken toprak nemi durum değişkenin tutarlılığı önemli ölçüde düşmekte ve hata payı artmaktadır (Model-1 ve Model-4). Bu çalışmada kar su eşdeğerleri kalibrasyonda doğrudan kullanılmamış ancak model performansının sınanmasında yer almıştır. Sadece akımın amaç fonksiyonunda yer alması kar değişkeninin tutarlılığını belirli bir ölçüde korusa da (Model-1) özellikle kar su eşdeğeri performansında hatanın yükseldiği gözlenmektedir. Tüm performansların en yüksek olduğu durum tüm değişkenlerin amaç fonksiyonunda yer aldığı durumdur. Yapılan detaylı çalışmalarda, akım performansının düşmemesi için en az %50 oranında amaç fonksiyonunda yer alması gerektiği tespit edilmiştir. Amaç performans metriğinin seçiminde amaca göre tek ya da çoklu kriterlere yönelmek mümkündür (Model-5 ve Model-6).

Doğrulama dönemi (2017-2020 su yılları) model performanslarının da kalibrasyon dönemi ile benzerlikler taşıdığı ve yüksek olduğu görülmektedir.

	NSE			P-BIAS			
Model	Q	SM	SCA	Q	SM	SCA	SWE
Model-1	0.74	-2.22	0.86	4.9	49.2	2.5	34.2
Model-2	-12.47	0.59	0.73	-198.3	-1.0	15.3	-8.5
Model-3	-8.81	0.29	0.84	-176.4	2.8	7.9	-12.5
Model-4	0.72	-1.99	0.84	6.5	37.7	4.8	13.2
Model-5	0.72	0.10	0.83	4.6	3.4	10.5	-0.5
Model-6	0.60	0.03	0.83	-0.2	1.6	0.2	18.2

Tablo 2: Çok kriterli model kalibrasyonunda elde edilen model performans metrikleri.

Tablo 3: Model doğrulaması sonunda elde edilen model performans metrikleri.

	NSE			P-BIAS			
Model	Q	SM	SCA	Q	SM	SCA	
Model-1	0.83	-0.36	0.92	4.9	-26.6	-6.5	
Model-2	-6.57	0.32	0.78	-198.3	13.2	-20.4	
Model-3	-4.33	0.41	0.85	-176.4	10.8	-15.2	
Model-4	0.83	-0.47	0.89	6.5	-27.0	-10.0	
Model-5	0.83	0.43	0.87	4.6	10.2	-15.2	
Model-6	0.80	0.41	0.90	-0.2	11.8	-4.5	

Uygulama sonucunda kalibrasyon ve doğrulama dönemleri (2012-2020) için ortak olarak (Q, SCA, SM ve SWE birlikte düşünüldüğünde) en iyi performansın Model-5 ile sağlandığı görülmüş ve sonuçlar farklı değişkenler için grafikler halinde Şekil 2 ile Şekil 4 arasında sunulmuştur. Toprak nemine bağlı kalibrayon ve performans analizi için sadece kar olmayan dönem değerlendirmeye alındığı için Şekil 4'de süreksizlik olmaktadır. Akımın yanı sıra kar ve toprak nemi gözlemlerinin kalibrasyona dahil edilmesi, karlı ve karlı olmayan tüm zaman serisi için model parametre belirsizliğini azaltmakta ve güvenilirliğini arttırmaktadır. Öte yandan, uygulama sonuçları hem kalibrasyon hem de doğrulama döneminde benzer tutarlılıkta yüksek performans göstermiştir.



karşılaştırması (2012-2020)



Şekil 3: Model-5 için karla kaplı alan karşılaştırması (2012-2020)



Şekil 4: Model 5 için toprak nemi karşılaştırması (2012-2020)

#### **5. SONUÇLAR**

Farklı amaçlarla yağış-akış ilişkisini simüle etmek için kullanılan kavramsal hidrolojik modellerin uygulamasında modele girdi olan değişkenlerin ölçümlerinden, model parametrelerinden ve model yapısından kaynaklanan belirsizlikler bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, model parametreleri ile ilgili belirsizliği azaltıp model uygulama güvenilirliğini artırmak üzere çok kriterli bir optimizasyon aracını geliştirerek yaygın olarak kullanılan HEC-HMS modeline entegre etmek olmuştur. Literatürde çok kriterli kalibrasyon çalışmalarına çeşitli örnekler bulunabilmektedir. Ancak bu çalışmaların çoğunda performans metriklerin çoklu olması söz konusudur. Yapılan bu çalışmada kullanılan çok kriterlilik ise hem amaç fonksiyonuna dahil edilen değişkenlerin hem de amaç fonksiyonunda kullanılan performans metriklerinin tek ya da çoğul olmasını kapsayacak şekilde çok yönlüdür. Özellikle HEC-HMS modeli için bu şekilde bir optimizasyon aracının entegre edilmesi; modelin sunduğu, daha fiziksel olan ve çok sayıda parametre gerektiren metotların tercihini ve uygulamasını kolaylaştıracaktır.

Çalışmalar, kar yağışının ve erimesinin baskın olduğu dağlık Karasu Havzasında yürütülmüştür. Hidro-meteorolojik değişkenler yer gözlemlerinden alınırken, amaç fonksiyonunda yer alacak bağımsız gözlem değerleri için uydu ürünlerinden yararlanılmıştır. Kar birikme ve erime döneminde karla kaplı alan, kar olmayan zamanlarda ise toprak nemi çok kriterli model parametre setlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Ülkemizin de Meteoroloji Genel Müdürlüğü koordinasyonunda yer aldığı EUMETSAT H SAF projesinde üretilen kar tanımlama ürünü SE-E-SEVIRI(H10) ve kök bölgesi toprak nemi ürünü SM-DAS-2(H14) model parametre kalibrasyonunda kullanılmıştır. Ayrıca, karla kaplı alan ürünü olan SWE-E(H13)'ten de performans analizi yapabilmek üzere yararlanılmıştır.

2012-2017 yıllarında kalibrasyon ve 2017-2020 yıllarında doğrulama yapılmıştır. Sonuçlara göre, akımın en az yüzde elli ağırlıkta kalibrasyonda yer alması, model akım performansının yüksek tutulması için yeterli olmuştur. Akımın yanı sıra karla kaplı alan ve toprak nemi değerlerinin model kalibrasyonunda yer alması ilgili durum değişkenlerinde bir iyileştirme yaratmaktadır. Bu durum ilgili durum değişkeni için model verimliliğini artırmakta ve/veya hataları azaltmaktadır. Ayrıca, geliştirilen araç ile farklı performans metrikleri amaca bağlı olarak seçilebilir ve ağırlıklandırılabilirler. Kalibrasyon ve doğrulma dönemlerinde, tüm değişkenlerin amaç fonksiyonuna katıldığı modelde en iyi sonuçlar sağlanmıştır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Şensoy A., Uysal G., & Şorman A. A., Assessment of H SAF satellite snow products in hydrological applications over the Upper Euphrates Basin, Theoretical and Applied Climatology, 151(1-2), 535-551, 2023.
- [2] Doğan Y. O., Şorman A. A., & Şensoy, A., Multi-criteria evaluation for parameter uncertainty assessment and ensemble runoff forecasting in a snow-dominated basin, Journal of Hydrology and Hydromechanics, 71(3), 231-247, 2023.
- [3] Tong R., Parajka J., Salentinig A., Pfeil I., Komma J., Széles B., ... & Blöschl G., The value of ASCAT soil moisture and MODIS snow cover data for calibrating a conceptual hydrologic model, Hydrology and Earth System Sciences, 25(3), 1389-1410, 2022.
- [4] US Army Corps of Engineers (USACE), Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual. CPD-74A. Davis, CA: USACE, Hydrologic Engineering Center, 2020.
- [5] Dariane A. B., Javadianzadeh M. M., & James L. D., Developing an efficient autocalibration algorithm for HEC-HMS program. Water resources management, 30, 1923-1937, 2016
- [6] https://hsaf.meteoam.it/ *EUMETSAT H SAF*, Son Kontrol: 03.11.2023.
- [7] Piazzi G., Tanis C. M., Kuter S., Simsek B., Puca S., Toniazzo A. ... & Arslan A. N., Crosscountry assessment of H-SAF snow products by Sentinel-2 imagery validated against in-situ observations and webcam photography, Geosciences, 9(3), 129, 2019.

- [8] Sorman A. U., & Beser O., Determination of snow water equivalent over the eastern part of Turkey using passive microwave data, Hydrological Processes, 27(14), 1945-1958, 2013.
- [9] Massari C., Brocca L., Ciabatta L., Moramarco T., Gabellani S., Albergel C., ... & Wagner W., The use of H-SAF soil moisture products for operational hydrology: flood modelling over Italy. Hydrology, 2(1), 2-22, 2015.
- [10] Baguis P., & Roulin E., Soil moisture data assimilation in a hydrological model: A case study in Belgium using large-scale satellite data. Remote Sensing, 9(8), 820, 2017

## 22 Ağustos 2023 Çanakkale Orman Yangınının Uydu Verileri ile Analizi: Doğal Felaketin İzini Sürmek

Ayşe Gökçen IŞIK Meteoroloji Genel Müdürlüğü Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü Ankara agisik@mgm.gov.tr

#### Mustafa BORA

ÇED, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü Kuzey İç Anadolu Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü Ankara mustafa.bora@csb.gov.tr

#### ÖZET

Orman yangınları, iklim değişikliğine bağlı olarak artan sıcaklıklar ve kuraklık nedeniyle daha sık ve şiddetli hale gelmiş bir tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde daha çok Ege, Akdeniz ve Marmara bölgelerinde gerçekleşen yangınlar, doğal yaşamı, insanları ve ekonomiyi olumsuz olarak etkilemektedir. 22 Ağustos günü Çanakkale'de meydana gelen yangın, 12.30 sıralarında merkeze bağlı Kayadere köyü yakınlarındaki ormanlık alanda başlamış ve yaklaşık 48 saat sonra kontrol altına alınmış olup, 4800 hektara yakın alan yanmıştır. Yaşanan olayın analizinin yapılması, çevreye verdiği etkinin tespit edilmesi için uydu verileri ve bölge çevresindeki hava kalitesi izleme istasyonlarının verilerinden faydalanılmıştır. NASA'ya ait farklı uydular üzerinde olan MODIS ve VIIRS cihazlarının sağladığı verilerle yangının başlangıcı ve yayılımı incelenmiş, analizlerin tamamlanması için Aerosol Optik Derinlik (AOD) değerleri kullanılmıştır. Bu çalışma, orman yangınlarının sürecini izlemek ve çevresel etkilerini (tahrip olan alanlar, etkilenen ekosistem vb.) tespit etmek için uydu verilerinin güçlü bir araç olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler — orman yangını, uydu, aerosol

#### 1. GİRİŞ

Doğal afetler, dünya genelinde insanlar ve doğa üzerinde büyük etkilere sahip olan olağanüstü olaylardır. Bu afetler aralarında depremler, kasırgalar, tsunamiler, seller, kuraklık, orman yangınları, volkanik patlamalar ve taşkınlar gibi olayları içermektedir [5].

Doğal afetlerden biri olan orman yangınları, her yıl dünya üzerinde geniş alanlara yayılarak yüz milyonlarca hektarlık ormanlık alanı tahrip etmektedir. Bu afetler, milyarlarca dolarlık yangınla mücadele masrafına, can ve mal kaybına, geri dönüşü olmayan değer kayıplarına yol açmaktadır. Bu yangınlar, dünya genelindeki çeşitli ekosistemleri etkileyen ve tüm ülkeleri potansiyel olarak ilgilendiren felaketlerin başında gelmektedir [5].

Artan nüfus etkisiyle yok olan ormanlık alan ormanlara olan baskıyı artırmakta ve ormanların hızla yok olmasına yol açmaktadır. Orman tahribatı ve ormansızlaşma, toprak erozyonunu, biyolojik çeşitlilik kaybını, iklim değişikliklerini var atmosfer kirliliğini (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO ve partikül madde etkisi) arttırmakta, aynı zamanda su düzenini bozarak çölleşme, sel, heyelan, çığ ve kuraklık gibi felaketlere yol açmaktadır. Ormanların korunması ve sürdürülebilir yönetimi bu olumsuz etkileri önlemeye yardımcı olur, çevresel dengenin korunmasını sağlamaktadır [5].

Meteorolojik koşullar ve parametreler, orman yangınlarının oluşumu, şiddeti ve süresi üzerinde kritik bir etkiye sahiptir. Hem insan kaynaklı hem de doğal nedenlere bağlı orman yangınları, yalnızca meteorolojik koşullar uygun olduğunda meydana gelebilir [6].

#### 1.1 Orman Yangınlarının Genel Durumu

Orman yangınları, sadece ülkelerin değil dünya genelinde çevresel sorunlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenlerle, orman yangınlarının izlenmesi, önlenmesi ve kontrol altına alınması büyük bir önem taşımaktadır.

Ülkeler için EFFIS (Avrupa Orman Yangın Bilgi Sistemi) üzerinde genel durum hakkında bilgi almak mümkündür. EFFIS, AB - Avrupa Komisyonu tarafından ulusal olarak yangın konusunda çalışan kurumlarla işbirliği yaparak, AB ve komşu ülkelerdeki orman yangınlarına karşı koruma hizmetlerini desteklemek ve aynı zamanda AB hizmetlerine, Avrupa Parlamentosu'na Avrupa'daki orman yangınları hakkında bilgi sunmak amacıyla kurulmuştur. EFFIS'ten alınan verilerle Şekil 1' de 2006 yılından başlayarak günümüze kadar Türkiye'de yıllık olarak gerçekleşen yangın sayısı ve yanmış alanlar hektar olarak verilmiştir. Şekil 2'de çıkış nedenlerine göre orman yangınları sayıları

2022 yılı için verilmiş olup, sebebi bilinmeyen yangınları, ihmal sonucu çıkan yangınların takip ettiği görülmüştür. Grafiğin devamına bakıldığında 2017 ile 2022 yılları arasında en fazla yanan alanın 2021 yılında olduğunu söylemek mümkündür [4].

Ekstrem hava koşulları, aşırı sıcaklık artışı, şiddetli yağışlarla dolu 2023 yaz mevsiminde Kuzey yarımkürenin büyük bir bölümü etkilenmiştir. Bu ekstrem koşullar, insanların sağlığına ve çevreye büyük zararlar vermiştir. Yaz mevsiminde kayıtlara geçen sıcaklık rekorları yaşanmıştır [4].







*Şekil 2*: a. Çıkış nedenlerine göre orman yangınları b. *Yanan orman alanları ve yangın sayıları* (*OGM*)

#### 2. ÇANAKKALE ORMAN YANGINI

22 Ağustos tarihinde Çanakkale'de meydana gelen yangın, yaklaşık olarak 12.30 sularında merkeze bağlı Kayadere köyü yakınlarındaki ormanlık alanda başlamıştır. Yangın, yaklaşık 48 saatlik bir mücadeleden sonra kontrol altına alındı, ancak sonucunda yaklaşık 4800 hektarlık bir alan zarar gördü. Yangına karadan ve havadan müdahale edilmiştir. Çanakkale'deki orman yangınıyla mücadele kapsamında 8 uçak, 26 helikopter, 240 arazöz, 71 su tankeri ve 173 iş makinesinin bölgeye gönderildiği, 9 köyden 1251 vatandaşın tedbir amaçlı tahliye edildiği duyurulmuştur. Bunun yanı sıra dumandan etkilenen vatandaşlarımız olmuştur.

#### 2.1 Hava Kalitesi

06.06.2008 tarihli ve 26898 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren *Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği*'nde "…*hava kirliliğinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki* zararlı etkilerini önlemek veya azaltmak için hava kalitesi hedeflerini tanımlamak ve oluşturmak, tanımlanmış metotları ve kriterleri esas alarak hava kalitesini değerlendirmek, hava kalitesinin iyi olduğu yerlerde mevcut durumu korumak ve diğer durumlarda iyileştirmek, hava kalitesi ile ilgili yeterli bilgi toplamak ve uyarı eşikleri aracılığı ile halkın bilgilendirilmesini sağlamaktır." denilmektedir.

Söz konusu Yönetmelikte, bu amaçla esasları belirlenmiş bölgelerde hava kalitesinin değerlendirilmesi için sabit ölçümlerin yapılması bir zorunluluk olarak ortaya konulmuştur.

1986 yılında yürürlüğe giren Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği ile birlikte Sağlık Bakanlığı Refik Saydam Hıfzıssıhha Enstitüsünce ülke genelinde SO<sub>2</sub> ve PM10 parametrelerini izlemek amacıyla kurulan toplam 81 adet yarı otomatik sistemlerle hava kalitesi izleme süreci başlamıştır.

Daha sonra, Bakanlar Kurulunun 04/04/2008 tarihli ve 2008/13522 sayılı ile 10/07/2015 tarihli ve 29412 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 15/06/2015 tarihli ve 2015/7754 sayılı Kararları ile ülkemizde kurulan 8 adet Temiz Hava Merkezi (THM) Müdürlüğünün görev ve sorumlulukları arasında "*Hava kalitesi verilerinin yönetimiyle ilgili her türlü görevi yerine getirmek*" ve "*Bölgesel Hava Kalitesi İzleme Ağından elde edilen hava kalitesi ölçüm verilerinin validasyonlarını, analiz ve değerlendirmelerini yapmak, Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı Veri İşletim Merkezi ile gerekli eşgüdüm ve işbirliğini sağlamak*" yer almaktadır.

Mevcut durumda, Türkiye'de gerek THM Müdürlükleri bünyesinde gerek diğer kuruluşlara ait Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağında (UHKİA) sanayi, ısınma, trafik ve arka plan kaynaklı hava kirliliği ölçüm sonuçları kamuoyu bilgisine sunulan istasyon sayısı toplam **366 adet** olup;

UHKİA'da hava kalitesi ölçüm istasyonlarında istasyonun temsil ettiği kaynak ve bölgesel temsiline göre ölçüm parametre türlerinde değişiklik olabilmek kaydıyla genel olarak hava kirliliği açısından kritik olan **8 parametrede** (PM10, PM2.5, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> ve CO) ölçülen anlık veriler, saatlik ortalamalar halinde internet ortamında *https://sim.csb.gov.tr* adresinden kamuoyu bilgisine sunulmaktadır. [7]

## 2.1.1. Hava kalitesi ölçüm istasyonları verileri

Yangının çıkış noktası, yönü, yayılım gösterdiği ve etkilenen alanlar dikkate alındığında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'na dahil olan ve yangın bölgesi çevresinde bulunan Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarında yangının etkisinin sürdüğü 22-27/08/2023 tarihleri arasında ölçümü yapılan parametrelere (partikül madde - 10, kükürt dioksit, azot oksitler) ait saatlik veriler incelenmiştir.



Yangının çıktığı bölge çevresindeki Hava Kalitesi İzleme İstasyonları ve konumları:

- Balıkesir Edremit İstasyonu,
- Çanakkale Biga İstasyonu,
- Çanakkale Biga İçdaş İstasyonu,
- Çanakkale Çan İstasyonu,
- Çanakkale Merkez İstasyonu,
- Çanakkale Lapseki İstasyonu,
- Edirne Keşan İstasyonu

Şekil 3: Yangının çıktığı bölge çevresindeki Hava Kalitesi İzleme İstasyonları ve konumları



Şekil 4: İstasyonlardan alınan azot oksitlerin (NO<sub>x</sub>) verileri bir arada gösterilmiştir.



Şekil 5: İstasyonlardan alınan partikül madde-10 (PM10) verileri bir arada gösterilmiştir.



Şekil 6: İstasyonlardan alınan kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) verileri bir arada gösterilmiştir.

Hava kalitesi ölçüm istasyonlarında yangının sürdüğü birkaç gün boyunca ölçümü yapılan parametrelerden partikül madde-10 (PM10), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve azot oksitlerin (NO<sub>x</sub>) kirlilik konsantrasyonlarında artış olduğu anlaşılmaktadır.

Ancak, meteorolojik koşullara bakıldığında yangın süresince hakim rüzgar yönünün ağırlıklı olarak kuzeydoğu olduğu dikkate alındığında kirliliğin dağılım ve seyrelme yönünün karadan denize doğru olmasının da etkisiyle kirlilik seviyesinde önemli artışların ölçüm sonuçlarına yansımadığı görülmektedir. PM10 haricinde Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde (HKDYY) belirtilen ulusal sınır değerler **aşılmamıştır**.

PM10 için 24 saatlik günlük ortalama 50 μg/m<sup>3</sup> limit değerine göre aşım olan gün ve sayıları ise şu şekildedir: Çanakkale-Çan İstasyonu: 23-24 Ağustos/2 gün, Çanakkale-Biga İstasyonu: 23 Ağustos/1 gün, Balıkesir-Edremit İstasyonu: 22-23-25 Ağustos/3 gün, Çanakkale-Biga İçdaş İstasyonu: 22 Ağustos /1 gün

#### 2.3 Uydu Çalışmaları ve EFFIS Sistemi

Orman yangınları özellikle sıcak ve kurak mevsimlerde sıkça görülmektedir, Çanakkale'nin 22 Ağustos 2023 tarihinde başlayan orman yangını, bölgede bazı yerleşim yelerini tehdit etmiştir. Çanakkale'deki orman yangınının uydu verileri aracılığıyla analizi yapılmıştır.



Şekil 7: 22 Ağustos 2023 için Yangın Tehlike Tahmini

Yangın Tehlike Tahmini, 2007 yılında, EFFIS'te farklı ulusal yangın tehlike endekslerinin uygulandığı 5 yıllık bir test sürecinin ardından, EFFIS ağı, yangın tehlike seviyesini Avrupa genelinde uyumlu bir şekilde değerlendirmek için Kanada Orman Yangını Hava İndeksi (FWI) Sistemini benimsemiştir. Şu anki durumda, EFFIS'in yangın tehlike tahmin modülü, sayısal hava tahminlerini kullanarak yangın tehlike endekslerine erişim sağlamaktadır. Bu tahminler, ECMWF (~8 km) ve MeteoFrance (~10 km) gibi iki belirli model tarafından oluşturulmaktadır, Bu modeller, yangın tehlike durumunu değerlendirmek ve izlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu sayede yangın tehlikesiyle ilgili güncel bilgilere erişim sağlanmaktadır [1,2].

FWI Sistemi'nin bileşenleri arasında, sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve 24 saatlik yağış gözlemleri bulunmaktadır [2]. Çanakkale yangınından etkilenen iki bölge için FWI değerleri Şekil 8'da gösterilmiş olup, 22 Ağustos günü değerler 50'nin üzerinde olduğundan Yüksek tehlikeyi işaret etmektedir. Yine bu güne ait Yangın Tehlike Tahmini haritası Şekil 7'de paylaşılmıştır. Şekil 9'da ise yanmış alanlar hem MODIS&VIIRS (yeşil) hem de MODIS/Sentinel2 (kırmızı) sensörleri sayesinde 22 Ağustos yangını için görselleştirilmiştir.

Coordinates [lat-lng]: [40.13477235397038-26.54992043808598]



×

Şekil 8: 22 Ağustos 2023 yangını için iki noktada Orman Yangını Hava İndeksi (FWI)

83

#### **BURNT AREAS**

MODIS/SENTINEL2 (supervised)
 MODIS & VIIRS NRT



Şekil 9: 22 Ağustos 2023 yanmış alanlar (yeşil MODIS/Sentinel2 kırmızı MODIS&VIIRS)

## Aktif Yangın Tespiti

Aktif yangınlar, yangınlar sonucu ortaya çıkan termal anormallikler sayesinde tespit edilmektedir. Algoritmalar, potansiyel bir yangının sıcaklığını çevresindeki arazinin sıcaklığıyla karşılaştırır; eğer sıcaklık farkı belirli bir eşik değerinin üzerindeyse, potansiyel yangın, aktif bir yangın veya 'sıcak nokta' olarak bölgeyi belirlemektedir. EFFIS, NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System) tarafından sağlanan aktif yangın tespitini kullanmaktadır [4].

• MODIS Aktif Yangınlar

Terra ve Aqua uydularının üzerinde bulunan MODIS sensörü, yere düşen bölgeleri çevrelerinden belirgin şekilde daha sıcak olarak tanımlar ve bunları aktif yangınlar olarak işaretler. Aktif olarak yanmakta olan bölgeler ile komşu bölgeler arasındaki sıcaklık farkı, aktif yangınların tanımlanmasını ve haritalanmasını sağlar. MODIS'in aktif yangın tespiti sisteminin alansal çözünürlüğü 1 kilometredir [3].

• VIIRS Aktif Yangınlar

NASA/NOAA Suomi National Polar-orbiting Partnership (SNPP) üzerinde bulunan VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), aktif yangınları tespit etmek için MODIS tarafından kullanılan benzer algoritmaları kullanır. VIIRS aktif yangın ürünleri, MODIS aktif yangın tespitini tamamlar ve MODIS'e göre alansal çözünürlüğü daha yüksek olup,

375 metredir. Ayrıca VIIRS, daha küçük yangınları tespit edebilir ve devam eden büyük yangınların sınırlarını belirlemeye yardımcı olabilir.

22 Ağustos tarihi için farklı sensörlerden aktif yangınlar incelendiğinde çözünürlük farkı dolayısıyla VIIRS sensörünün daha fazla sayıda yangın tespit ettiği görülmüştür (Şekil 10).



Şekil 10: 22 Ağustos 2023 aktif yangınlar a. MODIS b. VIIRS

#### 3. SONUÇLAR

Bu çalışma, 22 Ağustos 2023 tarihinde Çanakkale'de meydana gelen orman yangınının uydu verileri ve hava kalitesi ölçümleri ile analizini sunmaktadır. Uydu teknolojisi, orman yangınlarının izlenmesi, tahmin edilmesi ve kontrol altına alınmasında hayati bir araçtır ve yangınla mücadelede önemli bilgiler sunmaktadır.

Yangın Tehlike Tahmini için, orman yangınının potansiyel tehlikesi FWI (Orman Yangını Hava İndeksi) kullanılarak değerlendirilmiştir. 22 Ağustos günü için FWI değerleri yüksek tehlike seviyesini işaret etmiştir.

Uydu Verileri ile Yangın İzleme kısmında, NASA'ya ait MODIS ve VIIRS sensörlerinin verilerini kullanarak yangının başlangıcını ve yayılmasını izlemiştir. Bu veriler, yangının başlangıcını tespit etmek ve yangının potansiyel etkilerini belirlemek için güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır. Hava Kalitesi İzleme: Hava kalitesi ölçüm istasyonlarının verileri incelenmiş ve yangının etkisi altındaki bölgelerde PM10, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirlilik parametrelerinde artışlar tespit edilmiştir. Özellikle PM10(aerosol) için ulusal limitin aşıldığı günlerin en çok 22 ve 23 Ağustos'ta gerçekleştiği görülmektedir. Ancak, rüzgâr yönünün etkisiyle bu artışların miktarı sınırlı kalmıştır.

Aktif Yangın Tespiti yapılarak, farklı uydular üzerinde olan MODIS ve VIIRS sensörlerinin aktif yangın tespit verileri, yangının yerleşim bölgelerine yakınlığı ve potansiyel yayılma hızı hakkında önemli bilgiler sağlamış ve yangının kontrol altına alınması için olay anında rehberlik edebilmektedir.

Çalışma, orman yangınlarını izlemek, tehlike seviyelerini belirlemek ve çevresel etkilerini değerlendirmek için uydu verilerinin ve hava kalitesi izleme istasyonlarının güçlü araçlar olduğunu göstermektedir. Bu tür analizler, yangınla müdahale, yerleşim bölgelerinin tahliyesi ve çevresel etkilerin minimize edilmesi gibi kritik kararların alınmasına yardımcı olabilmektedir. Ayrıca, iklim değişikliği ve kuraklık gibi faktörlerle birlikte orman yangınlarının arttığı bir dönemde, bu analizlerin daha da önemli hale geldiği görülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Copernicus Emergency Management Service, Fire danger indices historical data from the Copernicus Emergency Management Service. In: Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2019
- [2] Van Wagner, C.E., Pickett, T.L., Equations and FORTRAN program for the Canadian Forest Fire Weather Index System. Forestry Technical Report. Canadian Forestry Service, Ottawa, Canada. 1985.
- [3] https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms/c6-mcd14dl
- [4] https://effis.jrc.ec.europa.eu/
- [5] https://mgm.gov.tr/arastirma/dogal-afetler.aspx?s=ormanyangin
- [6] https://public.wmo.int/en/media/news/exceptional-heat-and-rain-wildfires-and-floodsmark-summer-of-extremes
- [7] https://sim.csb.gov.tr

## 22-25 Ocak 2022 Tarihlerinde İstanbul Genelinde Meydana Gelen Yerel Kuvvetli Deniz Etkili Kar Yağışı (DEK) Olayının İncelemesi

#### **Bayram DOĞAN**

Meteoroloji Genel Müdürlüğü 1. Bölge Müdürlüğü Sabiha Gökçen Meydan Meteoroloji Müdürü İstanbul bdogan@mgm.gov.tr

> Ali KAHREMAN Meteoroloji Genel Müdürlüğü 3. Bölge Müdürlüğü Teknik Şube Müdürü Eskişehir akahreman@mgm.gov.tr

#### ÖZET

Büyük bir metropol olan İstanbul'da meteorolojik hadiseler, etkileri ve sebep oldukları sonuçlar büyük önem arz etmektedir. Bu yüzden biz de 22-25 Ocak 2022 tarihlerinde İstanbul'un kuzey ve batı kesimlerinde hayatı olumsuz etkileyen, hava trafiği başta olmak üzere, kara ve deniz ulaşımında aksamalara, şehir içinde ve Kuzey Marmara Otoyolu'nda trafiğin durma noktasına gelmesine, okulların tatil edilmesine ve işyerlerinde idari izin verilmesine neden olan deniz etkili kar yağışı (DEK) olayını inceledik.

## 1. GİRİŞ

22 Ocak 2022 tarihinde hafif kar geçişleri şeklinde başlayan ve hayatı olumsuz etkilemeyen yağışlar, akşam saatlerinde kuzeydoğulu akışlar şeklinde tekrar hızlanmış ve Çatalca çevrelerinin yüksek kesimlerinde etkili olmuştur.



## Şekil 1: 22 Ocak 2022 radar görünümü

23 Ocak 2022 günü 00:00 GMT sonrası gök gürültülü kar sağanakları şeklinde deniz etkili kar (DEK) başlayıp gün boyu aralıklarla devam etmiştir. İstanbul Havalimanı'nda 12 cm, Sarıyer'de 1 cm, Sabiha gökçen Havalimanı'nda 8 cm kar örtüsü ölçümü yapıldı. Hava ve kara ulaşımında zamanında karla mücadele yapılması nedeniyle sıkıntı yaşanmadı. Meteorolojik Acil Durum Komitesi (MADKOM) toplantıları sonucunda İstanbul Havalimanı'nda %10 kapasite azaltılması, Sabiha Gökçen Havalimanı'nda %15 kapasite azaltılması kararı alınmıştır.



Şekil 2: 23 Ocak 2022 radar görünümü



Şekil 3: 23 Ocak 2022 13:00 TSİ uydu görünümü

Kar yağışının 24 Ocak sabah saatleri itibariyle etkisini artırması nedeniyle Avrupa Yakası'nda yer yer yoğun kar yağışları gözlemlendi. Öğle saatlerinden itibaren kuvvetlenen kar yağışları nedeniyle İstanbul Valiliği tarafından kamu kurumlarında mesai bitimi 15:30'a alındı. Kara yollarında kar yağışının aralıksız devam etmesi ve kar örüsü sonucu trafikte tıkanmalar yaşanması nedeniyle Trakya'dan İstanbul'a araç girişleri durduruldu. İstanbul Havalimanı'nda karla mücadele yapılamaması nedeniyle uçuşlar TSİ 14:00 – 18:00 arasında durduruldu. Yeni uzaktan algılama verileri ışığında 16:30'da MADKOM toplantısı kararı alındı. Yapılan toplantı sonrası tüm operasyonların 25.01.2022 günü 04:00'e kadar durdurulması kararı alındı. 25.01.2022 günü 00:00'da yapılan MADKOM toplantı kararıyla operasyonların 13:00'e kadar durdurulması kararı alındı. Sabiha Gökçen Havalimanında MADKOM Kararı ile %15 kapasite azaltılması yapılmıştır.



Şekil 4: 24 Ocak 2022 radar görünümü



Şekil 5: 24 Ocak 2022 17:30 TSİ uydu görünümü

25 Ocak 2022 günü deniz etkili gök gürültülü kar sağanakları etkisini kaybetmiş, gün içerisinde hafif kar yağışları gözlenmiştir. İstanbul Havalimanı'nda kar yağışının kesilmesi sonrası karla mücadele ekipleri gerekli pist temizliğini yaptı ve uçuşlar tekrar başladı. Kuzey Marmara Otoyolu trafiğe açıldı.



Şekil 6: 25 Ocak 2022 radar görünümü



Şekil 7: 25 Ocak 2022 14:00 TSİ uydu görünümü

Çalışmamızda incelediğimiz zaman diliminde İstanbul ilinde kar yağışına bağlı olarak özellikle Avrupa Yakası'nda olmak üzere il genelinde ölçülen günlük kar yüksekliklerinden de anlaşıldığı üzere 23 ve 24 Ocak 2022 tarihlerinde hayatı olumsuz şekilde etkileyecek ölçüde yağış gerçekleşmiştir.

Kar Yükseklikleri (cm)						
	22.01.2022	23.01.2022	24.01.2022	25.01.2022		
İstanbul Havalimanı	1	12	10	36		
S. Gökçen Havalimanı	5	8	16	26		
Arnavutköy	0	42	51	66		
Çatalca	16	16	34	34		
Sarıyer	1	1	3	7		
Kumköy	-	-	2	5		

Tablo 1: Aylık ve yıllık eşyağış haritalarının oluşturulmasında kullanılan yöntemler ve hata miktarları

#### 2. SONUÇLAR

Meteoroloji Radarları takibi ile kısa süreli tahminlerle özellikle havalimanlarında uçuşların yapılması ve karla mücadele zamanlarının belirlenmesi Meteorolojik Acil Durum Komitesi (MADKOM) toplantıları ile hızlı ve ani çözümler üretilmesine çok büyük katkı sağlamaktadır. Karayollarında havalimanlarındaki gibi bu tür yağışlarda herhangi bir mekanizma olmaması nedeniyle karla mücadelede sorunlar yaşandığını düşünmekteyiz. Özellikle deniz etkili kar yağışlarının (DEK) ani ve kısa süreli zamanlarda etkili olması nedeniyle kar mücadelesi yapılmış yerleri tekrar kapattığı gözlemlenmiştir. Trafiğin aktığı yerlerde araç kalmaları ve kaymaları sonucu tıkanmalar yaşanması nedeniyle bu tür kar yağışlarında uygulanan karayolu kapatmaları, trafiği rahatlatmak amacıyla araç geçiş sınırları ve tamamen trafiğe kapatma yöntemleri geliştirilmiş ve 2023 yılında etkili olan kar yağışlarında trafikte tıkanmalar ve kapanmalar

#### KAYNAKLAR

- [1] MGM uzaktan algılama ürünleri( 22-25 Ocak 2022 istanbul radarı ve uydu MSG-2 snow/fog RGB görüntüleri)
- [2] İstanbul Havalimanı ve Sabiha Gökçen Havalimanı Meteorolojik Acil Durum Komitesi (MADKOM) toplantı tutanakları
- [3] İstanbul Valiliği X paylaşımları

## Çeşme Yarımadası'nı Etkileyen Bir Konvektif Yapının Nowcasting (Çok Kısa Süreli Hava Tahmini) Yöntemleri Temelinde İncelenmesi: Örnek Olay İnceleme (11 Şubat 2021, Çeşme)

Dr. Barış UZUN Meteoroloji Genel Müdürlüğü Bölge Tahmin ve Uyarı Merkezi İzmir buzun@mgm.gov.tr

Serdar GÖKSU Meteoroloji Genel Müdürlüğü Bölge Tahmin ve Uyarı Merkezi İzmir sgoksu@mgm.gov.tr

#### ÖZET

Çalışmada, 2021 yılında Meteoroloji 2. Bölge Müdürlüğünün erken uyarı sorumluluk sahasında bulunan Çeşme Yarımadası'nda kuvvetli hava olaylarına neden olan konvektif yapının durum incelemesi (case study) ele alınmıştır. Konvektif yapı, kuvvetli ve aşırı yağışların yanı sıra ceviz büyüklüğüne yaklaşan dolu ve hortum gibi yıkıcı etkileri olan kuvvetli meteorolojik hava olaylarına neden olmuştur.

Çalışma kapsamında, İzmir Meteoroloji Radarı görüntüleri arşiv görüntüleri kullanılarak oluşan yapıların analizi yapılmıştır. Gelişen konvektif yapılarda oluşan orajlar nowcasting yöntem ve yaklaşımları ile değerlendirilmiştir. Oraj hücrelerinin zamana yaşam bağlı gelişimi ile yağış miktarı ve neden olduğu yağışların cinsi arasındaki ilişki incelenmiştir. Mevcut meteorolojik şartların analizi için, otomatik meteoroloji istasyonu verileri, aktüel yer ve yüksek seviye haritaları, ravinsonde gözlemleri ve arşiv sayısal model ürünleri kullanılarak mevcut durum tespiti ve analizler gerçekleştirilmiştir. Konvektif yapının neden olduğu, yörede oluşan kuvvetli Hava olaylarının yarattığı olumsuz etkilerin tespiti amacıyla, meteorolojik fevk gözlemleri, sosyal medya ve basında yer alan görsel materyaller haberler ile yöre sakinlerinden ve Çeşme Meteoroloji Müdürlüğü çalışanlarından edinilen bilgiler değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler — Hızlı Gelişen Oraj (RDT), Nowcasting, Fırtına Hattı (Squall Line), Orgonize Çoklu Fırtına Hücresi (Organized Multi Storm Cells) Konvektif Vortex (CV),

### 1. GİRİŞ

İzmir Bölgesel Uyarı ve Tahmin Merkezi (BTUM)'nin sorumluluk sahası İzmir, Aydın, Manisa Çanakkale ve Balıkesir illerini kapsar. İzmir BTUM, rutin kısa vadeli tahminler ve Nowcasting tahminleri sağlayarak, kuvvetli hava olaylarının neden olabileceği olumsuzlukları en aza indirebilmek amacıyla çalışmalar gerçekleştirmektedir. Merkezin sorumluluk sahasında gerçekleşen konvektif yapılar, şiddetli ve yıkıcı sonuçlara yol açmaları sebebiyle, zaman, konum ve şiddeti önceden tahmin edilmesi büyük öneme sahip hava olaylarıdır. Bu yapıların gözlem ve tahmininde en önemli araç meteoroloji radarlarıdır. Zaman içinde sayısal hava tahmin modelleri de gelişerek, tespit ve takip algoritmalarına dahil olmuş olsalar da meteoroloji radar verileri, hala bu sistemlerin en önemli parçasıdır. Bu doğrultuda operasyonel çalışmalar yürütülürken karşılaşılan kuvvetli hava olaylarının ikinci nesil Meteoroloji uydularından (MSG) elde edilen görüntüleri, Balıkesir ve İzmir'de yer alan Meteoroloji radarları verileri kullanılmaktadır.

Seçilen örnek olay, kış sonu derin nemli konveksiyon alanında oluşan ve yörede nadir olarak bu denli yıkıcı etkiye sahip olan konvektif yapıdır. Bu yapı içinde oluşan oraj hücreleri yıldırım, ceviz büyüklüğünde dolu, hortum üretmiştir. Olay sonrasında fırtına güzergahında, kökünden sökülen ağaçlar, ters dönen araçlar, uçan çatılar ve batan tekneler ile birlikte doludan hasar gören araçlar, seralar ve dolu birikintilerinin yeryüzünde katman oluşturduğu gözlenmiştir. Kuvvetli yağış Çeşme Yarımadası'nda gerçekleşmemesine rağmen İzmir Körfezi'nin kuzeyinde küçük çaplı dolu örtü yapmış ve kuvvetli yağış gerçekleşmiştir.

#### 2. KUVVETLİ HAVA OLAYLARININ NOWCASTING YÖNTEMİ İLE ANALİZİNDE KULLANILAN MATERYAL VE YÖNTEM

#### 2.1. Seçilen Kuvvetli olayların Belirlenmesinde Dikkate Alınan Kriterler

Bölgede oluşan kuvvetli hava olaylarının hakkında meteoroloji radarı ile elde edilen verilerin analizi sırasında yaşanabilecek olumsuzlukları en aza indirebilmek amacıyla aşağıdaki kriterler belirlenmiştir.

## 2.1.1 Radarın Kuvvetli Olayların Analizinde Etkin Kullanılabilmesi İçin Kriter

Kuvvetli hava olaylarının analizinde kullanılan Temel radar ürünlerinin 90 km'lik bir yarıçap içinde etkin kullanımının mümkün olması nedeniyle, oluşan konvektif yapının gelişimi ve sona erme evrelerinin İzmir Meteoroloji radarından kuş uçuşu 90 km'lik yarıçap içinde yer alması seçim kriterlerinden biri olarak belirlenmiştir.

# 2.1.2 Oluşan Kuvvetli Olaylarına Bağlı Yer Seviyesinde Meteorolojik Parametrelerdeki Değişimin İzlenilebilirliği

Kuvvetli olayların meydana geldiği alan içinde meteorolojik parametrelerin gözlemlenmesine ve kuvvetli hava olaylarının sonuçlarının incelenmesine ve değerlendirilmesine olanak sağlayan otomatik meteoroloji istasyonlarının bulunması ve kuvvetli hava olaylarının gerçekleştiği sahanın içinde yüksek atmosfer gözlemleri yapan İzmir-Güzelyalı istasyonunun ver alması, daha etkin olay incelemenin yapılmasına olanak sağlamamıştır. Ayrıca fırtına güzergahında yaşayan nufus yoğunluğunun fazla olması olay sonrası yıkıcı etkilerin araştırılmasında kolaylık sağlamıştır. Görgu tanıklarının ve güvenlük kameralarının yapıtıkları görsel kayıtlar ve ulusal medyada yer alan göresel kayıtlar kullanılarak meydana gelen olayın etkisi araştırılmıştır. Yine yazılı ve görsel ana akım medyanın oluşan kuvvetli hava olaylarına ilgi gösterdiği için ana haber bültenlerinden gerçekleşen kuvvetli hava olaylarının etkileri incelenmiştir.

Çalışmada, Urla(18028), Urla-Uzunkuyu (18035) Çeşme Meteoroloji Müdürlüğü (17221), Azaplar Kayalığı Feneri, (17439), Çeşme-Kaleyeri Feneri (17443), Güzelbahçe (18444), İzmir-Güzelyalı (17220), Karaburun (18032), Mordoğan Mendirek Feneri (17444), Karşıyaka (18446), İzmir Körfezi Narlıdere Şamandıra (17383) otomatik istasyonu verileri kullanılmıştır (Şekil 1).



## Meteoroloji Radarı ve Otomatik Meteoroloji İstasyonları

## 2.2.Konvektif Yapının Analizi

Çeşme Yarımadası'nda oluşan yapıyı analiz etmek amaçlı örnek olay incelemesinde sinoptik ölçekli ve mikro ölçekli araştırma yürütülmüştür.

## 2.2.1. Mevcut Durumun Sinoptik Ölçekli Analizi

Geç kış Ülkemizin batısından Romanya'nın güneyine kadar uzanan derin ve nemli bir konveksiyon sahasında meydana gelen konvektif yapılar Çeşme Yarımadasında kuvvetli hava olaylarına neden olmuştur. 11 Şubat 00 Z sinoptik haritası analizinde ülkemizin kuzey batısında bulunan soğuk cephe Cenova Körfezi ve İtalya'nın güneyi boyunca uzanmakta ve ülkemizin tamamı 1022 mbar yüksek basınç sisteminin etkisindedir. 11 Şubat 18 Z sinoptik haritası analizinde ise, merkezi Saroz Körfezi'nde bulunan alçak basınç sisteminin soğuk cephesinin Ege Denizi ve Orta Akdeniz boyunca

uzandığı analiz edilmiştir. Çeşme Yarımadası'nın soğuk cephesel sistemin etkisi altındadır (Şekil-2).



11 Şubat 2021 Yer Kartları (00Z -18Z)

Şekil 2: 11 Şubat 2021 Yer Kartları

İzmir – Güzelyalı Yüksek Atmosfer Gözlemleri incelendiğinde, gece 00 GMT gözleminde kısa dalga radyasyon kaybı ve üst seviyelerdeki güneyli akışların neden olduğu sıcaklık terselmesi açıkça

görülmektedir. Yine 12 GMT gözleminde yer seviyesinden hemen sonra sıcaklık terselmesi bulunmaktadır. Her iki rasatta da yükseklikle saat yönünün tersine rüzgar dönüşü (backing wind) mevcuttur (şekil 3).



11 Şubat 2021 İzmir - Güzelyalı Yüksek Atmosfer Gözlemleri

Şekil 3: 11 Şubat 2021 İzmir - Güzelyalı Yüksek Atmosfer Gözlemleri

Yüksek atmosfer kartları incelendiğinde, Kuzey Avrupa üzerinden Orta Akdeniz'e kadar uzanan kuzeybatı-güneybatı eksenli soğuk hava,Orta Akdeniz'den ülkemiz üzerine sıcak ve nemli hava taşıyan güney ve güneybatı eksende Yunanistan ve Ege Denizi üzerinde karşılaşmaktadır. Sayısal hava tahmin modellerinden yararlanarak bu iki farklı özelliğe sahip hava kütlesinin neden olacağı potansiyel Vorticity (PV) özellikle Çeşme YarımAdası'nda yüksek değerlere ulaşabileceği belirlenmiştir. IFS modeli incelendiğinde, yüksek seviye 300 mbar akışlarının neden olabileceği vorticity değerinin özellikle Çeşme Yarımadası'nda oldukça yüksek (8-10 PVU) değerlere ulaşacağını öngörmüştür. Öte yandan orta seviye jetlerin güneybatı yönlü 70 -80 kt şiddetine ulaşacağı ancak yön ve hız değişiminin minimum olması nedeniyle 500 ve 700 mBar standart seviyelerinde vorticity değerinin oluşması öngörmemiştir. Yine ve yer seviyesinin hemen üzerinde 925 bBar seviyesinde güneydoğu ve güneyli akışlar nedeniyle yarımadanın güneyinde Alaçatı Açıklarında 2 PVU değeri öngörmüştür (Şekil 4, Şekil 5).



Şekil 4: Sayısal Tahmin Ürünleri 500 mBar



Şekil 5: Sayısal Tahmin Ürünleri (300 ve 925 mBar PV) ile Alaçatı Atmosfer Dikey Profili

Ülkemizin batısı boyunca uzanan konveksiyon sahasında meydana gelen, yaklaşık 500 km'lik bir alanda etkili olan yay şeklindeki hat konvektif yapılar bulundurmaktadır. Çeşme Yarımadasında kuvvetli hava olaylarına neden olmuştur. Yapısı itibari ile sinoptik ölçekte soğuk cephe ile birlikte oluşan firtına hattı (squall line) olarak değerlendirilmiştir (Şekil 6).



MSG RGB Hava Kütlesi Ürünü 18:00 GMT

Şekil 6:MSG RGB hava kütlesi ürünü

Hızlı Gelişen fırtına yapılarının tespiti amacıyla Eumetsat tarafından üretilen NSAF RDTürünleri desteği ile yapı incelendiğinde, konvektif yapıların oldukça hızlı geliştiği gözlemlenmektedir. Yarımada çevresinde yaklaşık bir saat boyunca olgunluk aşamasında (meature stage) bulunan konvektif yapının varlığı tespit edilmiştir (Şekil 7).

## 2.2.2. Konvektif Yapının Mikro Ölçekli Analizi

İnceleme alanında oluşan ve kuvvetli hava olaylarını bünyesinde barındıran konvektif yapıların mikro düzeyde incelenmesi amacıyla radar verileri ve otomatik istasyon verileri kullanılmıştır. Konvektif yapı, çeşme yarımadasında Alaçatı'da hortum, Urla Güzelbahçe Narlıdere ve Seferihisar çevrelerinde büyük çaplı dolu (r > 2 cm) İzmir Körfezi'nin kuzeyinde ise kuvvetli yağış üretmiştir. Çeşme-Urla hattı yıkıcı rüzgar etkisine sahip hortum, downburst, gustnado ve mikroburst oluşumu açısından değerlendirilmiştir. Urla-İzmir hattı ise büyük çaplı dolu oluşumu açısından incelenmiştir. Bu amaçla seçilen istasyonların dakikalık rüzgar ve yağış verileri değerlendirilmiştir.



MSG Hızlı Gelişen Fırtına (RTD) ürünü (17:45 -18:30 GMT)

Şekil 7:MSG NSAF hızlı gelişen fırtına (RDT) ürünü 101
Çalışmada kullanılan radar görüntüleri İzmir radarı ham arşiv verileri IRIS yazılımı ile yeniden üretilmiştir. İzmir meteoroloji radarı kış modunda çalışarak çalışmada kullanılan verileri üretmiştir. İzmir radarın sağladığı hacimsel verilerden türetilen, en yüksek eko görüntüsü (MAX), eko konumu göstergesi (PPI), eko tepesi (TOPS), yatay rüzgar sevisi (WIND), eko tabanı (BASE), hız (V) kullanılarak konvektif yapılar incelenmiştir.

#### 2.2.2.1.Wind Ürünlerinin İncelenmesi ve değerlendirilmesi

Volümetrik radar taramalarından belirli yükseklik seviyeleri için üretilen rüzgarın yönünde ve hızında meydana gelen değişiklikler Alaçatı'da meydana geldiği belirtilen hortum olayı açısından değerlendirilmiştir. Yapılan incelemede, rüzgar verilerinin üretilmesinde ortalama rüzgar seviyeleri olarak belirlenen 2 km (1500m-2500m) 3 km (2500m-3550m) ve 5 km (4000m-6000m) yükseklik seviye ürünleri kullanılmıştır. Değerlendirmede, alçak (2 km) ve yüksek (5 km) seviyede rüzgar kırılımı yönünde eğilimleri ile karşılaşılırken orta seviye (3 km) verilerinde rüzgar güneybatı yönlerden kararlı olarak 50-70 kt hızla esmiştir. Alt seviye rüzgarının hız ve yönünde meydana gelen kırılım 17:51 GMT görüntüsünde tespit edilerek şekil üzerinde belirlenmiştir (Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10).

# 2.2.2.Hız (V) Ürününün Değerlendirilmesi

İzmir Meteoroloji radarı 1013 metre yükseklikte Alaçatı'nın yaklaşık kuş uçuşu 50 km doğusunda yer alır. Hortum için işaret aramak amaçlı 50-60 km yarıçap içinde farklı tarama açılarında (-02°, 0,5°, 1,5° ve 3°) üretilen hız (V) görüntüleri incelenmiştir. İzmir radarı ile yapılacak -02° hız (V) taramasında aşağı yönlü binde 3,5 eğim sayesinde, Alaçatı çevresinden yaklaşık 800m ila 850 m aralığında hız verisi sağlanabilmektedir. -02° hız (V) tarama verisi hortum tespiti açısından öneme sahip olmasına karşın yere yakın seviyelerden veri toplaması sebebi ile veri temininde aksaklıklara neden olabilmektedir. Özellikle topografik ve beşeri özelliklerin bilinmediği bölgelerde yanılgılara neden olabilecektir.

Güvenlik kamerası görüntülerinden 20:24 TSİ hortumun oluşabileceği saat dilimi civarı olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle 18:16 GMT ve18:24 GMT volümetrik tarama verilerinden elde edilen hız(V) verileri incelenmiştir. 18:16 GMT'de Çeşme şehir merkezi ile Alaçatı arasında kalan bölümde -20 m/s ve 20 m/s aralığında farklı yönlü hareketin varlığı tespit edilmiştir. Elde edilen 1,5° hız (V) verisinde daha net olmakla birlikte 3° hız (V) görüntüsünde de olay yerinde farklı yönlü hareket bulunmaktadır. Ancak -02° hız (V) görüntüsünde Alaçatı çevresinde hızlar aynı yöndedir. Öte yandan çeşme civarında farklı yönlü hızlar tespit edilmiştir. 18:16 GMT'de Çeşme şehir merkezi ile Alaçatı arasında ve olay yeri ve çevresinde farklı yönlü hava kareketlerinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 11 ve Şekil 12).



Şekil 8:İzmir Radarı 5 km WIND ürünü

WIND 3 km Üünleri



Şekil 9:İzmir Radarı 3 km WIND ürünü



Şekil 10:İzmir Radarı 2 km WIND ürünü



Şekil 11: İzmir Radarı 18:16 GMT Hız (V) ürünleri



Şekil 12:İzmir Radarı 18:22 GMT Hız (V) ürünleri

#### 2.2.2.3.MAX Ürünlerinin Değerlendirilmesi

Ana squall hattının hemen gerisinde yarımada üzerinde ve cevresinde yaklasık 120 km'lik bir alanda oluşan mikro ölçekteki yapı, volümetrik tarama verilerinden elde edilen en yüksek eko değerlerinden elde edilen MAX ürünü ile incelenmiştir. Yarımadada oluşan ve kuvvetli hava olaylarının kısa süreli tahmine olanak sağlayan işaretler araştırılmıştır. Klimowski ve arkadaşları (2004), 1996 ila 2022 yılları arasında ABD'de kuvvetli hava olaylarına neden olan incelemislerdir. vapıları Araştırmada konvektif yapıların, yay (BOW) yansıma yapılara dönüşümünün, zayıf organize olmuş fırtına hücrelerin, fırtına hatlarının ve süper hücrelerin oluşumu sonrası gerçekleşme olasılıklarını değerlendirmişlerdir. Zavıf organize olmuş fırtına hücreleri ve fırtına hatlarının daha yüksek olasılık ile yay(BOW) yapısına dönüştüğünü belirlemişlerdir (Şekil 13).



Şekil 13:İzmir Radarı 18:22 GMT Hız (V) ürünleri

Klimowski ve arkadaşları (2004), yay (BOW) yapıları alansal büyüklüğüne bağlı olarak da incelemişlerdir. Genel olarak 4 tip yay (BOW) yapısı belirlemişlerdir. Bunlar; klasik ay(BOW) eko yapısı (BE),Yay yansıma komplexi yapısı (BEC), hücre yay (BOW) yansıma yapısı(CBE) ve fırtına hattı yay(BOW) yapısı(SLBE) olarak belirtilmiştir. Yarımada'da oluşan fırtına hattı yay yansıma komplexi yapısı (BEC) özellikleri göstermektedir. Konvektif yapı yaklaşık 100 ila 120 km bir alanda oluşarak yöreyi etkilemiştir. Alansal olarak BEC ile benzerlik göstermektedir (Şekil 14).

Oluşan yapının MAX görüntülerinde organize hücrelerden oluştuğu görülmektedir. Fırtına hatlarının fırtına yönünde kuvvetli orta seviye jetleri ile bükülmesi sonucu oluşan yay (BOW) yayıpısı MAX görüntüleri ile de tespit edilmiştir. Ayrıca BOW yapısında bulunan ve yine orta seviye jetlerin neden olduğu osınırlı arka akış çentiği MAX görüntülerinde yer almaktadır. Kuvvetli güney batılı akışlar nedeniyle konvektif yapının zaman zaman bozulmaya zorlandığı

gözlemlenmiştir. Hortum rapor edilen alanda ve zaman diliminde ise bookend eko varlığından söz edilebilir.



Konvektif Yapının Oluştuğu Alansal Büyüklüğünün Yay (BOW) Yapı Açısından İncelenmesi

Şekil 14:İzmir Radarı 18:22 GMT Hız (V) ürünleri

Yine yarımada üzerinde ve Deniz üstünde kuzey be güney doğrultusunda Vtipi konvektif yapılar gözlemlenmektedir. Fırtına hücrelerinin dogugüneydoğu ekseninde sıcak hava girişleri bulunmakla birlikte sınırlı zayıf eko bölgesi (BWER) ve zayıf eko bölgesine (WER) rastlanmamıştır (Şekil 15-a, Şekil 15-b).



MAX Ürünleri

Şekil 15-a:İzmir Radarı MAX ürünleri

# Max Ürünleri



18:00 Z

18:06 Z



18:12 Z

18:18 Z

Şekil 15-b:İzmir Radarı MAX ürünleri

#### 2.2.2.4.Base Verilerinin Değerlendirilmesi

Base ürünü incelenirken eşik değer olarak 50 dBZ ve 56 dBZ belirlenmiştir. 18:15 Z görüntüsünde, konvektif yapının yukarı yönlü dikey faaliyeti nedeniyle fırtına hücresinin ön kısmında 50 dBZ değerleri 14 km üzerinde, hücre içi aşağı yönlü faaliyet nedeni ile ise 50 dBZ değerleri 1 ila 3 km yüksekliğinde yer almaktadır (Şekil 16-b).



Şekil 16-a:İzmir Radarı BASE ürünleri

Bununla birlikte 18:21 Z görüntüsü incelendiğinde, aşağı ve yukarı yönlü dikey faliyetlerin fırtına hüctesi geneline yayıllarak, 50 dBZ eşik değerinin hücre genelinde 1 -14 km ve ve üstünde yer almaktadır. Hücre bu süreçte fırtına hücresinin kısmen organize yapısı bozulmuş ancak gücünün hala devam etmektedir. 18:15 Z görüntüsünde, 56 dBZ eşik değeri belirlenerek fırtına yapısı incelendiğinde, yukarı yönlü hareketlerin geçekleştiği bölümde 56 dBZ değeri 14 km ve üzeri yüksekliğe kadar ulaşmış aşağı yönlü hava akımların oluştuğu bölümde ise 3 ila 4 km yüksekliktedir. 18:21 Z görüntüsünde, fırtına hücresinin bünyesinde 56 dBZ değerine ulaşan bölgenin artığı ve bu alanların fırtına yapısının geneline yayıldığı gözlenmiştir. 56 dBZ eko değerlerin yükseklik değerlerinde değişim gözlenmemiştir (Şekil 16-b).





Şekil 16-b:İzmir Radarı BASE ürünleri

## 2.2.2.5.PPI Verilerinin Değerlendirilmesi

Volümetrik radar taramalarından belirli yükseklik seviyeleri (0,5°, 1,5°, 3° ve 5°) için üretilen İzmir Radarı PPI ürünleri yarımadada rapor edilen ceviz büyüklüğünde yağışın araştırılması başta olmak üzere, alınan dikey kesitler ile de Alacatı'da rapor edilen hortum ile ilgili incelenmiştir. Hortum oluşum zamanında PPI görüntülerinde de en yüksek yansıma değerinin Alaçatı çevresinden elde edilmiştir. Özellikle 3 derece PPI taramasında 55-57 dBZ e ulaşan yansıma değerleri belirlenmiştir (Şekil 17).

Dikey kesit incelemesinde, 18:15 GMT ürününde kuzey güney yönlü alınan kesitte , orta seviye jetinin açtığı çentik açıkça görülmektedir. 18:22 GMT görüntüsünde ise kuzeybatı güneydoğu yönlü alınan kesitte konvektif yapının ekseninin kuzeybatı yönlü eğildiği belirlenmiştir. Sistemin kuzeybatısı Alaçatı üzerinde bulunmaktadır. 18:27 GMT görüntüsünde ise, Alaçatı'nın kuzeyinde sistemin ekseni dikleşirken, çoğunlukla 3km -6 km yükseklikte 45-50 dBZ yansıma değerine sahip hücrenin bir bölümünün kopmak üzere olduğu analiz edilmiştir. Kopmak üzere olan bölümün alt bölümünde zayıf eko bölgesi (WER) oluşumu tespit edilmiştir. Muhtemel kopuş öncesi Alaçatı'nın kuzeyine doğru yatan hücrenin bölümünden yere yakın yaklaşık 800 m yüksekliğe kadar yansıma değerleri elde edilmiştir.



Şekil 17b:İzmir Radarı PPI ürünleri (18:22 GMT)



Şekil 18:İzmir Radarı Dikey Kesit Ürünleri (18:15 GMT, 18:22 GMT)



# İzmir Radarı Dikey Kesit 18: 27 GMT

Şekil 19:İzmir Radarı Dikey Kesit Ürünleri (18:27 GMT)

Konvektif yapı yarımadanın doğusuna doğru hareket ederek Urla ve Güzelbahçe ilçelerinde ceviz büyüklüğüne ulaşan dolu üretmiştir. 18:52 GMT itibari ile hücre içi PPI yansıma değerleri artış gösterek 66 dBZ üzerine çıkmıştır. 18:58 GMT'de Seferihisar körfezine giriş yapan ve büyük çapta dolu üretme yeteneğine sahip yapı, Körfezi güneybatı Kuzeydoğu yönlü kat etmiştir. Karaya ulaştığında 19:04 GMT ve 19:10 GMT PPI görüldüğü üzere en güçlü haline ulaşmış ve 66 dBZ üzeri yansıma oldukça geniş bir alana yayılmıştır.



Şekil 20:İzmir Radarı PPI ürünleri (18:52 GMT ve 18:58 GMT)



İzmir Radarı PPI Ürünü 19:04 GMT

Şekil 21:İzmir Radarı PPI ürünleri (19:04 GMT)



Şekil 22:İzmir Radarı PPI ürünleri (19:04 GMT)

# 2.3 Otomatik İstasyonlardan Elde Edilen Yağış verilerinin analizi

11 Şubat 2021tarihinde akşam saatlerinden itibaren etkili olan konvektif yapı, Çeşme yarımadası ve İzmir Körfezi çevresinde ürettiği yıldırım, kuvvetli yağış, ceviz büyüklüğünde dolu (>5 cm) ve hortum gibi meteorolojik olaylar ile hayatı olumsuz yönde etkilemiştir. Olayların gerçekleştiği yörelerde bulunan otomatik istasyon verileri dakikalık olarak incelenmiştir.

Meydana gelen yağışlar Meteoroloji Genel Müdürlüğünün yağış sınıflandırmasına göre değerlendirilmiştir (Tablo 1).

Karşıyaka'da gerçekleşen yağış kuvvetli (38.7 mm/m<sup>2</sup>), Urla'da gerçekleşen yağış çok kuvvetli (25.3 mm/m<sup>2</sup>), Güzelbahçe'de gerçekleşen yağış çok kuvvetli (28,3 mm/m<sup>2</sup>) olarak belirlendi.

# • Tablo 1: Meteorolojik Hadiselerin Şiddetlerine Ait Sınıflandırma.

Yağış Sınıflandırması	(mm m <sup>-2</sup> )
Hafif Yağış	1-5
Orta Kuvvette Yağış	6-20
Kuvvetli Yağış	21-50
Çok Kuvvetli Yağış	51-75
Şiddetli Yağış	76-100
Aşırı Yağış	>100

Rigo ve Llasat (2004), yaptıkları çalışmada İspanya-Katalanya için 1996-2000 yılları arasında gerçekleşen kuvvetli hava olaylarını değerlendirmişlerdir [1]. Çalışma sonucunda kuvvetli hava olaylarını şınıflandırabilmek için yağış eşik değerleri geliştirmiştir. Çalışamada, elde edilen eşik değerlere göre istasyonlarda meydana gelen yağış miktarları değerlendirilmiştir. Gerçekleşen yağış miktarları Rigo ve Llasat(2004)' e göre değerlendirildiğinde; Sadece Karşıyaka'da gerçekleşen yağış (38.7 mm/m<sup>2</sup>), eşik değerin (35 mm / 1 h ) üzerinde yer almıştır (Tablo 2).

Tablo 2: Kuvvetli Yağış Eşik değerleri.

c.

Eşik Değerler	Yağış Miktarı
En az bir yağış ölçerde	100 mm/ 24 h
Beş yada daha fazla yağış ölçerde	60 mm / 24 h
En az 1 yağış ölçerde	35 mm / 1 h
Toplam yağış miktarı En az 1 yağış ölçerde	200 mm

## 3. SONUÇ

Yapılan Mikro ve sinoptik ölçekli araștırma ve analizlerin sonuçları, Kuvvetli Avrupa Hava Olayları Veri Tabanı (ESWD) ile uyumludur Şekil (23). Radar ürünleri ve uydu ürünleri temelinde sayısal hava tahmin verileri otomatik ve verileri ile istasyon desteklenen çalışmada, dolu ve büyük çapta kuvvetli yağış izleri analiz

edilmiştir. Hortum olay anı tam olarak belirlenemezken, oluşumuna ait kuvvetli delillere ulaşılmıştır.



Şekil 23: 11 Şubat 2021 yılına ait Avrupa Kuvvetli Hava Olayları Veri Tabanı Verileri

#### KAYNAKLAR

- [1] Rigo T., Llasat M.C., A methodology for the classification of convective structures using meteorological radar; Application to heavy rainfall events on the Mediterranean coast of the Iberian Peninsula, 200.
- [2] Lemon, L.R., Wake vortex structure and aerodynamic origin in severe thunderstorms. J.Atmos. Sci., 33, 678-685, 1976.
- [3] Duda, J. D. and Gallus W. A., Spring and Summer Midwestern Severe Weather Reports in Supercells compared to other morphologies. Wea. Forecasting, 25: 190-206. 2010.
- [4] Trapp, R. J., Stumpf G. J., and Manross K. L., A reassessment of the percentage of tornadic mesocyclones. Wea. Forecasting, 20: 680-687, 2005.
- [5] Treloar, A. B. and Hanstrum B. N., A Study of Australian Warm Season Thundestorms. Weather Services Scientific Conference, 99-100, 2002
- [6] Duda, J.D. and Gallus Jr. W.A., Spring and Summer Midwestern Severe Weather Reports in Supercells Compared to other Morphologies. Weather and Forecasting 25 pg 190-206,2010.
- [7] Weisman, M. L., and Klemp J. B., The dependence of numerically simulated convective storms on wind shear and buoyancy. Mon. Wea. Rev., 110: 504–520, 1982.
- [8] Corfidi, S.F., Merritt J.H., and Fritsch J.M., Predicting the movement of mesoscale convective complexes. Wea. Forecasting, 11: 41-46,1996.
- [9] Corfidi, S. F., Cold Pools and MCS Propagation: Forecasting the Motion of Downwind Developing MCSs. Wea. Forecasting, 6: 997–1017, 2003.
- [10] Doswell, C. A., Brooks H. E., Maddox R. A., Flash Flood Forecasting: An Ingredients Based Methodology. Weather and Forecasting, 11: 560-581, 1996
- [11] Hane, C. E., Bluestein H. B., Crawford T. M., Baldwin M.E, Robert M., Severe thunderstorm development in relation to along dry line variability: A case study. Mon. Wea. Rev., 125: 231–251, 1997
- [12] Koch, S, and Ray C. A., 1997: Mesoanalysis of summertime convergence zones in central and eastern North Carolina. Wea. Forecasting, 12: 56–77, 1997
- [13] Mahoney, W.P. III., 1988: Gust front characteristics and the kinematics associated with interacting thunderstorm outflows. Mon. Wea. Rev., 116: 1474-1491, 1988.

- [14] Richardson, Y.P., The Influence of horizontal variations in vertical shear and low level moisture on numerically simulated convective storms. Ph.D. Dissertation, School of Meteorology, University of Oklahoma Norman, 236 pp, 1999.
- [15] Rotunno, R., Klemp J. B., 1988: A Theory for Strong, Long Lived Squall Lines Journal of the Atmospheric Sciences, 45(3): 46-48,1988.
- [16] Weaver, J. F., Storm Motion as Related to Boundary Layer Convergence, Mon. Wea. Rev., 107: 612–619, 1979.
- [17] Wilson, J. W. and Schreiber W. E., Initiation of convective storms by radar observed boundary layer convergent lines. Mon. Wea. Rev., 114: 2516–2536,1986.
- [18] Klimowski, B. A., Hjelmfelt, M. R., Bunkers, J. M., Radar Observations of the Early Evolution of Bow Echoes. American Meteorological Society, Vol:19 727-734pages.

# Türkiye Çevresindeki Denizlerde Meydana Gelen Şimşek Ve Yıldırım Hadiselerinin Deniz Suyu Yüzey Sıcaklığıyla İlişkisinin Uzaktan Algılama Yöntemleri İle İncelenmesi

#### Batuhan Ateş YILMAZ

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğü Trabzon bayılmaz@mgm.gov.tr

A. Metin ÇAKIROĞLU Meteoroloji Genel Müdürlüğü Atatürk Havalimanı Meteoroloji Müdürlüğü İstanbul abcakiroglu@mgm.gov.tr

#### Prof. Dr. İhsan ÇİÇEK

Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Ankara ihcicek@ankara.edu.tr

# Prof. Dr. Necla TÜRKOĞLU

Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Ankara nturkoglu@ankara.edu.tr

#### Zerrin DEMİRÖRS

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 3. Bölge Müdürlüğü Eskişehir zdemirors@mgm.gov.tr

#### Edanur GÖZET

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğü Trabzon egozet@mgm.gov.tr

#### İlker ALAN Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanlığı Ankara ialan@mgm.gov.tr

#### ÖZET

Atmosfer tabakalarını belirleyen en önemli faktör sıcaklıktır. Atmosferde meydana gelen dikey ve yatay hareketlerin temelini de sıcaklık farkı oluşturmaktadır. Kara ve deniz yüzevi ile atmosferin üst seviveleri arasında oluşan bu sıcaklık farkları dikey atmosfer hareketlerinde kararsızlık alanlarının oluşmasına; dolayısıyla konvektif firtina bulutlarının oluşumu ile şimşek, yıldırım gibi meteorolojik parametrelerin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Yapılan bu çalışmada 2021 yılı içerisinde Türkiye denizleri üzerinde gerçekleşen yıldırım ve şimşek hadiselerinin deniz suyu yüzey sıcaklığı (DSYS) ile ilişkisi incelenmiştir. Yıldırım ve şimşek verisi olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü bünyesinde kurulu bulunan YTTS verileri kullanılmış olup DSYS verileri olarak Yüksek Çözünürlüklü Deniz Yüzey Sıcaklığı Grubu (GHRSST/NASA) uydu verileri kullanılmıştır. Yapılan çalışmada 2021 yılı içerisinde meydana gelen yıldırım ve şimşek hadiselerinin ve Türkiye denizleri deniz suyu yüzey sıcaklıklarının uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak aylık periyotlarda zamansal ve mekânsal olarak değişimi ortaya konmuştur. Çıkan sonuçlara göre konvektif hava hareketlerine uygun kosullarda deniz suyu yüzey sıcaklıklarının çevresine göre daha sıcak olan bölgelerdeki yıldıırım ve simsek yoğunluğunda artış gözlemlenmiş olup bu durumun mevsimsel periyotlarda değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Deniz yüzey sıcaklığındaki bu artışlar, deniz suyundaki buharlaşma miktarını artırabilecek; bu durum sıcaklığın çevresine göre daha fazla olduğu bölgelerde oluşan şimşek ve yıldırım yoğunluğunun da artışına neden olabilecektir.

Anahtar Kelimeler — Yıldırım Tespit, Deniz Suyu Sıcaklığı, Uzaktan Algılama Yöntemleri.

### 1. GİRİŞ

Oraj ya da gök gürültülü fırtına, gök gürültüsü ve şimşek-yıldırım ile birlikte gelişen, çoğunlukla kuvvetli yağmur ve dolu sağanaklarının, kuvvetli rüzgârların gözlendiği bir ya da birden fazla cumulonimbus (Cb) hücresinin oluşturduğu şiddetli hava olarak tanımlanabilir [1]. Yıldırım

olayının karalarda, denizlere ve kıyı bölgelerine göre daha etkili olduğu yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Karadaki konveksiyon, denizdeki konveksiyona göre daha derin ve güçlüdür. Bu durumun en büyük sebebi, Kara yüzeylerinin, deniz yüzeylerine göre daha hızlı ısınmasıdır [2-4].

Ülkemizde sırasıyla İlkbahar, yaz ve sonbahar ayları atmosferik kararsızlık ve kara kaynaklı konveksiyon nedeniyle yıldırımların en çok görüldüğü dönemlerdir. Yıldırımın gün içerisinde en yoğun olduğu saatler öğle saatleridir [5].

Yıldırımın, deniz suyu yüzey sıcaklığı (DSYS) ile olası ilişkisini araştırmak için çok az çalışma yapılmıştır. Batı Akdeniz'de De Pablo ve Rivas [6] ile Kotroni ve Lagouvardos [7], artan DSYS ile artan yıldırım yoğunluğu ilişkisini açıkladı. Akdenizde Tinmaker [8], DSYS ile Hindistan Yarımadası üzerinde gök gürültülü fırtınaların ve şimşeklerin gelişmesi arasında yüksek korelasyonlar elde etti. Laing [9], ENSO döngüsünün Körfez Kıyısı bölgesindeki La Niña yazları sırasında yıldırımın arttığını tespit etmiştir.

Tropik bölgelerdeki derin konveksiyon, genel dinamik dolaşımla yakından ilişkilidir. Yapılan çalışmalar, 26 °C ' lik DSYS üzerinde, konvektif aktivitenin keskin bir şekilde arttığını açıklar niteliktedir [10-13]. Artan yaz sıcaklıkları ile birlikte son 60 yılda Karadeniz'in yüzey sıcaklığının normalden 2 °C fazla olması, takip eden sonbahar mevsiminde gerçekleşen meteorolojik olayların şiddetini arttırmaktadır [14].

İklim değişikliği konusunda yapılan çalışmalarda, deniz suyu sıcaklarının ilgili parametreler içerisinde en etkin olan parametrelerden biri olduğu açıklanmaktadır [15]. İklim değişikliğinin en fazla hissedilmeye başladığı Akdeniz bölgesi için, 2000 yılından sonraki deniz suyu sıcaklıklarındaki artış eğilimi kış ve sonbaharda önemli ölçüde artmıştır [16].

Anadolu Yarımadası'nın yağışlarının çevredeki denizlerin DSYS' lerindeki değişimlere duyarlı olduğu yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Genel olarak artan DSYS' ler, yalnızca denizlerde değil, yarımadanın yağışlarında da artışlara yol açmaktadır. Yağışlardaki istatistiksel olarak anlamlı artışlar büyük ölçüde yarımadanın denizlerin rüzgar yönündeki kıyı bölgelerinde meydana gelmektedir. Kış aylarında özellikle Doğu Anadolu'da olmak üzere ülkemizin iç kesimlerinde de ciddi artışlar yaşanıyor. Ülkemizi çevreleyen üç denizin DSYS'leri, yağışlar üzerindeki etkiyi arttırır ve alanları istatistiksel olarak anlamlı artışlarla genişlettiği bilinmektedir. RCP4.5 ve

RCP8.5 senaryolarına göre iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışları deniz suyu sıcaklıklarını da artıracak, bu ise deniz kenarındaki yağışların konvektif karaktere bürünmesine neden olacaktır. Dolayısıyla yağış miktarlarında meydana gelmesi beklenilen bu artışların, şiddetli yağış ve sellerin artışına neden olması olasıdır [17]. Tropik siklon yoğunluğu, DSYS ile belirgin bir pozitif korelasyon gösterir. Yıldırım aktivitesi, DSYS 27°C'yi aştığında DSYS' ye karşı daha az hassastır [18].

# 2. YILDIRIM TESPİT VE TAKİP SİSTEMİ (YTTS)

Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi (YTTS); yıldırım ve şimşek hadiselerinin tespiti, takibi ve kısa vadeli hava tahmini (Nowcasting) için; gerçek zamanlı ve yüksek çözünürlüklü meteorolojik bilgi sağlayan pasif bir uzaktan algılama sistemidir. Bu sistem ile yıldırım ve şimşeğin yeri, tipi (buluttan yere ya da yerden buluta), akım şiddeti ile şimşek yüksekliği verileri elde edilebilmektedir. YTTS, 41 adet (1 tanesi KKTC'de bulunmaktadır) pasif algılayıcı sistemden (LINET) oluşmuş bir ağdır. LINET (Lightning Detection Network), çok düşük ve düşük (VLF/LF) frekanslar olan 5- 100 kHz aralığında algılama yapabilen bir sistemdir [19].



Şekil 1. YTTS Algılayıcıları (MGM, 2023) [20]

Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi üç kısımdan oluşmaktadır:

- Yıldırım Tespit İstasyonları (YTİ): Toplam sayısı 35 adet olup biri KKTC'de olmak üzere tüm Türkiye'yi kapsayacak şekilde ülke geneline yayılmışlardır. Yıldırım Tespit İstasyonları dış ünite ve iç ünite olmak üzere iki kısımdan oluşur.
- Merkezi İşlem Ünitesi (MİÜ): Sahalarda kurulu bulunan Yıldırım Tespit İstasyonlarından gelen yıldırım ve şimşek verilerini depolar, hesaplamalar yapar ve son kullanıcılara yıldırım verilerini ve ilave işlemleri sunar.
- İşleme ve Görüntüleme Yazılımı (İGY): Birçok kullanıcının aynı anda bağlanabileceği web ara yüzü olup Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi ile ilgili verilerin görüntüleneceği bir platformdur.



Şekil 2. Yıldırım Tespit İstasyonu

Bu çalışmada 2021 yılına ait yıldırım ve şimşek verileri kullanılarak Türkiye'deki yıldırım yoğunluğu zamansal ve mekânsal olarak analiz edilmiştir. Kullanılan veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından temin edilmiştir. Yıldırım ve şimşek verileri tüm çalışmada yalnızca yıldırım olarak değerlendirilmiştir. Yıldırım olaylarının koordinat ve zaman bilgileri MS Excel dosyasından CBS ortamına aktarılmıştır. CBS yazılımı olarak ArcGIS 10.4.1 versiyonu kullanılmıştır. CBS ortamına aktarılan veriler ArcGIS'te veri tabanları oluşturularak verilerin zamansal ve mekânsal olarak analizlerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Mekansal

Yoğunluk Analizi yapılabilmesi için veriler ED- 1950 Lambert Confarmal Conic Projeksiyon sistemine dönüştürülmüştür.

Mekansal modellemede ArcGIS 10.4.1 yazılımı Spatial Analyst modülü kullanılmıştır. Modelleme yapılabilmesi için raster verilerinin sorgulanması, haritalanması gereklidir. Noktasal yoğunluk analizi belirli bir yarıçap etrafındaki noktaların sayısıyla hesaplanır. Çevresindeki pikseller içerisindeki noktaları sayarak raster çıktısı olarak vermektedir. Her raster hücre merkezinin etrafında bir komşu tanımlanır, bu alana düşen noktalar toplanır ve komşu alanına bölünür [21].

# 3. KÜRESEL DENİZ SUYU SICAKLIĞI İŞLENMİŞ VERİLERİ (ESA SST CCI VE C3S ÜRÜNLERI)

Kopernik sekiz farklı gözlem uydusundan ve ayrıca yeryüzündeki, denizdeki ve havadaki çok sayıda sensör tarafından elde edilen verileri ileten yer istasyonları gibi yerinde sistemlerden de bilgi toplar. Bu zengin uydu verisini ve yerinden elde edilen veriyi işleyip analiz ederek katma değerli bilgilere dönüştürür. Yıllara, on yıllara uzanan veri setleri karşılaştırılabilir ve aranabilir hale getirilerek değişikliklerin izlenmesi sağlanır; desenler incelenir ve örneğin okyanus ve atmosfer hakkında daha iyi tahminler oluşturmak için kullanılır. Görüntülerden haritalar oluşturulur, özellikler ve anormallikler tanımlanır ve istatistiksel bilgiler çıkarılır.

Deniz suyu sıcaklığı verileri Avrupa Uzay Ajansı Deniz Yüzeyi Sıcaklığı İklim Değişikliği Girişimi (ESA/SST-CCI) Kopernik İklim Değişikliği Hizmeti (C3S) L4 SST analizlerinden (SST-GLO-SST-L4-REP-OBSERVATIONS-010-024) temin edilmiştir. Bu ürünlerin belirli bir kısmı Met Office ve JASMIN tarafından işlenmiştir. ESA SST CCI ve C3S yeniden işlenmiş analiz ürünü, yeniden işlenmiş (A)ATSR, SLSTR ve AVHRR verilerinden OSTIA (Operasyonel SST ve Deniz Buz Analizi) sistemi kullanılarak oluşturulan bir uydu deniz yüzeyi sıcaklığı (SST) analizidir. ESA SST CCI verileri 1 Eylül 1981'den 31 Aralık 2016'ya ve C3S verileri 1 Ocak 2017'den itibaren geçerlidir. Veriler 0,05° çözünürlükte küresel ölçekte düzenli grid noktaları üzerinden alınmaktadır. Kullanılan SST ürünü 20 cm derinliğe kadar sıcaklık tahmini sağlamaktadır [22]. Verilerin uydudan elde edilmesi ve yeniden işlenmesi için yapılan işlemlerin şematik gösterimi Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Veri İşleme İçin Kullanılan Yeniden Işleme Zincirinin Şematik Diyagramı (Copernicus, 2023, [22])

# 4. 2021 YILI DENİZ SUYU YÜZEY SICAKLIKLARI VE YILDIRIM HARİTALARI KARŞILAŞTIRMASI

2021 yılı aylara göre deniz suyu yüzey sıcaklıkları (DSYS) ve yıldırım yoğunluk haritaları 3 periyot halinde incelenmiş olup periyotlar Ocak-Nisan I. Periyot, Mayıs-Ağustos II. Periyot, Eylül-Aralık III. Periyot olacak şeklinde belirlenmiştir.

1. Periyot aylık olarak değerlendirildiğinde Ocak ayı içerisinde Güney Ege-Batı Akdeniz hattında Yıldırım aktivitelerinin yoğunluğunun diğer bölgelere göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Muğla ilinin denizlerle etkileşimi olan kıyı hattında Yıldırım yoğunluğunun 40 ys/km<sup>2</sup>'lere ulaştığı görülmektedir. Aynı aya ait DSYS haritaları incelendiğinde Muğla ili açıklarında deniz suyu yüzey sıcaklıklarının 19,1-20,0 °C (292,1-293 °K) olduğu gözlemlenmiş ancak kıyı kesimine yaklaştıkça deniz suyu sıcaklıklarının 20,1ile 21,0 °C (293,1-294 °K)'lere çıktığı gözlemlenmiştir.

Şubat ayı içerisinde Yıldırım aktivitelerinin yoğunluğu daha çok Güney Ege deniz açıklarında gerçekleşirken, Muğla ili deniz açıklarında 16-40 ys/km2'lere varan Yıldırım yoğunluğu gözlemlenmiştir. Aynı aya ait deniz suyu sıcaklıkları haritaları incelendiğinde Yıldırım yoğunluğu yaşanan deniz yüzeyi sıcaklık değerlerinin 17,1-18 °C (290,1-291 °K)' lerde görüldüğü ve çevresine göre (çevre deniz suyu yüzey sıcaklıkları 289,1-290 °K) daha sıcak olduğu gözlemlenmiştir.

Mart ayı içerisinde ülkemiz denizlerinde etkili Yıldırım yoğunluğu bulunmamakta olup Akdeniz açıklarında 2,5-4 ys/km<sup>2</sup> yoğunluk gözlemlenmiştir. Aynı döneme ait deniz suyu yüzey sıcaklıkları incelendiğinde 17,1-18 °C (290,1-291 °K)'ler gözlemlenmektedir.

Nisan ayı incelendiğinde ülkemiz genelinde etkili Yıldırım yoğunluğu bulunmamakla birlikte Marmara Denizi'nin Çanakkale Boğazı civarlarında diğer bölgelere görece yoğun Yıldırım aktiviteleri gözlemlenmiştir (4-10 ys/km<sup>2</sup>). Deniz suyu yüzey sıcaklıkları incelendiğinde Çanakkale Boğazında Yıldırım yoğunluğu bulunan bölgelerde 15,1-16 °C (288,1-289 °K) sıcaklıklar gözlemlenmiştir.

I. Periyoda ait Yıldırım yoğunluk haritaları ve ESA deniz suyu yüzey sıcaklıkları haritaları Şekil4'te sunulmuştur.



Şekil 4. YTTS Yoğunluk ve ESA DSYS I. Periyot Haritaları

2. Periyot aylık olarak değerlendirildiğinde Mayıs ayı içerisinde Yıldırım aktivitelerin genellikle karalar üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Marmara Denizi üzerinde lokal olarak Yıldırım aktivitelerinin olduğu haritalardan anlaşılmaktadır.

Haziran ayı içerisinde Yıldırım aktivitelerinin yoğunluğu daha çok Batı Anadolu'da gözlemlenmiştir. Marmara Denizi'nin kuzey kısımlarında Yıldırım aktivitelerinin yoğun olarak yaşandığı (16-50 ys/km<sup>2</sup>) ve deniz suyu yüzey sıcaklığının kuzey kesimlerde 24,1-25 °C (297,1-298 °K) ile çevresine göre daha sıcak olduğu gözlemlenmiştir.

Temmuz ayı içerisinde ülkemiz genelinde Yıldırım aktiviteleri gözlemlenmiş olup Karadeniz sahil boyunca (1-10 ys/km<sup>2</sup>) ve özellikle Batı Karadeniz kıyıları ve açıklarında yoğunluğun arttığı (10-40 ys/km<sup>2</sup>) gözlemlenmektedir. Aynı aya ait Karadeniz deniz suyu yüzey sıcaklıkları incelendiğinde Karadeniz sahil boyunca Yıldırım aktivitelerinin gözlemlendiği yerlerde deniz suyu sıcaklığının 23-27 °C (296,1-300 °K) civarında olduğu gözlemlenmiştir.

Ağustos ayı incelendiğinde Yıldırım yoğunluğunun Orta ve Batı Karadeniz üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Orta ve Batı Karadeniz kıyı iç kesimlerinde Yıldırım yoğunluğunun 4-40 ys/km<sup>2</sup> olduğu gözlemlenmiş olup İstanbul ve İzmit ilinin kuzey kesimlerinde yıldırım yoğunluğunun en 100 ys/km<sup>2</sup>'lere ulaştığı gözlemlenmiştir. Ağustos ayı Karadeniz deniz suyu yüzey sıcaklıkları incelendiğinde 25,1-27 °C (298,1-300 °K) arasında olduğu gözlemlenmiştir. Yıldırım yoğunluğu en yüksek çıkan İstanbul ve İzmit illerinin kuzey kıyıları ve açıklarında da benzer sıcaklık derecelerine rastlanmaktadır.

II. Periyoda ait Yıldırım yoğunluk haritaları ve ESA deniz suyu yüzey sıcaklıkları haritaları Şekil5'te sunulmuştur.



Şekil 5: YTTS Yoğunluk ve ESA DSYS II. Periyot Haritaları

3. Periyot aylık olarak değerlendirildiğinde Eylül ayı içerisinde Yıldırım aktivitelerin genel olarak yoğunluğunu azalttığı, Karadeniz üzerinde münferit olarak görüldüğü (0,65-2,5 ys/km<sup>2</sup>) ve Doğu Akdeniz' de Hatay ili çevrelerinde yoğunluğunun görece fazla olduğu (2,5-16 ys/km<sup>2</sup>) gözlemlenmiştir. DSYS haritaları incelendiğinde Doğu Akdeniz Hatay civarında deniz suyu yüzey sıcaklıklarının 27 °C (300 °K)'yi aştığı gözlemlenmiştir. Aynı periyotta Karadeniz üzerinde deniz suyu sıcaklıklarının 22,1-24 °C (295,1-297 °K) arasında olduğu gözlemlenmiştir.

Ekim ayı içerisinde Yıldırım aktivitelerinin yoğunluğu daha çok Orta Akdeniz ve sonra Kuzey Ege Denizleri üzerinde gözlemlenmiştir. Orta Akdeniz üzerinde Yıldırım aktivitelerinin yoğun olarak yaşandığı (1-25 ys/km<sup>2</sup>) yerlerde deniz suyu yüzey sıcaklıklarının 26,1-27 °C (299,1-300 °K) olarak çevresine göre daha sıcak olduğu gözlemlenmiştir.

Kasım ayı içerisinde ülkemiz Akdeniz kıyılarında ve açıklarında Yıldırım aktiviteleri gözlemlenmiştir. Yıldırım yoğunluğu 1-25 ys/km<sup>2</sup> arasında olup deniz suyu yüzey sıcaklığı 21,1-25 °C (294,1-298 °K)'ler arasında gözlemlenmiştir.

Aralık ayı incelendiğinde ülkemizi etkileyen etkili bir Yıldırım yoğunluğu olmamasına rağmen Akdeniz üzerinde belirli bir yoğunluğun olduğu gözlemlenmiştir (0,04-2,5 ys/km<sup>2</sup>). İlgili ayda Akdeniz deniz suyu yüzey sıcaklığının da 20,1-22 °C (293,1-295 °K) aralığında olduğu gözlemlenmiştir.

III. Periyoda ait Yıldırım yoğunluk haritaları ve ESA deniz suyu yüzey sıcaklıkları haritaları Şekil6'da sunulmuştur.



Şekil 6: YTTS Yoğunluk ve ESA DSYS III. Periyot Haritaları

#### 5. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada Türkiye'nin 2021 yılına ait YTTS' den alınan Yıldırım verileri için hazırlanan yoğunluk haritaları ve aynı döneme ait Türkiye denizleri için ESA DSYS haritaları arasında ilişkiyi incelemek amaçlanmıştır. 2021 yılı, Ocak ayından başlayarak 4'er ay olacak şekilde 3 periyoda ayrılmıştır. Bu periyotlardan birincisi olan Ocak-Nisan periyodunun 1. çeyreğinde (Ocak-Şubat) Yıldırım yoğunluğunun daha çok Ege ve Akdeniz üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Ege ve Akdeniz üzerinde gözlemlenen Yıldırım yoğunluğunun DSYS'deki değişimlerden etkilendiği ve deniz suyu yüzey sıcaklıklarının çevresine göre fazla olduğu yerlerde Yıldırım yoğunluğunun arttığı gözlemlenmiştir. Birinci periyodun 2. çeyreğinde (Mart-Nisan) Ege ve Akdeniz üzerinde Yıldırım yoğunlukları çok olmamakla birlikte gözlemlenmiş olup deniz suyu sıcaklığında soğumalar meydana geldiği görülmüştür.

2021 yılı Mayıs-Ağustos ayını içeren 2. periyot Türkiye'nin karalar ve denizler üzerinde ki Yıldırım yoğunluğu bakımından en aktif periyodu olarak değerlendirilmektedir. 2. periyodun 1. çeyreğinde yer alan Mayıs ayı içerisinde Yıldırım yoğunluğunun Türkiye denizleri olarak Marmara Denizi ve Karadeniz'in kıyı şeridinde olduğu gözlemlenmiştir. Marmara Denizi ve Karadeniz de meydana gelen Yıldırım aktivitelerinde deniz suyu yüzey sıcaklıklarının çevresine göre 1-2 °C fazla olduğu yerlerde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Haziran ayı incelendiğinde Yıldırım aktivitelerinin yoğun olarak yaşandığı gözlemlenmiştir. Deniz üzerindeki Yıldırım yoğunluğuna bakıldığında Marmara Denizi üzerinde bir yoğunluk olduğu tespit edilmiştir. Bu yoğunluğun Marmara Denizi'nin batı ve kuzey kesimlerinde oluşmasına sebep olan durumun Marmara Denizi yüzey suyu yüzey sıcaklığındaki değişimler olduğu gözlemlenmiştir. İkinci periyodun 2. Çeyreğinde yer alan Temmuz ve Ağustos ayları incelendiğinde Yıldırım yoğunluğunun daha çok Karadeniz ve Marmara Denizi'nin kuzey kesimlerinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Karadeniz deniz suyu yüzey sıcaklığının bu çeyrekte maksimum seviyelere çıkarak 27 °C'lere ulaştığı gözlemlenmiştir. 2021 yılı 3. Periyodu (Eylül-Aralık) incelendiğinde Türkiye denizlerinden Akdeniz ve Ege Denizi üzerinde Yıldırım yoğunluğu olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle Akdeniz'in orta ve doğu kısımlarındaki deniz suyu yüzey sıcaklıklarındaki 3-4 °C'lere varan değişimler Yıldırım yoğunluğunda ki değişimlere sebep olduğu anlaşılmaktadır.

Yapılan bu çalışma neticesinde ülkemizi üç bir yandan saran denizlerimizin pek çok Meteorolojik hadiseye kaynak olduğu gibi Yıldırım aktivitelerine de etkisi olduğu anlaşılmaktadır. İklim değişikliği kaynaklı hava sıcaklıklarında ki değişimler beraberinde pek çok olguyu etkilediği gibi deniz suyu yüzey sıcaklıklarını da etkilemektedir. Bu durumda beraberinde deniz suyu sıcaklığından etkilenen yaşam formlarını doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Türkiye deniz suyu yüzey sıcaklıkları ile Yıldırım aktiviteleri arasında ki bağı ortaya koymaya amaçlayan bu çalışma İklim değişikliğinin etkilerini ve sonuçlarını hedefleyen diğer çalışmalara da atlık olarak değerlendirilebilir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Türkeş, M., 2015, Gökgürültülü fırtınalar ve oluşum düzenekleri, Çevre Bilimleri, Sayı 131.
- [2] Turman, B. N., and B. C. Edgar, 1982: Global lightning distributions at dawn and dusk. J. Geophys. Res., 87, 1191–1206
- [3] Orville, R. E., and R. W. Henderson, 1986: Global distribution of midnight lightning: September 1977 to August 1978. Mon.Wea. Rev., 114, 2640–2653.
- [4] Tinmaker I., Ghude S. and Chate D., 2019. Land-sea contrasts for climatic lightning activity over Indian region. Theoretical and Applied Climatology. 138.
- [5] Öztopal, A., 2017, Türkiye'nin Yıldırım ve Şimşek Gözlemlerinin İncelenmesi, Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt 19, Sayı 56.
- [6] De Pablo F, and Rivas Soriano L, 2002. Relationship between cloud-to-ground lightning flashes over the Iberian peninsula and sea surface temperature Q. J. R. Meteorol. Soc. 128 173–83.
- [7] Kotroni V and Lagouvardos K. (2016), Lightning in the Mediterranean and its relation with sea-surface temperature. Environmental Research Letters, 11:3.
- [8] Tinmaker M I R, Kaushar A and Beig G 2009, Relationship between lightning activity over peninsular India and sea surface temperature J. Appl. Meteorol. Climatol. 49 828–35
- [9] Laing A, Lajoie M, Reader S and Pfeiffer K 2007, The influence of the El Niño–Southern oscillation on cloud-to-ground lightning activity along the gulf coast: II. Monthly correlations Mon. Weather. Rev. 136 2544–56

- [10] Graham, N. E., and T. P. Barnett, 1987: Sea surface temperature, surface wind divergence, and convection over the tropical oceans. Science, 238, 657–659.
- [11] Waliser, D. E., 1996: Formation and limiting mechanisms for very high sea surface temperature: Linking the dynamics and the thermodynamics. J. Climate, 9, 161–188.
- [12] Zhang, C., 1993: Large-scale variability of atmospheric deep convection in relation to sea surface temperature in the tropics. J. Climate, 6, 1898–1913.
- [13] Tompkins, A., 2000. On the Relationship between Tropical Convection and Sea Surface Temperature. Journal of climate. Vol:14
- [14] Bozkurt, D. & Göktürk, O. M. "Artan Deniz Suyu Sıcaklıkları Yağmur ve Rüzgârı Hırçınlaştırırken... Aşırı Yağışlar, Seller, Fırtınalar...", Bilim ve Teknik, 2009.
- [15] Houghton, E. (1996). Climate Change 1995: The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2. Cambridge: Cambridge University Press.
- [16] Şişman, E., 2019. Ege ve Akdeniz Kıyılarında Deniz Suyu Sıcaklıkları İçin Soğuma Döneminde Trend Analizleri. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi. 5(2): 291-304.
- [17] Ünal, Y., Acar, M., Çağlar, F. and Incecik S., Comparing High Resolution Climate Simulations Driven By HadGEM2-ES and MPI-ES-MR Over Turkey For Present And Future, 5th International Conference on Meteorology and Climatology of the Mediterranean, March 2 -4, 2015, Istanbul, Turkey.
- [18] Wang, F., X. S. Qie, D. F. Wang, and A. Srivastava, 2018b: Lightning activity in tropical cyclones and its relationship to dynamic and thermodynamic parameters over the northwest Pacific. Atmospheric Research, 213, 86–96.
- [19] Betz, H.D., Schmidt, K., Laroche, P., Blanchet, P., Oettinger, W.P., Defer, E., Dziewit, Z., Konarski, J., 2009. LINET An international lightning detection network in Europe. Atmos. Res. 91, 564-573.
- [20] https://www.mgm.gov.tr/FILES/Haberler/2015/yildirim.pdf
- [21] Bozkurt, D. and O.L. Sen, Precipitation in the Anatolian Peninsula: sensitivity to increased SSTs in the surrounding seas, Clim. Dyn., 36, (3-4), 711-726, (2011).
- [22] https://www.eumetsat.int/international-cooperation/copernicus

# Dağ Dalgası Mı Yoksa Atmosferik Yerçekimi Dalgası Mı? 30 Ocak 2003 Türkiye Durum Çalışması

#### Berk Yılmaz Ayrancı

Meteoroloji Mühendisliği Bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul ayranci19@itu.edu.tr

#### Rabia Nida Sofu

Meteoroloji Mühendisliği Bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul sofu19@itu.edu.tr

#### Mehmet Yasin Atılgan

Meteoroloji Mühendisliği Bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul atilganm19@itu.edu.tr

#### Esma Nur Demirtaş

Meteoroloji Mühendisliği Bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul demirtase19@itu.edu.tr

#### Emrah Tuncay Özdemir Meteoroloji Mühendisliği Bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi

İstanbul İstanbul etozdemir@itu.edu.tr

#### ÖZET

30 Ocak 2003 tarihindeki Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) True Color Image 1050 UTC uydu görüntüsüne bakıldığında Türkiye Anakarası üzerinde yaklaşık 1000 km'lik bir alana muazzam bir şekilde yayılmış bulut bantları rahatlıkla görülmektedir. Daha çok Karadeniz üzerinde deniz etkili kar (DEK) yağışlarında görülen bulut bantları bu sefer Türkiye Anakarası üzerinde meydana gelmiştir. Bu bulut bantlarındaki dalgalanma Ege ve Batı Akdeniz'den başlayıp İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeyinden geçerek bütün Karadeniz Bölgesi'ni içine alacak şekilde Doğu Anadolu Bölgesi'ne uzanmaktadır. Bu çalışmada bu muhteşem doğa olayına neden olan bulut bantlarına dağ dalgasının mı yoksa atmosferik yerçekimi dalgasının mı neden olduğunun araştırılması yapılmıştır. Çalışma kapsamında National Aeronautics and Space Administration (NASA)'ya ait olan buharlaşma ve yağış bilgilerinin edinilmesi gibi meteorolojik araştırma için kullanılan AQUA ve yine benzer çalışmalar için kullanılan TERRA uydularından alınan MODIS ürünü görüntüleri olayın bir önceki ve bir sonraki günlerini kapsayacak şekilde analiz edilmiştir. Ayrıca çalışmada sinoptik haritaların temini için Büyük Britanya'nın meteoroloji kurumu olan MetOffice ve Avrupa Birliği'nin Dünya gözlemi için kullandıkları Copernicus'un bir ürünü olan Copernicus Climate Change Service'den 6 saatlik ERA5 Reanalysis verileri atmosferin çeşitli seviyelerinde alınarak Python programı ile çizdirilmiştir. Skew T Log P diyagramlarının temininde ise Wyoming Üniversitesi'nden gerekli veriler alınarak aynı şekilde Python programında çizdirilmiştir. Türkiye'de gerçekleşmiş olan bu bulut bandının bir dağ dalgası olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler — Dağ Dalgası, Atmosferik Yerçekimi Dalgası, Uydu Görüntüsü

#### 1. GİRİŞ

Türkiye topoğrafik olarak dağlık alanların bolca bulunduğu bir ülkedir. Bu açıdan ülkede dağlık alanlarda oluşması muhtemel birçok meteorolojik hadise bulunmaktadır. Bunlardan biri de dağ dalgalarıdır. Dağ dalgaları, yüksek dağların yüksekliklerinden esen rüzgarların, dağın rüzgarla karşılaşan yamacında yükselmesi ve yukarı doğru hareket eden hava kütlesinin soğuyarak yoğunlaşması sonucu oluşan dalgalardır. Yer çekimi dalgası ise stabil bir havada gerçekleşen ve atmosferin sabit bir katmanı boyunca hareket eden dalgalardır. Fırtınalı yukarı hava akımları, tropopozu delmeye çalışırken yerçekimi dalgaları üretirler [1].

Duran dalgalar veya rüzgar altı dalgaları, dağ dalgalarının diğer adlarıdır. Bu dalgalar, izotermal katman veya enverziyon gibi, üstünde ve altında daha az stabil hava bulunan gözle görülür bir stabilite katmanı olduğunda meydana gelir. Ayrıca rüzgar yönü dağ silsilesine dik olduğunda (+/-30°) ve rüzgarın yönü önemli ölçüde değişmediğinde de oluşumları mümkündür. Buna ek olarak rüzgar hızının zirvede en az 15 kt olup yükseklikle artması durumu da bu dalgaları oluşturur. Eğer doğru koşullar karşılanırsa, ortaya çıkan dalgalar rüzgar yönüne doğru yüzlerce kilometreye ulaşabilir ve bu dalgalar tropopozun çok üstüne çıkma potansiyeline sahiptirler [2].

30 Ocak 2003 tarihindeki Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) True Color Image 1050 UTC uydu görüntüsüne bakıldığında Türkiye Anakarası üzerinde yaklaşık 1000 km'lik bir alana muazzam bir şekilde yayılmış bulut bantları rahatlıkla görülmektedir (Şekil 1). Daha çok Karadeniz üzerinde deniz etkili kar (DEK) yağışlarında görülen bulut bantları bu sefer Türkiye
Anakarası üzerinde meydana gelmiştir. Bu bulut bantlarındaki dalgalanma Ege ve Batı Akdeniz'den başlayıp İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeyinden geçerek bütün Karadeniz Bölgesi'ni içine alacak şekilde Doğu Anadolu Bölgesi'ne uzanmaktadır.



Şekil 1: 30 Ocak 2003 MODIS True Color Image 1050 UTC

Bu çalışmada bu muhteşem doğa olayına neden olan bulut bantlarına dağ dalgasının mı yoksa atmosferik yerçekimi dalgasının mı neden olduğunun araştırılması yapılmıştır. 30 Ocak 2003'te Türkiye'nin birçok bölgesinde etkili olan bu bulut bandının analizinde sinoptik haritalar, uydu görüntüleri ve Skew-T Log-P diyagramları kullanılmıştır.

# 2. VERİ VE METHOD

Çalışma kapsamında National Aeronautics and Space Administration (NASA)'ya ait olan buharlaşma ve yağış bilgilerinin edinilmesi gibi meteorolojik araştırma için kullanılan AQUA ve yine benzer çalışmalar için kullanılan TERRA uydularından alınan MODIS ürünü görüntüleri olayın bir gün öncesi ve bir gün sonrasını kapsayacak şekilde analiz edilmiştir. Ayrıca çalışmada sinoptik haritaların temini için Büyük Britanya'nın meteoroloji kurumu olan MetOffice ve Avrupa Birliği'nin Dünya gözlemi için kullandıkları Copernicus'un bir ürünü olan Copernicus Climate Change Service'den 6 saatlik ERA5 Reanalysis verileri atmosferin çeşitli basınç seviyelerinde ve yer seviyesinden alınarak Python programı ile çizdirildikten sonra yer kartı, 850 hPa, 500 hPa, 300 hPa, atmosfer kalınlığı (1000-500 hPa) ve bulut kapalılıklarına bakılarak gerçekleşen olayın oluşum mekanizması araştırılmıştır. Buna ek olarak Skew T Log P diyagramlarının temininde ise Wyoming Üniversitesi'nden gerekli veriler alınıp aynı şekilde Python programında çizdirildikten sonra oluşan dalganın tespiti için atmosferin kararlılık/kararsızlık durumu ve rüzgar değerlendirmeleri yapılmış, uydu görüntüleri ile çalışma desteklenmiştir. Haritanın daha net gözükmesi için sadece Türkiye ve Yunanistan kısımları kullanılmıştır. Bu kısımların kullanılmasındaki amaç hem 500 hPa'da kısa ve uzun dalgaları daha net bir biçimde görmek hem de bulut örtüsünü daha anlaşılır bir hale getirmektir. 850 hPa haritasında çiy noktası sıcaklığı ve sıcaklık verilerinin farkı 5 derece santigrat olan yerler yeşil ile belirtilmiştir. Ayrıca bu seviyedeki yağış olasılığını da belirtmek için nispi nem (Relative Humidity (RH)) değerleri de analiz edilmiştir.

# 3. ANALİZ

### 3.1. Sinoptik Kartlar

## 3.1.1. Yer Kartı

30 Ocak 2003 tarihinde MetOffice tarafından hazırlanan 0000 UTC yer kartına bakıldığında Türkiye'nin kuzeyinde, Karadeniz açıklarında 988 hPa'lık bir alçak basınç merkezi, güneydoğusunda ise 1023 hPa'lık bir yüksek basınç merkezi bulunmaktadır (Şekil 2). İzobarlar sık bir şekilde ve batı doğrultusunda düzgün bir şekilde sıralanmıştır. Ege bölgesinde, soğuk bir cephe dağ dalgalarının başladığı noktada etkili olmaktadır. Bu izobarların sıklığı ve doğrultusu, uydu görüntüleriyle elde edilen bulut formasyonlarının dizilişini ve hareket yönünü desteklemektedir. Batılı rüzgarlar ülkenin geneline hakimdir.



Şekil 2: 30 Ocak 2003, MetOffice 0000UTC yer kartı

### 3.1.2. 850 hPa Yüksek Seviye Haritası

850 hPa yaklaşık olarak 1500 metreye karşılık gelmektedir. Bir dağ dalgasının oluşumunun gerçekleşmesi için ise 1 kilometre yüksekliğindeki bir dağın tepesinde en düşük 15kt, 4 kilometre

yüksekliğindeki bir dağın tepesinde en düşük 25 kt rüzgar olması gerekmektedir. Rüzgar şiddetinin yükseklikle artması ve kararlı kalması gerekir. Rüzgar yönü düşey olarak az değişim göstermelidir.

30 Ocak 2003 tarihli 850 hPa haritaları 0600 UTC ve 1200 UTC için incelendiğinde ve olayın gerçekleştiği alanın da genel olarak dağlık alanlardan oluştuğu göz önünde bulundurulduğunda rüzgarların en düşük 20 kt en yüksek ise 35 kt olduğu görülmektedir ki bu değerler de dağ dalgası oluşumu için yeterlidir [3].

850 hPa'da atmosferik yer çekimi dalgasının oluşumunun gözlemlenebilmesi için, yer çekimi dalgalarının o bölgeden geçişi ile atmosferdeki rüzgar hızlarındaki artışın eş zamanlı olarak meydana gelmesi gerekmektedir [4].

30 Ocak 2003 0600, 1200 ve 1800 UTC 850 hPa haritasının rüzgar değerlerine bakıldığında (Şekil 3a-3c) ve 1800 UTC 'in olayın gerçekleşme süresinin sonrasında denk geldiği göz önünde bulundurulduğunda rüzgar değerlerinde gözle görülür bir artışın olmadığı görülmektedir.



## (a) 30.01.2003 0600 UTC 850 hPa

(b) 30.01.2003 1200 UTC 850 hPa



(c) 30.01.2003 1800 UTC 850 hPa

Şekil 3: 30 Ocak 2003 0600,1200 ve 1800 UTC 850 hPa yüksek seviye haritaları

# 3.1.3. 500 hPa Yüksek Seviye Haritası

500 hPa seviyesi atmosferin tam orta seviyesidir ve diverjansızlık seviyesi olarak da bilinmektedir (level non-divergance (LND)). Bu seviyede uzun ve kısa dalgalar birlikte görülür ve kısa dalgaların uzun dalgalar üzerindeki hareketine bağlı olarak atmosferdeki sistemlerin hareketleri hakkında bilgi edinilir. Bu seviyede oluk boyunca mutlak vortisiti değerlerinin + dolayısı ile yükselici hareketlerin; sırtlar boyunca ise mutlak vortisiti değerinin – dolayısıyla alçalıcı hareketlerin olduğu alanları görmek mümkündür.

30 Ocak 2003 0600 ve 1200 UTC için 500 hPa seviyesi çıktılarına bakıldığında (Şekil 4) olayın gerçekleştiği bölgede negatif vortisiti değerlerin mevcudiyeti görülmüştür. Negatif vortisiti değerleri atmosferde inici hareketleri beraberinde getirir. Bu inici hareketlerin de bulut oluşturması beklenmez.



(a) 30.01.2003 0600 UTC 500 hPa
 (b) 30.01.2003 1200 UTC 500 hPa
 *Şekil 4: 30 Ocak 2003 0600 ve 1200 UTC 500 hPa yüksek seviye haritası*

# 3.1.4. Bulut Kapalılığı

30 Ocak 2003 0600 ve 1200 UTC için bulut kapalılıkları incelendiğinde (Şekil 5) 0600 UTC'den 1200 UTC'e gelinceye kadarki geçen sürede yüksek bulut kapalılık oranının olaya ait alanı daha fazla kapladığı görülmüştür. Skew-T Log-P diyagramına bakıldığında Ankara'da 700 hPa (3000 m) seviyesinde bir bulut oluşumunun olduğu görülmüştür ki bu da orta seviye bulutların varlığına işarettir. 1050 UTC'ait uydu görüntüsü ise bunu destekler niteliktedir.

Bir uydu görüntüsüne bakıldığında atmosferik yer çekimi dalgasının bulut kapalılığı, bir dağ dalgasının bulut kapalılığı uydu görüntüsüne göre daha düşüktür. Bu nedenle hem uydu görüntüleri hem de bulut kapalılığı çıktıları atmosferik yer çekimi dalgasını destekler nitelikte değildir.



(a) 30.01.2003 0600 UTC Bulut Kapalılığı
 (b) 30.01.2003 1200 UTC Bulut Kapalılığı
 *Şekil 5: 30 Ocak 2003 0600 ve 1200 UTC Bulut Kapalılığı*

## 3.1.5. 300 hPa Yüksek Seviye Haritası

300 hPa seviyesinde subtropical ve polar jet akımları görülür. Subtropikal jetler tropical ve orta enlemelerde görülürken polar jetler daha yukarı enlemlerde, kutup civarlarında görülür.

Dağ dalgası gelişiminin tahmin edilmesinde en faydalı faktörlerden biri ise o alan üzerinde jet akımının varlığıdır [5]. 300 hPa haritalarında jetler en düşük 60 kt'lık rüzgar değerleri esas alınarak çizilir. Buna göre olayın gerçekleştiği enlemler ve bulunulan aya bağlı olarak rüzgar hızlarının da en düşük 70 en fazla 90 kt olduğu görüldüğünden polar jetin varlığından bahsedilebilir.

300 hPa haritalarında derin bir oluğun varlığında yer çekimi dalgalarının varlığından bahsedilebilir [4]. 30 Ocak 2003 0600 ve 1200 UTC 300 hPa çıktıları incelendiğinde (Şekil 6) yeteri kadar derin bir oluğun olmadığı görülmektedir ki bu durum bir yer çekimi dalgasının olmadığını vurgular niteliktedir.



(a) 30.01.2003 0600 UTC 300 hPa *Şekil 6: 30 Ocak 2003 0600 ve 1200 UTC 300 hPa kartları* 

# 3.2. Uydu Görüntüleri

Türkiye'nin Ege Bölgesi, ülkenin batısında yer alır ve kendine özgü bir topografyaya sahiptir. Bu bölgenin en dikkat çekici özelliği, sahil şeridi boyunca uzanan dağ sıralarıdır. Ege Denizi'nin ılıman rüzgarlarıyla karşılaşan ve dağlar üzerinde yükselen hava kütlesi dağ dalgası oluşumunda önemi büyüktür.

Rüzgârın etkisiyle, hava kütlesi dağlar ile karşılaşınca, yükselti seviyesini artırarak hava kütlesini zorlar. Bu yükselme süreciyle birlikte hava soğur ve yoğuşur. Daha sonra, yoğunlaşan hava kütlesi dağın yamacından aşağı doğru inerken, ısınır ve tekrar yükselir. Bu hareketli döngü, dağ dalgası olarak adlandırılır.

AQUA uydusu tarafından kullanılan 7-2-1 bant kombinasyonu, buz ve bulutları ayrıma yardımcı olmak için tasarlanmış bir kombinasyondur. Bu kombinasyon, yüzeydeki buzun belirginleşmesine ve yüksek seviyeli bulutların ayırt edilmesine yardımcı olur (Şekil 6b).

True Color banttan alınan görüntüde buz, su ve kar ayrımı yapılması daha zor iken 7-2-1 kombinasyonundan alınan görüntüde bulutların ve topoğrafyadaki kar, buz ve su buharı ayrımının daha iyi yapılmıştır. Ege Bölgesinden başlayıp Türkiye'nin büyük bir kısmına yayılmış dağ dalgaları ile oluşan bulutlar görülmektedir.



(a) True Color
 (b) 7-2-1 – Corrected Reflectance
 *Şekil 6: 30 Ocak 2003 AQUA MODIS 1050 UTC uydu görüntüleri [7]*

TERRA uydusundan alınan görsellere bakıldığında ise gerçek renk kombinasyonu ve 7-2-1 bant kombinasyonları benzerdir (Şekil 7 a-b). Farklı olarak kar ve buz haritalanması için kullanılan 3-7-6 bant kombinasyonunda topografyadaki kar buz örtüsü ile bulut ayrımı çok daha belirgindir. Bulutların buz kristalleri yerine daha çok su buharı içerdiği görülmektedir (Şekil 7c). Bu durum bulutların dağ dalgası ile oluştuğunu desteklemektedir. Yerçekimi dalgaları ile oluşan bulutlarda buz kristali oranı genellikle daha fazladır [6].



(a) True Color (b) 7-2-1 – Corrected Reflectance

(C) 3-6-7 – Corrected Reflectance Şekil 7: 30 Ocak 2003 TERRA MODIS 1050 UTC uydu görüntüleri [7]

TERRA ve AQUA MODIS True Color – Corrected Reflectance görüntüleri insan gözünün gördüğüne benzer dalga boyları kombinasyonu olduğu için gerçek renkli veya doğal renkli olarak adlandırılır. Görüntüler, karasal yüzeyin, okyanusların ve atmosferik özelliklerin doğal görünümlü görüntüleridir. Bu bant setinin dezavantajı, genellikle puslu bir görüntü üretmeleridir [6].

TERRA ve AQUA MODIS, Corrected Reflectance, 7-2-1 kombinasyonu kar ve buzun bulutlardan ayırt edilmesinde de kullanılır. Kar ve buz, spektrumun görünür kısmında (Bant 1) çok yansıtıcıdır, Bant 2 (yakın kızılötesi) ve 7 (kısa dalga kızılötesi veya SWIR) bölgelerinde emici özellik gösterir. Kalın buz ve kar canlı gökyüzü mavisi gibi görünürken, yüksek seviyeli bulutlardaki küçük buz kristalleri de mavimsi bir ton alır, su bulutları ise beyaz görünür [6].

TERRA MODIS, Düzeltme Yansıması, 3-6-7 kombinasyonu kar ve buzun haritalanmasında kullanılır. Kar ve buz, görünür spektrumun (Bant 3) çok yansıtıcı olduğu ve Bant 6 ve 7'de (kısa dalga kızılötesi, yani SWIR) çok emici olduğu bölgelerdir. Bu bant kombinasyonu sıvı suyu donmuş sudan ayırt etmek için uygundur; örneğin, karın üstünde bulutlar, buz bulutu ile su bulutu arasındaki farkı belirlemek veya yoğun bitki örtüsünden suları ayırt etmek için kullanılır. Bu bant kombinasyonu sadece MODIS (Terra) için mevcuttur çünkü NASA'nın Aqua uydusundaki MODIS enstrümanının Bant 6 sensörlerinin %70'i fırlatıldıktan kısa bir süre sonra başarısız oldu [6].

#### 3.3. Skew-T Log-P Diyagramları

İzmir 17220 radiosonde istasyonundan 30 Ocak 2003 günü 0000 UTC zamanında elde edilen verilere göre (Şekil 8), yer seviyesinde bir enverziyon görülmektedir; bu durum, atmosferin yer seviyesinde kararlı olduğunu göstermektedir. Yukarı seviyelerdeki rüzgârın yönünün batılı olduğu ve yer seviyesindeki rüzgârın değişim gösterdiği (Veering) gözlemlenmektedir. Yukarı seviyedeki rüzgâr şiddetleri de değişmemesi dağ dalgası oluşumu için önemlidir aynı zamanda rüzgâr hızlarının da dağ dalgasının oluşumu için yeterlidir. 3600 metreden 4000 metre yüksekliğe kadar olan kesimde bir sıcaklık terselmesi mevcut olduğu belirlenmiştir. Saat 1200 UTC verilerine göre, yer seviyesinde herhangi bir enverziyon oluşmamış olup, kuru bir hava hakimdir. 400 hPa seviyesindeki rüzgârın geriye döndüğü (Backing) gözlemlenmiştir.



(a) İzmir 17220 30.01.2003 0000 UTC ölçümü
 (b) İzmir 17220 30.01.2003 1200 UTC ölçümü
 Şekil 8: İzmir 17220 30.01.2003 0000 ve 1200 UTC Skew-T Log-P Diyagramları

Ankara 17130 radiosonde istasyonundan saat 0000 UTC zamanında elde edilen Skew-T Log-P diyagramı verilerine göre (Şekil 9), LCL'nin 850 hPa seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Her iki rasat için de rüzgarların yönünde bir değişim olmadığı ve batı yönünden estiği gözlemlenmiştir. 1200 UTC ölçümünden elde edilen verilere bakıldığına The Lifting Condensation Level' in (LCL) 750 hPa seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Her iki ölçüme de bakıldığında kararlı yukarı seviye atmosferi, yukarı seviyede yeterli rüzgâr şiddetleri ve rüzgâr yönünün değişmemesi dağ dalgasını desteklemektedir.



(a) Ankara 17130 30.01.2003 0000 UTC ölçümü (b) Ankara 17130 30.01.2003 1200 UTC ölçümü Şekil 9: Ankara 17130 30.01.2003 0000 ve1200 UTC Skew-T Log-P Diyagramları

# 3.3. Dağ Dalgasının ve Yer Çekimi Dalgasının Karşılaştırılması

Dağ dalgasının veya yer çekimi dalgasının varlığının tespiti oldukça zordur. Bunun nedeni bazı durumlarda beraberinde gökyüzünde benzer görüntüler bırakmalarıdır. Bu nedenle gerçekleşen hadisenin, bu iki dalga için ayrımının yapılabilmesi için gerekli bazı meteorolojik parametreler (Tablo 1) incelenmiş olup bunun sonucunda 1050 UTC'de Türkiye'de gerçekleşmiş olan bu bulut bandının bir dağ dalgası olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

	Dağ Dalgası	Atmosferik Yer Çekimi Dalgası
Kararlılık/Kararsızlık	Kararlı Olmalı √	Kararlı Olmalı √
Beklenen Bulut	Merceksi Bulut (Lenticular Clouds)	Wave Clouds (Billow Clouds)
850 hPa Rüzgâr Değerleri	Rüzgar Hızı En Az 15 kt Olmalı √	Rüzgar Hızında Artış Olmalı x
Bulut Kapalılığı	Orta ve Yüksek Bulut Olmalı √	Orta Bulut Olmalı x
500 hPa Vortisiti	Pozitif Vortisiti Olmalı x	Pozitif Vortisiti Olmalı x
300 hPa	Rüzgar Hızı En Az 60 kt Olmalı √	Derin Bir Oluk Olmalı x
Rüzgâr Kayması	Rüzgar Kayması Olmamalı 🗸	Rüzgar Kayması Olmalı x

Tablo 1: Dağ dalgası ve atmosferik yer çekimi dalgasının olay kapsamında sağladığı ve sağlamadığı meteorolojik parametreler

Bu tabloya göre hem dağ dalgası hem de atmosferik yer çekimi dalgası oluşumu için atmosferin kararlı olması gerekmektedir. Skew-T Log-P diyagramları incelendiğinde olayın gerçekleştiği zaman aralığında atmosferde kararlılık hakimdir. Ayrıca 850 hPa seviyesinde olay süresinde rüzgar hızında bir artış olmayıp dağ dalgası oluşumu için gerekli olan en az 15 kt koşulunu koruduğu görülmektedir. 500 hPa seviyesinde pozitif bir vortisiti değerinin olması iki dalga oluşumu için gerekli bir koşulken bu çalışmada böyle bir vortisiti değerine rastlanılmamıştır. Bir dağ dalgası oluşumunda rüzgar kaymasının olmaması, atmosferik yer çekimi dalgasında ise yüksek seviye sinoptik haritalarında (300 hPa) derin bir oluk ile beraber rüzgar kaymasının olması beklenmektedir. Bu bağlamda 300 hPa haritalarına ve Skew-T Log-P diyagramlarına bakıldığında rüzgar kaymasının gerçekleşmemesi incelenen olayın bir dağ dalgası oluğunu destekler niteliktedir. Ayrıca 300 hPa haritalarında dağ dalgası oluşumu için rüzgar hızlarının en az 60 kt olma şartının da sağlandığı görülmüştür.

# 4. SONUÇLAR

30 Ocak 2003 tarihinde NASA'nın geliştirmiş olduğu MODIS radyometresine 1050 UTC'de Türkiye üzerinde yaklaşık 1000 kilometrelik bir bulut bandı görülmüştür. Bunun üzerine bu bulut bandının bir dağ dalgası mı yoksa atmosferik yer çekimi dalgası mı olduğunun belirlenmesi amacıyla sinoptik incelemelerde yer kartında dağ dalgalarının başladığı noktada, soğuk bir cephenin varlığının olması durumu destekler niteliktedir.

850 hPa kartında rüzgar değerlerinin bir dağ dalgası oluşumu için 1 km dağın tepesinde en az 15kt ve 4 km dağın tepesinde en az 25 kt şartının olay günü ve saatinde sağladığı görülmüş olup; yer çekimi dalgasının oluşması için rüzgarın sürekli artması koşulunun sağlanmadığı sonucuna varılmıştır.

500 hPa seviyesinde bir dağ dalgası ya da yer çekimi dalgasının oluşumu için pozitif vortisiti değerlerinin oluşumu beklenmiş fakat harita analizlerinde böyle bir değere ulaşılamamıştır.

Dağ dalgası oluşumu sonucunda bulut kapalılıklarında orta ve yüksek bulut kapalılığı görülmesi koşulunun sinoptik haritalar, uydu ve Skew-T Log-P diyagramları tarafından desteklendiği, fakat yer çekimi dalgası oluşumu için daha az kapalılıkta bulutların oluşumu koşulunu sinoptik haritaların sağlamadığı görülmüştür.

300 hPa kartı çıktıları incelendiğinde dağ dalgası oluşumunun gerçekleşmesi için bu seviyede jetlerin varlığının olması gerektiği koşulu ve jetlerin görülebilmesi için bu seviyede en az 60kt rüzgâr değerlerinin kaydedilmesi gerekçesinin yüksek seviye standart seviye haritalarında sağlandığı görülmüştür. Yer çekimi dalgasının oluşumu için ise bu seviyede derin bir oluk oluşumunun görülebilmesi istenmektedir fakat böyle bir oluğa rastlanılmamıştır.

Uydu görüntüleri incelendiğinde özellikle 3-7-6 bant kombinasyonunda bulutların su buharı oranının fazla olması dağ dalgası ile oluştuklarını desteklemektedir.

Olayın hakim sürdüğü İzmir ve Ankara şehirleri için Skew-T Log-P diyagramları incelendiğinde; İzmir'de yukarı seviyedeki rüzgâr hızlarının da dağ dalgasının oluşumu için yeterli olduğu görülmüştür. Ayrıca rüzgâr yönünün herhangi bir değişime uğramaması dağ dalgası oluşumunu destekler niteliktedir. Ankara radiosonde istasyonunda ise kararlı bir yukarı seviye atmosferi görülmüş olup, yukarı seviyede yeterli rüzgâr hızları ve rüzgâr yönünün değişmemesi dağ dalgasını destekler nitelikte olduğu saptanmıştır.

Tüm bu analizler değerlendirildikten sonra, olayda ortaya çıkan uzaktan algılama ürünleri, bölgede yaşanan bir olayın izlerini gayet net bir şekilde göstermektedir. Yer ve yukarı seviye gözlemleri de bu durumu destekler niteliktedir. Tablo 1'de elde edilen 850 ve 300 hPa'daki rüzgar değerleri, Skew-T Log-P diyagramındaki rüzgar kaymasının gerçekleşmeme durumları ve bulut oluşum seviyelerinin bulut kapalılığı haritası ile uyuşması dağ dalgası oluşumunu kanıtlar niteliktedir. Gerçekleşen bu durum uzaktan algılama ürünlerinin hem meteorolojik gözlem hem de hava tahmini aşamalarındaki önemini açıkça ortaya koymaktadır.

### KAYNAKLAR

- [1] Transverse and longitudinal waves review. National Weather Service. (n.d.). https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU\_Training\_Page/Miscellaneous/gravity\_wave/gr avity\_wave.html
- [2] Meteorology (2014). ATPL Ground Training Series, CAE Oxford Aviation Academy, Oxford, England, p. 106-107.
- [3] Aslan Z., Yelken Uçuşları İçin Meteoroloji, 1978
- [4] US Department of Commerce, NOAA. n.d. "In Depth Review of April 12-13th Wind Event." Retrieved October 29, 2023 (https://www.weather.gov/jkl/041220\_Gravity\_Wave).
- [5] Colson, DeVer. 1954. "Meteorological Problems in Forecasting Mountain Waves\*." Bulletin of the American Meteorological Society 35(8):363–71. doi: 10.1175/1520-0477-35.8.363.
- [6] Gumley, Liam. "MODIS True Color Reflectance Imagery User's Guide." Space Science and Engineering Center, University of Wisconsin-Madison. Versiyon 1.0.2, 14 Ocak 2010. https://www.earthdata.nasa.gov/s3fs-public/imported/MODIS\_True\_Color.pdf
- [7] We acknowledge the use of imagery from the Worldview Snapshots application (https://wvs.earthdata.nasa.gov), part of the Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS).

# ERA5-LAND, ERA-WRF, TRMM Ve MSWEP Veri Setlerinin Türkiye Üzerinde Aşırı Yağışları Yakalamaktaki Başarılarının Karşılaştırılması

Berkin Gümüş İnşaat Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara berkin.gumus@metu.edu.tr

Aysu Arık İnşaat Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara aysu.arik@metu.edu.tr

Ali Ulvi Galip Şenocak İnşaat Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara e162324@metu.edu.tr

İsmail Yücel İnşaat Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara iyucel@metu.edu.tr

M. Tuğrul Yılmaz İnşaat Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara tuyilmaz@metu.edu.tr

# ÖZET

İklim değişikliğinin ekstrem yağış olayları üzerindeki etkisi literatürde artık kabul görmektedir. Değişen iklim koşulları mevcut tasarım katsayılarının güncellenmesi gereksinimini doğurmaktadır. Her ne kadar küresel iklim modelleri (GCM'ler) ve bölgesel iklim modelleri (RCM'ler) farklı senaryolar üzerinden gelecek tahminleri sunsalar da bu modeller

bulundurdukları yanlılıklar sebebiyle doğrudan kullanılamamaktadır. Literatürde bulunan birçok yanlılık düzeltme modeli iklim modellerinin tarihsel periyodunun referans verileri ile eğitilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu noktada aşırı yağışları yakalayabilen güvenilir referans verileri gelecek dönemlerin de doğru tahmin edilebilmesi için önem kazanmaktadır. İstasyon temelli noktasal gözlemlere ek olarak grid temelli uzaktan algılama ve model verileri de bu kapsamda öne çıkmaktadır. Mevcut çalışmanın amacı ERA5-Land, ERA5-WRF, Tropikal Yağış Ölçüm Misyonu (TRMM) ve MSWEP veri setlerinin ekstrem yağışları yakalamaktaki başarılarını ölçmektedir. Veri setlerini karşılaştırabilmek amacıyla 1995-2017 yılları arasında yeterli verisi bulunan 192 istasyon referans olarak seçilmiştir. Bahsedilen periyotta bu istasyonlar ve veri setlerinden bu istasyonlara denk gelen gridler için 24 saatlik yağışların 20 yıllık tekerrür seviyeleri hesaplanmıştır. Ülke geneline yayılmış istasyonlardan elde edilen sonuçlar ERA5-Land, ERA5-WRF, TRMM ve MSWEP veri setlerinin 20 yıllık aşırı yağışlardaki ortalama yanlılıklarını sırasıyla %-33.8, %-15.2, %13.9 ve %-16.9 olarak göstermektedir. Türkiye üzerindeki 192 istasyonun tekerrür değerleriyle karşılaştırıldığında veri setleri aynı sırayla 22, 57, 67 ve 46 noktada en iyi sonucu vermiştir. Sonuçlar bölgesel olarak incelendiğinde ise Akdeniz kıyılarında ERA5-WRF seti daha başarılı iken, Ege ve Karadeniz kıyılarında TRMM setinin öne çıktığı görülmektedir. İç bölgelerde ise ERA5-WRF ve MSWEP veri setlerinin daha başarılı olduğu analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler — Uzaktan algılama, Yeniden analiz, Aşırı yağış, Türkiye

# 1. GİRİŞ

Çeşitli alanlarda olumsuz etkilerinin gözlemleneceği iklim değişikliği ve iklim değişikliğinin bir sonucu olarak yağış karakteristiklerinin değişmesi birçok çalışmanın konusu olmaya devam etmektedir (Croitoru vd. 2013; Myhre vd. 2019; Sun vd. 2021; Huo vd. 2021). Yağış şiddeti ve sıklığının değişmesiyle birlikte özellikle kısa süreli yağışlarda ekstrem olayların gitgide şiddetleneceği güncel araştırmalar ile desteklenmiştir (Trenberth, 2011; Berg vd., 2013; Lee vd., 2018; Afshar vd., 2020; Tabari, 2020).

Neden olabileceği çevresel ve ekonomik sonuçlar açısından ekstrem yağışların en önemli iklim unsurlarından olduğu kabul edilmektedir (Senocak vd., 2023). Alınan önlemlerin yetersiz olması durumunda aşırı yağışlar taşkınlara, maddi hasarlara ve can kayıplarına yol açabilmektedir. Bu riskin, taşkın tahminlerinin ve acil durum sistemlerinin eksik olduğu ülkelerde özellikle ciddi sonuçlar doğurma riski vardır (Pombo vd., 2015).

Mevcut ve gelecek iklim koşullarını simüle etmek ve bölgesel ölçekte gelecekte aşırı yağışlardaki potansiyel değişiklikleri öngörmek, Küresel İklim Modellerinin (GCM) karşılaştığı zorluklardan biri olmaya devam etmektedir (Xu vd., 2021). Küresel iklim modelleri bölgesel ve yerel ölçekte alt sistem yapısını çözmekte yetersiz kaldığından, iklim modellerinin tarihsel periyodunun referans verileri ile eğitilmesine ve yanlılık düzeltme tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır (Sunyer vd., 2015). Her ne kadar istasyonlarda gözlemlenen veriler birçok çalışmada referans veri olarak kabul edilse de gözlem istasyonlarının hem noktasal veri olması hem de istasyon dağılımının homojen olmaması, grid temelli referans verilerinin kullanılmasına gereksinim oluşturmaktadır. Model verilerini dünya genelindeki gözlemlerle birleştiren yeniden analiz verileri ve uzaktan algılama temelli veri setleri, gözlem verilerine alternatif olarak tutarlı ve eksiksiz bir veri seti olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye genelinde, 0.1° x 0.1° çözünürlüklü Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezine ait olan ERA5-Land yeniden analiz veri setinin, 0.25° x 0.25° çözünürlüklü uzaktan algılama temelli TRMM (Tropikal Yağış Ölçüm Misyonu) uydusuna ait veri setinin, 4 kilometre çözünürlüklü dinamik olarak ölçeği küçültülmüş ERA5-WRF veri setinin ve 0.1° x 0.1° çözünürlüklü MSWEP (Çok Kaynaklı Ağırlıklı Birleştirilmiş Yağış) veri setinin ekstrem yağışları yakalamaktaki başarıları analiz edilmiştir. ERA5-Land, TRMM ve MSWEP veri setlerinin, 1998-2017 yılları arasında yeterli veriye sahip 192 istasyona denk gelen gridlere ait 24 saatlik yağışların 20 yıllık dönüş seviyeleri hesaplanmıştır. ERA5-WRF veri setinin 20 yıllık dönüş seviyeleri, kullanılabilir veri mevcudiyeti nedeniyle 1995-2014 yılları için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ve sonuçların Türkiye üzerindeki dağılımları ile aşırı yağışları yakalamaktaki başarıları karşılaştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

## 2.1. Veri Setleri

#### 2.1.1. ERA5-Land

Bu çalışmada, bir yeniden analiz veri seti olan ve 1950 yılından günümüzden 2-3 ay öncesine kadar olan süre boyunca kullanıma açık veriler sunan Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri (ECMWF)'nin ERA5-Land verileri kullanılmıştır. ERA5-Land, ERA5 iklim yeniden analizi verisinden farklı olarak 0.25° x 0.25° yerine 0.10° x 0.10° mekânsal çözünürlüğe (yaklaşık 9 km) sahiptir ve bu fark daha hassas ölçekte çalışmayı mümkün kılar. ERA5-Land ve ERA5 veri setlerinin zamansal çözünürlükleri ise saatliktir. 0.10° x 0.10° çözünürlüğe sahip ERA5-Land veri seti, bu çalışmada, iklim modellerinin tahmininde yanlılığın düzeltilmesinde yaygın olarak kullanıldığından dolayı

(Muñoz-Sabater vd., 2021; Gumus vd., 2023) aşırı yağışlardaki başarılarının karşılaştırıldığı veri setlerinden biri olarak kullanılmıştır.

# 2.1.2. Tropikal Yağış Ölçüm Misyonu (TRMM)

TRMM (Tropikal yağış ölçüm misyonu), yağış miktarının niceliksel ölçümü amacıyla gerçekleştirilen ilk uydu ürünüdür. Bu misyon, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ve Japonya Havacılık ve Uzay Araştırma Ajansı (NASDA) arasındaki bir iş birliğidir. Misyonun amacı, dünyanın tropikal ve subtropikal bölgelerindeki yağışı gözlemlemektir (Kummerow vd., 1998). Bu çalışmada, 1998 – 2019 yılları için verisi olan TRMM 3B42 ürününün 7. Versiyonu kullanılmıştır. Ürün, 0.25° x 0.25° mekânsal çözünürlüğe ve 3 saatlik zamansal çözünürlüğe sahiptir.

# 2.1.3. ERA5-WRF

Bu veri seti, 0.25° x 0.25° çözünürlüğü olan ERA5 yeniden analiz veri setinin WRF (Hava Araştırma ve Tahmin Modeli) modeli kullanılarak dinamik olarak ölçeğinin küçültülmesi ile elde edilmiştir. Elde edilen veri seti 4 kilometre mekânsal çözünürlüğe sahipken zamansal çözünürlüğü saatliktir.

# 2.1.4. Çok Kaynaklı Ağırlıklı Birleştirilmiş Yağış (MSWEP)

MSWEP, 0.10° x 0.10° mekânsal ve 3 saatlik zamansal çözünürlüğe sahip, 1979 yılından günümüzden yaklaşık 3 saat öncesine kadar küresel kullanımı mümkün kılan bir yağış veri setidir. Veri seti, WorldClim, GHNC-D, GSOD ve GPCC istasyon verilerinin, CMOPRH, GridSat, GSMaP, TRMM, TMPA uydu verilerinin, ERA-Interim ve JRA-55 (Japonya 55 yıllık yeniden analiz seti) yeniden analiz verilerinin optimal olarak birleştirilmesinden oluşmuştur (Beck vd., 2019).

# 2.1.5. İstasyon Gözlem

Türkiye'de yağış gözlemi yapan meteoroloji istasyonlarının günlük çözünürlükteki verileri veri setlerinin performanslarının belirlenmesinde referans verisi olarak kullanılmıştır. Mevcut istasyonlardan 1998-2017 yılları arası için yeterli veri kalitesini sağlayan 192 istasyon seçilmiştir. Seçilen istasyonların çalışma bölgesi üzerindeki dağılımları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Çalışmada kullanılan istasyonların Türkiye üzerinde dağılımı

# 2.2. Kullanılan Yöntem

Bu çalışmada uygulanacak yöntemler Şekil 2 şemasında gösterilmiştir. Bölümün devamında yöntemler detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 2: Akış Şeması

## 2.2.1. Ortalama Karekök Sapması (RMSE)

RMSE (Root mean square error), gözlem verileri ve kullanılan veri setinin arasındaki farkları analiz etmek için sıkça kullanılan bir ölçektir.

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} (P_i - O_i)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$
(1)

Bu denklemde P ekstrem yağışı yakalamaktaki başarısını analiz etmek için kullanılan veri setini temsil ederken O, istasyon verisini temsil etmektedir.

### 2.2.2. Pearson Korelasyon Katsayısı (r)

Lineer korelasyonun bir ölçüsü olan Pearson korelasyon katsayısı, iki veri setinin aynı mı yoksa zıt yönde mi hareket ettiğini gösterir ve -1 ile 1 arasında değer alır. Bu değerlerden "+1" aynı yönde mükemmel korelasyonu temsil ederken "-1" zıt yönlü mükemmel korelasyonu temsil eder. "0" değeri ise iki veri seti arasında bir korelasyon olmadığını belirtir.

$$r = \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} (O_i - \bar{O}) x \sum_{i=1}^{n} (P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} (O_i - \bar{O})^2 x \sum_{i=1}^{n} (P_i - \bar{P})^2}}\right)$$
(2)

Bu denklemde P ekstrem yağışı yakalamaktaki başarısını analiz etmek için kullanılan veri setini,  $\overline{P}$  bu veri setinin ekstrem yağış verisinin ortalamasını, O istasyon verisini,  $\overline{O}$  istasyon verilerinin ortalamasını temsil etmektedir.

# 2.2.3. Genelleştirilmiş Ekstrem Değer Dağılımı (GEV)

Genelleştirilmiş ekstrem değer dağılımı, ekstrem değerlerin analiz edilmesi ve modellenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. GEV, Gumbel, Frechet ve Weibull olmak üzere üç ekstrem değer dağılımını tek bir dağılımda birleştiren üç parametreli bir ölçektir (Alliot vd., 2011). Bu çalışmada, GEV parametrelerini tahmin etmek için kullanılan yöntemlerden biri olan L-moment yöntemi kullanılmıştır.

$$F(x) = exp\left\{-\left(1+\xi\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-1/\xi}\right\}, \ 1+\xi(x-\mu)/\sigma > 0$$
(3)

Bu denklemde, L-moment yöntemi ile hesaplanan  $\mu$ ,  $\sigma$  ve  $\xi$  parametreleri sırasıyla konum, ölçek ve şekil parametreleridir. Genelleştirilmiş ekstrem değer dağılımı (GEV) ile, ekstrem yağışların tekerrür periyotları tahmin edilir.

## 2.2.4. Yanlılık Yüzdesi (PBIAS)

PBIAS (Percent bias), gözlem değerlerinin tahmin değerlerinden olan farklarının toplamının gözlem değerlerinin ortalamasına bölünmesi ile hesaplar.

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left( Y_i^{obs} - Y_i^{predicted} \right)}{\sum_{i=1}^{n} \left( Y_i^{obs} \right)}$$
(4)

Bu denklemde,  $Y^{obs}$  istasyon gözlem verilerini temsil ederken  $Y^{predicted}$  veri setinden elde edilen değerleri temsil etmektedir.

#### 3. BULGULAR

Çalışma kapsamında 1995-2017 yılları arasında yeterli verisi bulunan 192 MGM istasyonunun her yıl içindeki maksimum 24 saatlik yağışları hesaplanmıştır. Elde edilen maksimum yağış serilerinden genelleştirilmiş ekstrem değer dağılımı (GEV) kullanılarak 20 yıllık dönüş periyotlu yağış değerleri hesaplanmıştır. Karşılaştırılacak veri setlerinin istasyonlara denk gelen gridlerinin verileri çekildikten sonra hepsi günlük zamansal çözünürlüğe getirilmiştir. Ardından istasyonlara benzer şekilde yıllık maksimum yağışlar hesaplanmış ve ardından GEV kullanılarak dönüş periyotları hesaplanmıştır. Sonuç olarak Türkiye üzerindeki istasyonların ve bu istasyonlara denk gelen gridlerin 192 istasyon ile mekânsal karşılaştırma farklı performans metrikleri Tablo 1 üzerinde verilmiştir.

PBIAS (%)	RMSE	Korelasyon (r)
-33.8	39.7	0.75
-15.2	27.5	0.78
13.9	27.4	0.78
-16.9	33.6	0.64
	<b>PBIAS (%)</b> -33.8 -15.2 13.9 -16.9	PBIAS (%)      RMSE        -33.8      39.7        -15.2      27.5        13.9      27.4        -16.9      33.6

Tablo 1: Veri setlerinin Türkiye üzerinde mekânsal olarak performansları

Elde edilen sonuçlar TRMM haricindeki modellerin ekstrem yağışları istasyon değerlerinden daha düşük tahmin ettiklerini göstermektedir. En yüksek yüzdelik yanlılık %-33.8 ile ERA5-Land modelinde görülmüştür. ERA5-WRF ve MSWEP görece daha iyi sonuçlar verirken, (%-15.2 ve %-16.9) en iyi yüzdelik yanlılık %13.9 ile TRMM setinde elde edilmiştir. Aynı zamanda TRMM aşırı yağışları pozitif yanlılıkla veren tek veri setidir. RMSE değerleri incelendiğinde ERA5-WRF ve TRMM 192 istasyon üzerinde daha düşük hatalara sahipken, (27.5 ve 27.4) ERA5-Land ve MSWEP veri setlerindeki hatalar daha yüksek bulunmuştur (39.7 ve 33.6). Son olarak veri setlerinin istasyonlar ile mekânsal korelasyon katsayıları incelendiğinde ERA5-Land, ERA5-WRF ve TRMM

veri setlerinin görece yakın sonuç verdikleri görülmektedir (sırasıyla 0.75, 0.78 ve 0.78). MSWEP ise 0.64 mekânsal korelasyon ile diğer setlerin altında kalmıştır.

Türkiye üzerindeki 192 istasyonun 20 yıllık dönüş periyotlu yağışların değerleri ve farklı veri setlerinin bu istasyonlara karşılık gelen gridlerindeki tekerrür değerleri Şekil 3'te verilmiştir. Bu seriler performans metrikleri ile değerlendirildiğinde her veri setinin farklı avantaj ve dezavantajları ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3: İstasyonlar ve veri setleri için 20 yıllık tekerrür değerlerinin karşılaştırılması

ERA5-Land veri seti yüzdelik yanlılık ve RMSE metrikleri üzerinden değerlendirildiğinde başarısız görünmektedir. Fakat mekânsal korelasyona bakıldığı zaman Türkiye üzerinde tekerrür değerlerinin mekânsal değişimini yakalayabildiği ortaya çıkmaktadır. Bu da hataların büyük bir kısmının tanımlanabilir olduğu ve yanlılık düzeltme işlemi ile sonuçların düzeltilebileceğine işaret eder. Diğer bir taraftan MSWEP veri seti ERA5-Land ile karşılaştırıldığında daha düşük yüzdelik yanlılık ve RMSE değerlerine sahiptir. Bu açıdan veri seti daha başarılı gibi görünse de diğer tüm setlerden daha düşük bir mekânsal korelasyona sahiptir. Düşük mekânsal korelasyon MSWEP veri setinin Türkiye'nin hangi bölgelerinde daha düşük hangi bölgelerinde daha yüksek tekerrür değerlerinin

elde edildiğini yakalayamadığına işaret etmektedir. Bu da ERA5-Land'in aksine hataların daha fazla rastgelelik içerdiğini ve yanlılık düzeltmenin daha az faydalı olacağını göstermektedir.

ERA5-WRF ve TRMM veri setleri incelendiğinde ise görece daha başarılı oldukları görülmektedir. Mekânsal korelasyon ve RMSE değerleri çok yakın olan bu veri setleri arasındaki en temel fark ERA5-WRF negatif yanlılığa sahipken TRMM' in pozitif yanlılığa sahip olmasıdır. ERA5-WRF veri seti incelendiğinde WRF modelinin ekstrem yağışlarda bir iyileştirme yaptığı görülmektedir. Yüzdelik yanlılık, RMSE ve korelasyon metriklerinin hepsinde iyileştirme sağladığı görülen WRF modeli aynı zamanda son ürünün mekânsal ve zamansal çözünürlüğünün kullanıcıya bağlı olması avantajına sahiptir. Fakat bu denli yüksek bir çözünürlükte WRF modeli çalıştırmanın çok yüksek bir hesaplama gücü ve depolama alanı gerektirdiği de göz önüne alınmalıdır. TRMM ise en düşük yüzdelik yanlılığa ve RMSE değerine sahip olması açısından en başarılı model olarak görülmektedir. Mekânsal çözünürlüğü en düşük veri seti (0.25°) olmasına rağmen ekstrem yağışları yakalamaktaki başarısının yüksek olması kayda değerdir. TRMM ile ilgili en büyük problem ise 1998 yılı öncesinde verisinin bulunmamasıdır. En güncel küresel iklim modeli jenerasyonu olan CMIP6, tarihsel dönemini 2014 yılında bitirmekte ve sonrasında tahmin periyoduna geçmektedir. Bu da modellerin tarihsel dönemde eğitilerek yanlılık düzletmesi yapılması için 17 yıl gibi yetersiz bir süre bırakmaktadır.

Son olarak veri seti performanslarının Türkiye üzerinde dağılımları Şekil 4 ve Şekil 5 üzerinde görülmektedir. Şekil 4 her istasyon üzerindeki en başarılı modeli gösterirken, Şekil 5 en başarısız modeli göstermektedir.



Şekil 4: Türkiye üzerindeki 192 istasyonda en başarılı bulunan veri setleri



Şekil 5: Türkiye üzerindeki 192 istasyonda en başarısız bulunan veri setleri

Şekil 4 incelendiğinde Akdeniz kıyılarında ERA5-WRF seti daha başarılı iken, Ege ve Karadeniz kıyılarında TRMM setinin öne çıktığı görülmektedir. İç bölgelerde ise ERA5-WRF ve MSWEP veri setlerinin daha başarılı olduğu söylenebilir. Şekil 5 incelendiğinde ise ERA5-Land veri setinin özellikle kıyılarda başarısız olduğu ortaya çıkmaktadır. İç bölgelerde ise TRMM setinin görece başarısız olduğu analiz edilmiştir.

## 4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında ERA5-Land, ERA5-WRF, TRMM ve MSWEP veri setlerinin Türkiye üzerindeki ekstrem yağışları yakalamaktaki başarıları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Türkiye genelinde ERA5-WRF ve TRMM veri setlerinin daha başarılı olduğunu gösterirken bölgesel bazda farklılıklar olabileceği değerlendirilmiştir. Bu modellerin hem geçmiş analiz çalışmalarında hem de iklim modellerinden alınacak gelecek tahminlerinin yanlılığının düzeltilmesinde kullanılması uygundur. Fakat bu iki veri setinden ERA5-WRF için çok yüksek hesaplama gücü gereksinimi ve TRMM için ise kısa veri periyodu ve iç bölgelerdeki düşük performans problemleri ayrıca değerlendirilmelidir. Daha geniş bir veri periyoduna sahip ERA5-Land ve MSWEP setleri her ne kadar Türkiye genelinde daha başarısız görünseler de bölgesel olarak başarılı oldukları noktalarda kullanılmaları mümkündür. Örneğin MSWEP Ege Bölgesi üzerinde istasyonlara yakın sonuçlar verebilmiştir. Çalışmada kullanılan istasyonların dağılımları incelendiğinde Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Karadeniz'de istasyon yoğunluğunun düştüğü görülmektedir. Bu bölgelerde daha detaylı sonuçlar elde edilebilmesi için yeni kurulan istasyonlarda yeterli veri toplanması gerekmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Croitoru, A. E., Chiotoroiu, B. C., Todorova, V. I., & Torică, V. (2013). Changes in precipitation extremes on the Black Sea Western Coast. Global and Planetary Change, 102, 10-19.
- [2] Myhre, G., Alterskjær, K., Stjern, C. W., Hodnebrog, Ø., Marelle, L., Samset, B. H., ...
  & Stohl, A. (2019). Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming. Scientific reports, 9(1), 1-10.
- [3] Sun, Q., Zhang, X., Zwiers, F., Westra, S., & Alexander, L. V. (2021). A global, continental, and regional analysis of changes in extreme precipitation. Journal of Climate, 34(1), 243-258.
- [4] Huo, R., Li, L., Chen, H., Xu, C. Y., Chen, J., & Guo, S. (2021). Extreme precipitation changes in Europe from the last millennium to the end of the twenty-first century. Journal of Climate, 34(2), 567-588.
- [5] **Trenberth, K. E. (2011).** Changes in precipitation with climate change. Climate research, 47(1-2), 123-138.
- [6] Berg, P., Moseley, C., & Haerter, J. O. (2013). Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures. Nature Geoscience, 6(3), 181-185.

- [7] Lee, O., & Kim, S. (2018). Estimation of future probable maximum precipitation in Korea using multiple regional climate models. Water, 10(5), 637.
- [8] Afshar, M. H., Şorman, A. Ü., Tosunoğlu, F., Bulut, B., Yilmaz, M. T., & Danandeh Mehr, A. (2020). Climate change impact assessment on mild and extreme drought events using copulas over Ankara, Turkey. Theoretical and Applied Climatology, 141(3), 1045-1055.
- [9] Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. Scientific reports, 10(1), 1-10.
- [10] Senocak AUG, Yilmaz MT, Kalkan S, Yucel I, Amjad M. (2023) An explainable two-stage machine learning approach for precipitation forecast. Journal of Hydrology. 21:130375.
- [11] Pombo, S., de Oliveira, R.P. (2015). Evaluation of extreme precipitation estimates from TRMM in Angola. J. Hydrol. 523, 663–679.
- [12] Xu, H., Chen, H., & Wang, H. (2022). Future changes in precipitation extremes across China based on CMIP6 models. *International Journal of Climatology*, 42(1), 635–651.
- [13] Sunyer, M. A., Hundecha, Y., Lawrence, D., Madsen, H., Willems, P., Martinkova, M.,
  ... & Yücel, I. (2015). Inter-comparison of statistical downscaling methods for projection of extreme precipitation in Europe. Hydrology and Earth System Sciences, 19(4), 1827-1847.
- [14] Kummerow, C., Barnes, W., Kozu, T., Shiue, J., Simpson, J. (1998). The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package. J. Atmos. Ocean. Technol. 15, 809–817
- [15] Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., Hersbach, H., Martens, B., Miralles, D. G., Piles, M., Rodríguez-Fernández, N. J., Zsoter, E., Buontempo, C., and Thépaut, J.-N.: ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications, Earth Syst. Sci. Data, 13, 4349–4383, https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021, 2021.
- [16] Gumus, B., Oruc, S., Yucel, I., Yilmaz, M. T. (2023). Impacts of climate change on extreme climate indices in Türkiye driven by high-resolution downscaled CMIP6 climate models. Sustainability. 15(9):7202.
- [17] Beck, H. E., Wood, E. F., Pan, M., Fisher, C. K., Miralles, D. G., van Dijk, A. I. J. M., McVicar, T. R., & Adler, R. F. (2019). MSWEP V2 Global 3-Hourly 0.1° Precipitation: Methodology and Quantitative Assessment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100(3), 473-500.
- Ailliot, Pierre & Thompson, Craig & Thomson, Peter. (2011). Mixed methods for fitting the GEV distribution. Water Resources Research. 47. 10.1029/2010WR009417

# CAMS AOD Tahminlerinin MODIS AOD Gözlemleri ile Değerlendirilmesi

# Betül Nisa ATMACA

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü Ankara batmaca@mgm.gov.tr

## M. Göksu CANYILMAZ

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Sektörel Uygulamalar Şube Müdürlüğü Ankara mcanyilmaz@mgm.gov.tr

# M. Ali PEKİN

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü Erzurum mapekin@mgm.gov.tr

# İsamettin OMAK

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 6. Bölge Müdürlüğü Hatay iomak@mgm.gov.tr

### Nezahat ÖZ

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü Ankara noz@mgm.gov.tr

# **Cihan DÜNDAR**

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü Ankara cdundar@mgm.gov.tr

#### ÖZET

Ekosistem için önem arz eden atmosferik aerosollerin (partikül maddeler), canlıların yaşamı, çevre ve iklim üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle atmosferdeki aerosollerin izlenmesi ve tahmini için uydu gözlemleri ve model çalışmaları yapılmaktadır. NASA Aqua ve Terra uyduları üzerinde bulunan MODIS (Orta Çözünürlüklü Spektroradiometre Görüntüleme Cihazı) cihazı atmosferdeki aerosollerin izlenmesi için sıklıkla tercih edilmektedir. Model çalışmalarında ise AOD (Aerosol Optik Derinlik) ve diğer birçok parametrenin tahminini yapabilen küresel bir model olan ECMWF-CAMS kullanılmaktadır. Bu çalışmada Türkiye, Batı Asya ve Orta Doğu bölgeleri için 2020 ve 2021 yılları CAMS AOD tahminlerinin MODIS verileri ile inceleme ve doğrulaması yapılarak model performansı değerlendirilmiştir. Yürütülen çalışmada korelasyon katsayısı, kesirli kaba hata, ortalama hata ve ortalama karekök hatası gibi istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Sonuç olarak, tahminlerin uydu gözlemleri ile uyumlu olduğu, modelin hata miktarının çok düşük seviyelerde hesaplandığı ve yüksek tutarlılıkta tahmin ürettiği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: AOD, Uydu, MODIS, CAMS.

## 1. GİRİŞ

Aerosol, atmosferde asılı duran katı ve sıvı parçacıklara verilen isimdir. Aerosoller, çöl tozu, deniz spreyi, volkanik patlamalar, toprak erozyonu, orman ve otlak yangınları gibi doğal süreçlerden kaynaklanabildiği gibi antropojenik kaynaklı da olabilmektedir. Fosil yakıtların ve anızın yakılması ile yangınlardan, endüstriyel faaliyetlerin yapıldığı fabrikalardan ve ulaşım kaynaklarından çıkan duman ve kirlilik insan kaynaklı faaliyetlerin bir sonucu olarak ortaya çıkan aerosollere örnektir [1,2]. Ormansızlaşma, aşırı otlatma, kuraklık ve aşırı sulama gibi arazi yüzeyinin değişmesine neden olan faaliyetler toz aerosollerinin atmosfere girme hızını arttırabilmektedir [3].

Atmosferik aerosoller çeşitli açılardan fiziksel çevre, küresel iklim ve canlılar üzerinde doğrudan veya dolaylı olmak üzere ciddi etkilere sahiptir ve bu nedenle de ekosistemimiz için büyük önem taşımaktadır.

Boyutlarına, türlerine ve konumlarına bağlı olarak aerosoller, hem kısa dalga güneş radyasyonunu hem de uzun dalga karasal radyasyonu saçar ve soğurur [1]. Kısa ve uzun dalga boylu

radyasyonların bu saçılma ve soğurma mekanizması aerosollerin Dünyanın enerji bütçesi ve küresel iklim üzerindeki "Doğrudan" etkisi olarak bilinmektedir. Bu partiküller, saçılan radyasyonun emilen radyasyona oranına bağlı olarak atmosferin soğumasına veya ısınmasına neden olabilmektedirler. Örneğin saf sülfat ve nitrat neredeyse karşılaştığı tüm radyasyonu yansıtarak atmosferi soğuturken, siyah karbon neredeyse karşılaştığı tüm radyasyonu soğurarak atmosferi ısıtmaktadır [3]. Ayrıca büyük yanardağ patlamaları sırasında stratosfer tabakasına kadar ulaşan sülfat parçacıkları negatif yönde bir ışınımsal zorlamaya neden olarak dünya atmosferini soğutmaktadır [2].

Atmosferdeki aerosol parçacıkları, Dünyanın iklimine ve radyasyon bütçesine dolaylı bir etki olarak bulut mikrofiziği, yağış miktarı, albedo ve bulutun ışınımsal özelliklerini etkileyebilmektedir. Bu aerosoller bulut yoğuşma ve buz çekirdeği işlevi görerek bulut oluşumuna katkı sağlamaktadır. Böylece bulut albedo etkisiyle negatif bir ışınımsal zorlamaya neden olarak dünya atmosferinde soğuma meydana gelmesini sağlamaktadır. Aerosollerin yoğuşma çekirdeği olarak hizmet etmesi sebebiyle yağış oluşumu üzerinde olumlu bir etkisi görülebilirken bunun aksi de mümkündür. Fazla miktardaki aerosolün varlığı yoğuşma çekirdeği konsantrasyonunu arttırmakta ve sabit sıvı su içeriği için daha fazla ancak daha küçük bulut damlacıklarına yol açmaktadır. Bu daha küçük damlalar yağış olarak düştükleri boyutlara ulaşabilmek için daha uzun büyüme süreleri geçirmektedirler. Bulut ömrü etkisi olarak ifade edilen bu etki nedeniyle atmosferde bulut örtüsü artmış ve soğutma etkisi sağlanmış olurken aynı zamanda yağışlar da bastırılmış olmaktadır. Fakat aerosollerin bulut ömrü ve yağışlar üzerindeki etkisi hala tam anlamıyla kesinleşmiş değildir [2, 3, 4].

Aerosoller; parçacık boyutu, kimyasal bileşimi ve atmosferdeki konsantrasyonuna bağlı olarak hava kirliliğine neden olmakta ve insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. 10µm'den büyük parçacıklar cilt ve gözde tahriş yaratabilirken, özellikle de 10µm'den küçük ince partiküller, solunum yollarında birikip akciğer sistemine derinlemesine nüfuz ederek astım, koah, menenjit, zatürre gibi solunum yolu ve kalp-damar hastalıklarına, nörodejeneratif bozuklara ve hatta erken ölümlere yol açmaktadır [2]. Dünya Sağlık Örgütünün verilerine göre bu erken ölümlerin sayısı yılda 7 milyondur [5,6].



Şekil 1. Atmosferik aerosolün kaynakları ve etkileri [2]

Mineral toz partikülleri özellikle de ince parçacıklar kuvvetli rüzgarlar sayesinde uzun mesafelere taşınabilir. Görüş mesafesinin düşmesine neden olan toz partikülleri, yeryüzüne çökerek kara ve deniz biyojeokimyasını değiştirmektedir [2].

Atmosferdeki aerosol partikülleri özellikle kentsel alanlarda sis oluşumunu yoğunlaştırarak görüş kalitesini düşürmekte, hava ve kara taşımacılığında olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Ayrıca bu kirleticilerin toz şeklinde yer yüzeyine inmesi tarımda fidelerin üzerini örterek mahsul verimini düşürmekte, fotosentetik aktiviteyi azaltmakta, toprak erozyonunu arttırmaktadır. Tüm bunlara ek olarak gelen güneş radyasyonu miktarını etkileyerek güneş panallerinin verimliliğini azaltmaktadır [7, 8, 9].

Kurak ve yarı kurak alanlar toz partikülleri için önemli kaynak alanlarıdır. Boyutlarına bağlı olarak atmosferin üst tabakalarına yükselerek binlerce kilometre yol kat edebilen toz parçacıkları (çöl tozları) günlük yaşamı önemli derecede etkilemektedir. Dünyadaki başlıca toz kaynak alanları Sahra, Gobi, Taklamakan çölleri ve Arabistan yarımadası, Güney Amerika ve Avustralya'da bulunan çöller üzerinde bulunmaktadır (Şekil 2). Özellikle Türkiye göz önüne alındığında ülkemizin

"Tozlu Kuşak" olarak da ifade edilen Afrika (Sahra Çölü), Orta Doğu ve Asya kaynaklı çöl tozlarının etkisi altında olduğu görülmektedir [5, 10].



Şekil 2. Dünyadaki Önemli Toz Kaynak Alanları [11]

Aerosollerin dünya üzerindeki etkisi tam olarak anlaşılmamakta, iklim sistemindeki rolü ve çevreye olan etkilerinin boyutu büyük bir belirsizlik teşkil etmektedir. Aerosollerin ve toz taşınımının izlenmesi ve tahmininin yapılması, bunların çevre üzerine olan etkilerinin anlaşılması açısından önem arz etmektedir. Bu amaç doğrultusunda çeşitli tahmin modelleri geliştirilmekte, yer ve uydu gözlemleri kullanılarak toz taşınımı değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada atmosferin dikey bir sütunundaki toplam aerosol miktarının bir ölçüsü olan ve 0 ile 1 arasında değişim gösteren Aerosol Optik Derinliğinin (AOD) model ve uydudan elde edilen değerleri kullanılmıştır [12]. ECMWF-CAMS modeline ait AOD verisinin AQUA ve TERRA uydularında bulunan MODIS görüntüleme cihazına ait AOD verileri ile analiz ve değerlendirmesi yapılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

NASA'nın 1999 ve 2002 yıllarında uzaya fırlattığı Terra ve Aqua uydularında bulunan 5 farklı algılayıcıdan biri olan MODIS (Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi) görüntüleme cihazı aerosollerin kütle konsantrasyonunu, optik özellikleri, yatay/düşey dağılımı ve taşınımını haritalamak, aerosol klimatolojisini incelemek, iklim modellerine girdi verisi sağlamak ve ışınımsal zorlamanın takibini yapmak amacıyla kullanılmaktadır. 0.4 µm ve 14.4 µm arasındaki dalga boyunda çalışan ve 36 farklı kanalda görüntü sağlayan bu cihaz yer küreye göre sabit yörüngesi olan bir sistem olup 1-2 geçiş ile tüm dünyayı görüntülemektedir [1, 10].

MODIS-Terra ve MODIS-Aqau'nın gerçekleştirdiği işlemler benzer olmakla birlikte bu iki uydu arasındaki farklar uydu geçiş sürelerindeki ve yörüngelerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi Terra uydusunun Dünya etrafındaki yörüngesi sabahları ekvator boyunca kuzeyden güneye geçerken (yerel saat 10:30'da), Aqua uydusu öğleden sonra ekvator üzerinden güneyden kuzeye (yerel saat 13:30'da) geçecek şekilde ayarlanmıştır. Kutupsal yörüngede dönen ve güneşle senkronize olan Terra ve Aqua uydularının biri alçalan biri de yükselen yörüngede olmalarına rağmen günde yaklaşık 14 kez yörüngeleri kesişmektedir [13, 14].



Şekil 3. Terra ve Aqua uydularının yörüngesi [11]

Atmosfer bileşimin daha iyi anlaşılması amacıyla ECMWF (Orta Vadeli Hava Tahminleri Avrupa Merkezi) tarafından farklı amaçlara hizmet eden küresel ölçekteki modeller çalıştırılmaktadır. Aerosol, stratosferik ozon, UV radyasyon, kirleticiler ve atmosferde bulunan çeşitli sera gazları gibi

birçok parametrenin tahmini için kullanılan CAMS (Kopernik Atmosfer İzleme Servisi) ise bu küresel ölçekteki modellerden biridir [9, 10]. Deniz tuzu, çöl tozu, organik madde, siyah karbon ve sülfat aerosolleri için ayrı ayrı olduğu kadar toplam AOD için de değerler sağlayan CAMS modeli 3'er saatlik aralıklarla 72 saatlik olarak tahmin üretmekte ve toz taşınımı tahminlerini operasyonel olarak sürdürmektedir [5, 12].

Bu çalışmada MODIS-Terra ve MODIS-Aqua uyduları ile CAMS modelinin 2020 ve 2021 yıllarına ait Türkiye, Batı Asya ve Orta Doğu tahminleri kullanılarak model ve uydu verisi arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu amaçla formül ve açıklamaları aşağıda verilmiş olan korelasyon katsayısı, kesirli kaba hata, ortalama hata ve ortalama karekök hata gibi istatistiksel yöntemler kullanılmıştır.

$$CORR = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}$$
(1)

Burada x; gözlem, y; tahmin, CORR; korelasyonu ifade etmektedir. -1 ile +1 arasında değer alan korelasyon katsayısı model ile gözlemin ne ölçüde eşleştiğini, bu bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin yönü ve büyüklüğünü göstermektedir. Katsayıdaki pozitif değerler model ile gözlem verileri arasında artan doğrusal ilişkiyi yani tahmin tutarlılığının yüksek olduğunu ifade ederken, negatif değerler azalan doğrusal ilişkiyi yani ters orantıyı ifade etmektedir. Sıfıra yakın değerler ise değişkenler arasındaki ilişkinin zayıf olduğu anlamına gelmektedir [5].

Korelasyon katsayısının sınıflandırma tablosu aşağıda verilmiştir. Bu sınıflandırmaya göre 0.70 - 0.89 aralığındaki değerler "Yüksek ilişki"yi ifade ederken, 0.90 – 1.0 aralığındaki değerler "Çok yüksek ilişki" olduğunu göstermektedir.

Korelasyon Katsayısı	İlişki Düzeyi
0.00 - 0.25	Çok zayıf ilişki
0.26 - 0.49	Zayıf ilişki
0.50 - 0.69	Orta ilişki
0.70 - 0.89	Yüksek ilişki
0.90 - 1.0	Çok yüksek ilişki

Tablo 1: Korelasyon katsayısı sınıflandırma tablosu [15]

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - y_i)^2}$$
(2)

Burada x; gözlem, y; tahmin, n; veri sayısı, RMSE; ortalama karekök hatayı göstermektedir. 0 ile +∞ arasında değişim gösteren bu istatistiksel yöntemde, belirlenen bir periyot için tahmin ve gözlem verisi arasındaki farkların karelerinin toplamının karekökü hesaplanmaktadır. Ortalama karekök hata değerlerinin sıfıra yakınlığı gözlem ile tahmin verisinin yüksek oranda ilişkili olduğunu göstermektedir. Özellikle 0.1'den küçük değerler başarılı tahmine işaret ederken 0.5'ten büyük değerler tahminde tutarsızlıklara işaret edebilmektedir [5].

Hesaplamadaki kare alma işlemi büyük değerlerin daha baskın olmasına neden olduğundan uç, aykırı değerlerin fazla olduğu durumlarda ortalama karekök hatanın kullanılabilirliği sorgulanabilmektedir.

$$FGE = \frac{2}{n} \sum \left[ \frac{x_i - y_i}{x_i + y_i} \right]$$
(3)

Burada x; gözlem, y; tahmin, n; veri sayısı, FGE; kesirli kaba hatayı göstermektedir. 0 ile 2 arasında değer alan bu hata hesaplama yönteminde değerlerin sıfıra yakın olması gözlem ile tahmin verisi arasındaki ilişkinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

$$MBE = \frac{1}{n} \sum (x_i - y_i) \tag{4}$$

Burada x; gözlem, y; tahmin, n; veri sayısı, MBE; ortalama hatayı göstermektedir.  $-\infty$  ile  $+\infty$  arasında değişim gösteren ortalama hata, iki veri seti arasındaki ortalama sapmaları hesaplamaktadır ve veri seti ile aynı birimdedir. Burada sıfıra yakın değerler tahminlerin tutarlılığını ifade ederken, negatif değerler düşük tahmini, pozitif değerler yüksek tahmini ifade etmektedir [5].



Şekil 4. Çalışmada izlenen yöntemin şematik özeti

Çalışmada izlenen yöntemin şematik özeti şekil 4'te gösterilmektedir. Çalışmanın ilk adımında ECMWF sunucusundan 3'er saatlik CAMS AOD tahminleri ile Aqua ve Terra uyduları üzerinde bulunan MODIS sensöründen günlük olarak AOD gözlemleri indirilmiştir. Daha sonra 3 saatlik tahmin değerleri günlük verilere dönüştürülerek Türkiye başta olmak üzere Batı Asya ve Orta Doğu için alansal ortalamalar alınmıştır. Son olarak da çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılarak tahminlerin tutarlılığı hesaplanmıştır.

## 3. SONUÇ ve TARTIŞMA

Yapılan tahminlerin gözlemlerle karşılaştırılarak doğruluk oranlarının tespit edilmesi amaçlanmış ve bu doğrultuda Tablo 2 ve Tablo 3' de verilen istatistiksel sonuçlar ortaya çıkarılmıştır. MODIS Aqua ve Terra uydusunun verileri korelasyonlarına göre sınıflandırıldığında Türkiye'nin 24 aylık AOD verilerinin uydu verileriyle korelasyonu %54.1 oranında yüksek korelasyon (0,7-0,89), %8.3

oranında ise çok yüksek korelasyon (0,9-1,0) sınıfına girmektedir. Batı Asya için korelasyon değerlerinin Terra uydusunda (%58.3) Aqua uydusuna (%54.1) göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. AOD verilerinin Aqua uydu verileri ile korelasyon değerleri Orta Doğu için %29.2 ile yüksek korelasyon, %20.8 ile çok yüksek korelasyon sınıfına dahildir. Terra uydu verileri için ise yüksek korelasyon yüzdesi aynı kalırken, çok yüksek korelasyon yüzdesi %16.6 ya düşmektedir.

Sonuç olarak korelasyon katsayısı dışında FGE, MBE ve RMSE gibi diğer istatistiksel hesaplamalar da göz önüne alındığında modelin hata miktarının çok düşük seviyelerde olduğu ve yüksek tutarlılıkta veri ürettiği, tahminlerin uydu gözlemleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

		TÜRKİYE					BATI	ASYA			ORTA	DOĞU	
YIL	ΑΥ	CORR	FGE	MBE	RMSE	CORR	FGE	MBE	RMSE	CORR	FGE	MBE	RMSE
2020	Ocak	0.56	0.22	-0.01	0.04	0.73	0.06	0.00	0.02	0.53	0.12	0.01	0.03
2020	Şubat	0.73	0.20	0.00	0.04	0.77	0.08	0.01	0.02	0.54	0.13	0.01	0.04
2020	Mart	0.47	0.28	0.04	0.11	0.84	0.10	0.03	0.04	0.71	0.12	0.01	0.05
2020	Nisan	0.71	0.21	0.04	0.08	0.21	0.16	0.05	0.06	0.56	0.11	0.40	0.05
2020	Mayıs	0.64	0.17	0.02	0.06	0.56	0.13	0.04	0.05	0.39	0.10	0.04	0.05
2020	Haziran	0.88	0.10	0.01	0.03	0.42	0.18	0.06	0.07	0.63	0.24	0.10	0.10
2020	Temmuz	0.80	0.08	0.00	0.03	0.50	0.16	0.06	0.06	0.47	0.25	0.12	0.12
2020	Ağustos	0.77	0.18	0.01	0.04	0.81	0.41	0.11	0.13	0.78	0.45	0.18	0.19
2020	Eylül	0.60	0.11	0.01	0.04	0.24	0.16	0.05	0.05	0.85	0.15	0.05	0.05
2020	Ekim	0.73	0.14	0.02	0.04	0.83	0.12	0.03	0.03	0.93	0.13	0.03	0.03
2020	Kasım	0.52	0.24	0.04	0.07	0.83	0.09	0.02	0.02	0.85	0.17	0.04	0.04
2020	Aralık	0.45	0.20	0.01	0.05	0.54	0.05	0.00	0.01	0.27	0.14	0.03	0.03
2021	Ocak	0.61	0.21	0.02	0.05	0.58	0.08	-0.02	0.03	0.47	0.16	0.01	0.05
2021	Şubat	0.40	0.21	0.02	0.05	0.71	0.05	0.00	0.02	0.79	0.13	0.03	0.04
2021	Mart	0.89	0.17	0.02	0.05	0.86	0.12	-0.02	0.05	0.63	0.13	-0.01	0.08
2021	Nisan	0.83	0.31	0.11	0.17	0.60	0.12	0.04	0.05	0.35	0.13	0.04	0.06
2021	Mayıs	0.92	0.11	0.02	0.03	0.71	0.05	0.00	0.02	0.33	0.07	0.00	0.04
2021	Haziran	0.72	0.10	0.00	0.03	0.80	0.08	-0.03	0.05	0.94	0.09	-0.03	0.06
2021	Temmuz	0.40	0.12	-0.02	0.04	0.35	0.05	-0.01	0.02	0.71	0.07	0.01	0.04
2021	Ağustos	0.91	0.08	0.00	0.03	0.89	0.03	0.00	0.01	0.94	0.07	0.03	0.03
2021	Eylül	0.84	0.11	-0.01	0.03	0.59	0.07	0.01	0.04	0.92	0.04	0.00	0.02
2021	Ekim	0.82	0.21	0.02	0.05	0.80	0.05	0.01	0.02	0.92	0.06	0.01	0.03
2021	Kasım	0.78	0.20	0.02	0.05	0.88	0.04	0.00	0.01	0.83	0.12	0.03	0.03
2021	Aralık	0.76	0.25	0.02	0.05	0.47	0.15	-0.03	0.04	0.41	0.12	0.02	0.03

Tablo 2: ECMWF-CAMS & MODIS-Aqua istatistikleri.

Türkiye göz önüne alındığında en yüksek korelasyon değeri Aqua ve Terra için 2021 Mayıs ayında, en düşük korelasyon değeri ise Aqua için 2021 Şubat ve Temmuz aylarında, Terra için 2020 Mart ayında görülmüştür.

		TÜRKİYE				BATI ASYA			ORTA DOĞU				
YIL	AY	CORR	FGE	MBE	RMSE	CORR	FGE	MBE	RMSE	CORR	FGE	MBE	RMSE
2020	Ocak	0.64	0.26	-0.03	0.04	0.74	0.07	-0.01	0.02	0.56	0.12	0.01	0.03
2020	Şubat	0.68	0.23	-0.02	0.05	0.73	0.08	0.01	0.02	0.42	0.15	0.02	0.05
2020	Mart	0.42	0.26	0.03	0.11	0.76	0.11	0.03	0.04	0.58	0.15	0.03	0.06
2020	Nisan	0.75	0.19	0.01	0.07	0.16	0.19	0.06	0.06	0.53	0.15	0.06	0.06
2020	Mayıs	0.59	0.20	0.02	0.06	0.52	0.18	0.06	0.06	0.36	0.17	0.07	0.07
2020	Haziran	0.79	0.12	0.02	0.04	0.10	0.24	0.08	0.09	0.56	0.32	0.13	0.13
2020	Temmuz	0.74	0.12	0.01	0.03	0.33	0.20	0.07	0.07	0.38	0.29	0.13	0.14
2020	Ağustos	0.85	0.09	0.00	0.02	0.86	0.25	0.08	0.08	0.81	0.35	0.15	0.16
2020	Eylül	0.82	0.11	-0.01	0.03	0.52	0.15	0.04	0.04	0.79	0.17	0.06	0.06
2020	Ekim	0.75	0.10	0.00	0.03	0.75	0.09	0.02	0.02	0.93	0.11	0.02	0.03
2020	Kasım	0.53	0.18	0.01	0.06	0.75	0.06	0.00	0.02	0.83	0.09	0.02	0.03
2020	Aralık	0.54	0.18	-0.01	0.04	0.47	0.09	-0.02	0.02	0.37	0.07	0.01	0.02
2021	Ocak	0.70	0.16	0.00	0.04	0.68	0.10	-0.02	0.03	0.50	0.14	0.01	0.04
2021	Şubat	0.39	0.19	0.00	0.05	0.77	0.06	0.00	0.02	0.69	0.15	0.03	0.04
2021	Mart	0.82	0.17	0.01	0.08	0.86	0.10	0.00	0.04	0.70	0.14	0.01	0.06
2021	Nisan	0.82	0.32	0.12	0.18	0.60	0.18	0.06	0.07	0.39	0.18	0.06	0.08
2021	Mayıs	0.93	0.17	0.03	0.04	0.87	0.10	0.03	0.03	0.66	0.10	0.04	0.04
2021	Haziran	0.74	0.12	0.02	0.03	0.81	0.09	0.00	0.04	0.93	0.11	0.01	0.05
2021	Temmuz	0.43	0.11	0.00	0.03	0.51	0.05	0.01	0.03	0.76	0.09	0.04	0.05
2021	Ağustos	0.91	0.08	0.01	0.03	0.81	0.06	0.02	0.02	0.93	0.12	0.05	0.05
2021	Eylül	0.83	0.11	-0.02	0.03	0.84	0.05	0.01	0.02	0.88	0.06	0.01	0.03
2021	Ekim	0.83	0.17	0.00	0.04	0.82	0.05	0.01	0.01	0.93	0.05	0.00	0.02
2021	Kasım	0.81	0.19	0.00	0.04	0.80	0.07	-0.01	0.02	0.82	0.05	0.01	0.02
2021	Aralık	0.64	0.28	0.00	0.05	0.54	0.15	-0.03	0.04	0.66	0.07	0.00	0.02

Tablo 3: ECMWF-CAMS & MODIS-Terra istatistikleri.

Tablo 4 ve Tablo 5'te yıllık olarak bakıldığında Türkiye için Aqua verileri Terra uydusuna göre daha yüksek korelasyona sahip iken, Batı Asya ve Orta Doğu için Terra uydu verisi korelasyonları Aqua uydu verisine göre daha yüksektir. Ayrıca Türkiye'nin yıllık pozitif MBE değerlerine bakıldığında model tahminlerinin gözlemlerden bir miktar yüksek olduğu saptanmıştır.

YIL	BÖLGE	CORR	FGE	MBE	RMSE
2020	Türkiye (36N-42N; 26E-45E)	0.75	0.18	0.02	0.06
	Batı Asya (10N-50N; 20E-80E)	0.83	0.14	0.04	0.05
	Orta Doğu (15N-39N; 35E-65E)	0.86	0.17	0.05	0.08
2021	Türkiye (36N-42N; 26E-45E)	0.83	0.17	0.02	0.06
	Batı Asya (10N-50N; 20E-80E)	0.89	0.07	-0.01	0.03
	Orta Doğu (15N-39N; 35E-65E)	0.91	0.10	0.01	0.04

Tablo 4: ECMWF-CAMS & MODIS-Aqua istatistikleri.

Tablo 5: ECMWF-CAMS, MODIS-Terra istatistikleri.

YIL	BÖLGE	CORR	FGE	MBE	RMSE
2020	Türkiye (36N-42N; 26E-45E)	0.74	0.17	0.00	0.05
	Batı Asya (10N-50N; 20E-80E)	0.88	0.14	0.04	0.05
	Orta Doğu (15N-39N; 35E-65E)	0.89	0.18	0.06	0.08
2021	Türkiye (36N-42N; 26E-45E)	0.81	0.17	0.01	0.07
	Batı Asya (10N-50N; 20E-80E)	0.88	0.09	0.01	0.03
	Orta Doğu (15N-39N; 35E-65E)	0.91	0.11	0.02	0.05

ECMWF-CAMS, MODIS Aqua ve Terra uyduları AOD verileri istatistik analiz sonuçları yıllara ve aylara göre alansal olarak korelasyon katsayısı, kesirli kaba hata, ortalama hata ve ortalama karekök hata olmak üzere 4 farklı şekilde 5 farklı bölge için MGM web sitesinde yer almaktadır. Türkiye, Batı Asya, Orta Doğu, Orta Asya ve Kuzey Doğu Afrika bölgeleri için alansal haritaların yanı sıra interaktif zaman serisi grafikleri ve tablo olarak da MGM'nin SDSWA web sayfasında yayınlanmaktadır [16]. Aşağıdaki şekilde web sitesinde yayınlanan örnek grafikler gösterilmiştir.





Şekil 5. SDSWA MGM web sayfaları [16].

Şekil 6'da 2020 ve 2021 yılları için ECMWF-CAMS modelinin MODIS-Aqua uydusu ile korelasyonu alansal olarak verilmiştir. Diğer bir ifadeyle Tablo 2 ve Tablo 3'ün alansal harita üzerinde gösterimlerini ifade etmektedirler. Diğer istatistiksel analiz sonuçları ise MGM'nin SDSWA web sayfasından ulaşılabilmektedir [16].



Şekil 6: 2020 ve 2021 yılı ECMWF-CAMS, MODIS-Aqua istatistikleri [16].

# KAYNAKLAR

- https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MODAL2\_M\_AER\_OD, Nasa Earth Observations Web Sayfası, Son Kontrol: 19.07.2023.
- [2] Bimenyimana, S., Continuous Real-Time Measurement of the Chemical Composition of Submicron Aerosol Particles in Kigali City Using Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM), Doctoral dissertation, University of Rwanda, 2018.
- [3] https://www.iasparliament.com/article/aerosols, IAS Parliament Aerosols Web Sayfası, Son Kontrol: 19.07.2023.
- [4] Myhre, G., Myhre, C. E.L., Samset, B. H., Storelvmo, T., Aerosols and their Relation to Global Climate and Climate Sensitivity. Nature Education Knowledge, (4(5):7), 2013.
- [5] https://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/toz\_modeli\_bilgi\_notu.pdf, MGM Toz Taşınımı Tahmini Bilgi Notu, Son Kontrol: 19.07.2023.
- [6] https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\_2, WHO Air Pollution Web Sayfası, Son Kontrol: 19.07.2023.
- [7] Tiwari, S., Payra, S., Bisht, D., Visibility Degradation during Foggy Period due to Anthropogenic Urban Aerosol at Delhi, India, Atmospheric Pollution Research, (2(1), 116-120), 2011.
- [8] https://public.wmo.int/en/our-mandate/focus-areas/environment/sand-and-dust-storms,WMO Sand and Dust Storms Web Sayfası, Son Kontrol: 19.07.2023.
- [9] https://www.ecmwf.int/en/about/what-we-do/environmental-services/copernicusatmosphere-monitoring-service, ECMWF Copernicus Atmosphere Monitoring Service Web Sayfası, Son Kontrol: 19.07.2023.
- [10] Pekin, M., Oğuz, K., Omak, İ., Dündar, C., Öz, N., CAMS AOD Ürünlerinin MODIS AOD Verileri ile Verifikasyonu, IV. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu, Antalya, 2019.
- [11] Muhs, D.R., Prospero, J. M., Baddock, M. C., & Gill, T. E., *Identifying sources of aeolian mineral dust: Present and past*, Mineral dust: A key player in the earth system, (51-74), 2014.
- [12] https://atmosphere.copernicus.eu/global-forecast-plots, Copernicus Atmosphere Monitoring Service Web Sayfası, Son Kontrol: 19.07.2023.
- [13] Levy, R., Mattoo, S., Sawyer, V., Shi, Y., Colarco, P, Lyapustin, A., Wang, Y., Remer,
  L., Exploring systematic offsets between aerosol products from the two MODIS sensors.
  Atmospheric Measurement Techniques Discussions, (11(7), 4073-4092), 2018.
- [14] https://modis.gsfc.nasa.gov/about/, MODIS Web Sayfası, Son Kontrol: 19.07.2023.
- [15] https://slidetodoc.com/korelasyon-ve-regresyon-analz-1-korelasyon-ve-regresyon/, Korelasyon ve Regresyon Web Sayfası, Son Kontrol: 19.07.2023.
- [16] http://sdswa.mgm.gov.tr/verifchart.aspx?a=05&m=cams&y=2021&g=mod08combine&d= wa, MGM SDSWA Web sayfası, Son Kontrol: 19.07.2023.

# Uydu Tabanlı AgERA5 Hava Sıcaklığı Ürününün Makine Öğrenmesi Yöntemi ile Performansının Arttırılması

Çağrı Karaman HidroSAF Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Teknokent Ankara cagri.karaman@metu.edu.tr

**Zuhal Akyürek** İnşaat Mühendisliği Bölümü, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara zakyurek@metu.edu.tr

## ÖZET

Hava sıcaklığı, Dünya'nın hava koşullarını yansıtan ve birçok uygulamada kullanılan önemli bir değişkendir. Standart meteorolojik gözlemler genellikle küçük bir etki alanında yüksek doğrulukla sıcaklık ölçümünü sağlar. Ancak, noktasal ölçümlerin büyük alanlara enterpolasyon ile yayılmasında önemli belirsizlikler ortaya çıkar. Uydu ve yeniden analiz ürünleri, geniş ve ulaşımı zor bölgelerde mevcut olmaları nedeniyle noktasal ölçümlere alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bu nedenle hava sıcaklığının mekânsal dağılımı bu ürünlerden elde edilebilir.

Bu çalışmada, Avrupa Orta Mesafeli Hava Tahminleri Merkezi'nin (ECMWF) yeniden analiz ürünü olan AgERA5'in, Türkiye'nin karmaşık topoğrafyası üzerinde günlük ve aylık hava sıcaklıklarını tahmin etme performansı değerlendirilmiştir. AgERA5 ürünü 2015-2019 dönemi boyunca Türkiye'nin karmaşık topoğrafyası ve Köppen-Geiger sınıflandırmasına göre farklı iklim sınıflarına ve arazi örtüsüne sahip 1120 yer tabanlı ölçüm istasyonu ile değerlendirilmektedir. Ayrıca, ürünlerin mekânsal çözünürlüğünü artırmak için bir dizi geleneksel ve makine öğrenimi algoritmaları uygulanmıştır. Yer gözlemleri ile mekânsal çözünürlüğü arttırılmış sıcaklık ürünü arasındaki ilişki, ortalama mutlak hata (MAE), korelasyon katsayısı (CC), kök-kare ortam hata (RMSE) ve bias gibi yaygın olarak kullanılan istatistiksel indisler kullanılarak incelenmiştir.

AgERA5 ürünü, Türkiye genelinde hava sıcaklığını hem mevsimsel hem de yıllık olarak tahmin etme konusunda başarılıdır. Mekânsal çözünürlüğü arttırmak için uygulanan yöntemler arasında en iyi genel performans bikübik interpolasyon ile elde edilir. Bununla birlikte, mevsime bağlı olarak, Random Forest makine öğrenmesi algoritmasının performansı, bu çalışmada kullanılan diğer tüm yöntemlere göre çok daha üstündür.

Anahtar Kelimeler: Hava sıcaklığı, Yeniden analiz, Makine öğrenmesi

## 1. GİRİŞ

Hava sıcaklığı (Ta), çevresel koşulları gösteren ve birçok uygulama alanında kullanılan önemli bir değişkendir. Bu başlıca alanlar arasında ekoloji [1], hava tahmini [2], uzaktan algılama [3], hidrolojik modelleme [4] ve iklim değişikliği [5, 6] bulunmaktadır.

Hava sıcaklığı, yer yüzeyine 2 m yükseklikteki istasyonlarda ölçülerek ve küçük bir etki alanı için yüksek doğrulukla tahminleri sunmaktadır. Ancak, nokta ölçümlerin büyük alanlara ekstrapolasyon veya interpolasyon yapılmasında yüksek oranda belirsizlikler ortaya çıkmaktadır. Bu sorun, veri yetersizliğinin olduğu bölgelerde özellikle dikkate değer hale gelerek hidrolojik modellemelerdeki başlıca belirsizlik kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir [7].

Uzaktan algılama verileri, standart gözlemlerin mevcut olmadığı bölgeler için alternatif olarak kullanılabilmektedir. Uzaktan algılama ürünleri, NASA'nın Earth Observing System (EOS) ve diğer uydu platformları (Copernicus, Avrupa Uzay Ajansı (ESA), EUMETSAT) ile giderek daha fazla mevcut hale gelmiştir. Böylece, uzaktan algılama verileri ile hidrolojik modellerin entegre edilmesi için yeni olanaklar açılmıştır [8].

Bu çalışmada, 5 farklı yeniden analiz ürünü olan ERA5, ERA5-Land, AgERA5, Merra-2, JRA-55 ERA5, ERA5-Land, AgERA5, MERRA2 ve JR5-55'in, Türkiye'nin karmaşık topoğrafyası üzerinde günlük ve aylık hava sıcaklıklarını tahmin etme performansı değerlendirilmiştir. Ayrıca, ürünlerin mekânsal çözünürlüğünü artırmak için bir dizi geleneksel ve makine öğrenimi algoritmaları uygulanmıştır. Yer gözlemleri ile mekânsal çözünürlüğü arttırılmış sıcaklık ürünü arasındaki ilişki, ortalama mutlak hata (MAE), korelasyon katsayısı (CC), kök-kare ortalama hata

(RMSE) ve yanlılık (bias) gibi yaygın olarak kullanılan istatistiksel indisler kullanılarak incelenmiştir.

## 2. METODOLOJÍ VE VERÍ SETÍ

#### 2.3. Çalışma Alanı

Bu çalışmada, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen gözlem istasyonlarından elde edilen gözlemler kullanılmıştır. Tarihsel veriler, Ocak 2010'dan Aralık 2019'a kadar 1120 meteorolojik istasyonda alınan günlük ortalama hava sıcaklığı ölçümlerini içermektedir. Topografik yükseklik için SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) [9] yükseklik verileri ve arazi kullanımı için de MODIS arazi kullanım [10]verilerinden faydalanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1: Çalışmada kullanılan sayısal yükseklik modeli (a) ve arazi kullanım haritası (b).

Ayrıca, istasyonlar, Alman iklim bilimci Wladimir Köppen tarafından geliştirilen Köppen-Geiger iklim sınıflandırma sistemine göre sınıflandırılmıştır. Bu sistem, aylık hava sıcaklığı ve yağışın yerel bitki örtüsünü ve mevsimselliğini dikkate alan bir iklim sınıflandırma sistemidir [11].

### 2.4. Yeniden Analiz Ürünleri

Bu çalışmada 2 m (yüzey yakını) hava sıcaklığını sağlayan yeniden analiz ürünleri, yani ERA5, ERA5-Land, AgERA5, MERRA2 ve JR5-55 kullanılmıştır. Tablo 1'de kullanılan ürünlerin özellikleri verilmiştir.

Ürün	Grid Boyutu (Enlem x Boylam)	Zamansal Çözünürlük	Zaman Aralığı	Tipi	Referans
ERA5	$0.25^{\circ} \text{ x} \\ 0.25^{\circ}$	Saatlik	2015-2020	Yeniden Analiz Gözlem	(Hersbach et al., 2019)
ERA5 Land	$0.1^{0} \ge 0.1^{0}$	Saatlik	2015-2020	Yeniden Analiz Gözlem	(Hersbach et al., 2019)
Ag ERA5	$0.1^{0} \ge 0.1^{0}$	Günlük	2015-2020	Yeniden Analiz Gözlem	(Hersbach et al., 2019)
MERRA2	0.5 <sup>0</sup> x 0.625 <sup>0</sup>	Saatlik	2015-2020	Yeniden Analiz	(Gelaro et al., 2017; Rienecker et al., 2011)
JRA-55	1.5 <sup>°</sup> x 1.5 <sup>°</sup>	6 Saatlik	2015-2020	Yeniden Analiz	(Kobayashi et al., 2015)

Tablo 1 : Yeniden analiz ürünlerinin özellikleri

#### 2.5. Karşılaştırma ve Kullanılan Metrikler

Yeniden analiz ürünleri aritmetik olarak günlük ve aylık zaman serilerine çevrilmiştir. Ardından, performans analizi günlük ve aylık zaman ölçeğinde ayrı ayrı yapılmıştır.

Performans analizi için aşağıda sunulan standart istatistik metrikleri kullanılmıştır.

Ortalama Karekök Sapması (RMSE) = 
$$1 - \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (T_{o,i} - T_{p,i})^2}$$
 (1)

Korelasyon (R) = 
$$CC = \frac{\sum_{i=1}^{N} (T_{o,i} - \bar{T}_o) (T_{p,i} - \bar{T}_p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} (T_{o,i} - \bar{T}_o)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (T_{p,i} - \bar{T}_p)^2}}$$
 (2)

Ortalama Mutlak Hata (MAE) =  $MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (|T_{o,i} - T_{p,i}|)$  (3)

$$\text{Yanlılık (Bias)} == \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left( T_{o,i} - T_{p,i} \right) \tag{4}$$

Burada, N, Gözlem sayısını;  $T_o$  değerdeki gözlemlenen değeri;  $\hat{T}_p$  değerdeki tahmin edilen çıktıyı;  $\overline{T_o}$ , ortalama gözlemlenen değeri;  $\overline{T_p}$ , tahmin edilen ortalama değeri temsil etmektedir.

#### 2.6. Ölçek Küçültme

Bu çalışmada, yeniden analiz ürünlerinden elde edilen hava sıcaklığı verilerinin mekânsal çözünürlüğünü arttırmak için geleneksel interpolasyon yötemleri Bilineer, bikübik [12] uzaklık ağırlıklı ortalama [13], en büyük alan fraksiyonu [14], en yakın komşu (NN) [15], doğrusal koruyucu haritalama [16] yöntemleri ile makine öğrenmesi temelli rastlantısal orman (Random Forest (RF)) algoritmaları [17] kullanılmıştır.

Makine öğrenimi yöntemi için ölçeklendirme modeli geliştirmede prediktör seçimi kritik bir öneme sahiptir. Bu nedenle prediktörler ve tahminler arasındaki ilişkinin sabit olması gerekmektedir [18]. Tablo 3, kullanılan tahmincilerin mekânsal ve zamansal çözünürlüğü hakkında bilgi sunmaktadır. Ayrıca, her istasyonun kıyı şeridine mesafesini hesaplanmış ve yardımcı veri olarak kullanılmıştır.

Kısaltma	Değişken	Kaynak	Açıklama		
LST_Day	Värar Gradiler		MOD11A1 ürünü kullanılarak 2015-2020		
LST Night	i uzey sicakligi	MODIS	dönemi boyunca elde edilen		
LST DN	Gece-Gündüz Yüzey Sıcaklık Farkı		günlük ortalama Yüzey Sıcaklığı		
NDVI	Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi	MODIS	16 günlük bileşik MOD13A2 ürününden elde edilen Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi		
Lon	Boylam	Mataorolojik vori	Co črofi konum		
Lat	Enlem	Weteorolojik veri	Cogram Konum		
El	Yükseklik		30 m çözünürlüklü Dijital Yükseklik		
SI	Eğim	SKIW	(SRTM-DEM)'den elde edilmistir		
As	Bakı	-			
Dis	Denize Uzaklık	Meteorolojik veri	GSHH kıyı şeridi kullanılmıştır		

Tablo 2 : Kullan	ılan prediktörler
------------------	-------------------

## **3. BULGULAR**

Yer gözlemleri ile yeniden analiz ürünlerinin performansı, çeşitli istatistiksel metrikler kullanılarak değerlendirilmiştir. İlk olarak, 2015'ten 2019'a kadar aylık ortalama sıcaklık dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Tablo 3, farklı ürünlerden gelen verileri inceleyerek tüm mevsimler için gözlemlenen aylık ortalama sıcaklık değerlerinin karşılaştırma sonuçlarını özetlemektedir. Sonuçlar, yeniden analiz tabanlı ürünlerin Türkiye genelinde tüm mevsimlerde ortalama aylık sıcaklığı başarılı bir şekilde tahmin ettiğini göstermektedir [19].

Sezon	Metrik	AgERA5	ERA5	ERA5 Land	MERRA-2	JRA-55
	MAE	1.38	1.42	1.47	1.81	1.78
Bütün Zaman	CC	0.98	0.98	0.98	0.97	0.96
Aralığı	RMSE	1.87	1.92	1.95	2.40	2.40
	Bias	0.90	0.30	0.89	0.94	0.31
	MAE	1.47	1.50	1.76	2.22	1.87
Via	CC	0.93	0.91	0.92	0.88	0.85
КIŞ	RMSE	2.01	2.07	2.29	2.88	2.55
	Bias	1.05	0.44	1.34	1.65	0.27
	MAE	1.46	1.35	1.47	1.82	1.69
Ť11-11	CC	0.95	0.93	0.95	0.92	0.90
likbanar	RMSE	1.97	1.86	1.96	2.38	2.26
	pahar RMSE Bias MAE	1.14	0.30	1.07	1.25	0.41
	MAE	1.36	1.46	1.38	1.63	1.83
Voz	CC	0.92	0.88	0.91	0.85	0.80
1 dZ	RMSE	1.83	1.95	1.81	2.17	2.45
	Bias	0.73	0.13	0.65	0.36	0.23
	MAE	1.23	1.35	1.28	1.60	1.73
Sanhahan	CC	0.97	0.96	0.96	0.94	0.93
Sonoanai	RMSE	1.67	1.81	1.71	2.15	2.34
	Bias	0.68	0.31	0.55	0.57	0.31
	MAE	1.26	1.30	1.32	1.60	1.64
Villile	CC	0.91	0.87	0.90	0.84	0.77
I IIIIK	RMSE	1.72	1.76	1.75	2.16	2.24
	Bias	0.90	0.30	0.89	0.95	0.31

Tablo 3 : Tüm çalışma alanı için mevsimsel ve yıllık istatistikler (aylık veri kullanılarak)

Şekil 2, Köppen-Geiger iklim sınıfları için aylık zaman serileri için MAE (°C)'yi göstermektedir. Tüm sınıflar için, AgERA5, ERA5 ve ERA5-Land ürünleri benzer performans göstermektedir. Ancak, diğer ürünlere kıyasla AgERA5 daha iyi bir performans sergilemektedir. JRA-55 ve MERRA-2 ürünleri daha düşük performansı göstermektedir. En yüksek ortalama mutlak hata, tüm mevsimlerin yağışlı olduğu, kışlar soğuk ve yazlar sıcak olan (Dfb) sınıfı ve kışların sert, yazların kuru ve çok sıcak olduğu (Dsa) sınıfı için 2 °C'dir. Ayrıca, benzer karşılaştırma günlük zaman serileri için de yapılmıştır. Tablo 4, farklı ürünlerden gelen verileri inceleyerek günlük gözlemlenen ortalama sıcaklık değerlerini karşılaştırarak tüm mevsimler için geçerlilik sonuçlarını özetlemektedir.



Şekil 2: Farklı iklim koşullarındaki MAE değerleri (aylık veri kullanılarak)

Şekil 4, farklı iklim sınıflarında günlük zaman serileri için MAE (°C)'yi göstermektedir. Analizde arid steppe hot (Bsh), arid desert cold (Bwk), cold no dry season cold summer (Dfc), cold dry summer cold summer (Dsc) sınıfları istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde etmek için yeterli istasyon sayısına sahip olmadığı için dışlanmıştır. Günlük zaman serilerini göz önüne alarak, AgERA5 ürünü tüm iklim sınıflarında en iyi bir performans sergilemektedir. MERRA-2 ve JRA-55 ürünleri en düşük başarıyı göstermektedir.

Yeniden analiz sıcaklık ürünlerinin değerlendirmesinden, AgERA5'in diğer ürünler arasında üstün olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, bu ürünün mekânsal çözünürlüğünün arttırılması amacıyla farklı yöntemler uygulanmıştır. Sonuçlar, uzaklık bazlı geleneksel interpolasyon yöntemlerinin küçük farklarla benzer sonuçlar verdiğini göstermektedir. Ancak, RF algoritması kullanılan zaman serilerinden bağımsız olarak ürünün performansını yüksek ölçüde arttırdığı görülmüştür. Aylık sonuçlar Tablo 5'te, günlük sonuçlar ise Tablo 6'da verilmiştir.

Sezon	Metrik	AgEra5	Era5	Era5 Land	Merra2	JRA-55
	MAE	1.63	1.68	1.86	2.15	2.01
Bütün Zaman	CC	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96
Aralığı	RMSE	2.18	2.24	2.46	2.84	2.69
	Bias	0.86	0.32	0.89	0.94	0.38
	MAE	1.85	1.89	2.27	2.69	2.22
Vic	CC	0.93	0.91	0.90	0.87	0.87
<b>N</b> 1Ş	RMSE	2.48	2.55	2.95	3.48	3.00
	Bias	0.97	0.46	1.33	1.63	0.39
	MAE	1.69	1.62	1.84	2.13	1.92
İllık ok or	CC	0.94	0.93	0.93	0.91	0.90
likoanar	RMSE	2.25	2.17	2.44	2.78	2.54
	Bias	1.10	0.33	1.06	1.22	0.45
	MAE	1.49	1.59	1.64	1.80	1.94
V	CC	0.92	0.89	0.89	0.86	0.82
Y az	RMSE	1.98	2.10	2.19	2.37	2.58
	Bias	0.72	0.18	0.65	0.37	0.27
	MAE	1.50	1.61	1.71	1.98	1.97
Sonhahar	CC	0.96	0.95	0.95	0.93	0.92
Sonoanai	RMSE	1.99	2.13	2.25	2.61	2.63
	Bias	0.64	0.33	0.55	0.57	0.41
	MAE	1.21	1.27	1.31	1.57	1.62
Villile	CC	0.92	0.88	0.91	0.86	0.79
I IIIIK	RMSE	1.67	1.73	1.74	2.14	2.20
	Bias	0.86	0.32	0.89	0.95	0.38

Tablo 4 : Tüm çalışma alanı için mevsimsel ve yıllık istatistikler (günlük veri kullanılarak)



Şekil 3: Farklı iklim koşullarındaki MAE değerleri (aylık)

Tablo 5: Aylık zaman serileri için farklı enterpolasyon algoritmalarına yönelik performans ölçümleri

			En Valun			Uzaklık	En Büyük	Doğrusal	
Sezon	Metrik	AgERA5		Bilineer	Bikübik	Ağırlıklı	Alan	Koruyucu	<b>Random Forest</b>
			Konişu			Ortalama	Fraksiyonu	Haritalama	
Dütün	MAE	1.50	1.52	1.48	1.47	1.50	1.55	1.48	1.22
Zomon	CC	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99
Zalliali Anoleže	RMSE	2.04	2.05	2.00	1.99	2.02	2.11	2.00	1.65
Arangi	Bias	0.95	0.93	0.97	0.95	0.99	1.00	0.97	0.66
	MAE	1.82	1.82	1.81	1.80	1.82	1.89	1.81	1.51
Vic	CC	0.92	0.92	0.92	0.92	0.93	0.92	0.92	0.94
ĸiş	RMSE	2.45	2.45	2.43	2.43	2.43	2.57	2.43	2.03
	Bias	1.23	1.21	1.27	1.25	1.28	1.29	1.27	0.98
	MAE	1.53	1.53	1.52	1.49	1.53	1.58	1.52	1.14
<del>i</del> 11.1 1	CC	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.95	0.96
IIKoanar	RMSE	2.06	2.05	2.02	2.00	2.04	2.13	2.02	1.54
	Bias	1.16	1.14	1.18	1.15	1.20	1.20	1.18	0.54
Yaz	MAE	1.36	1.38	1.33	1.31	1.35	1.40	1.33	1.12
	CC	0.91	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.93
	RMSE	1.84	1.86	1.78	1.76	1.81	1.87	1.78	1.52
	Bias	0.74	0.72	0.76	0.72	0.78	0.78	0.76	0.53
	MAE	1.32	1.34	1.29	1.28	1.30	1.36	1.29	1.10
Sonhohor	CC	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98
Sondanai	RMSE	1.77	1.80	1.73	1.73	1.74	1.83	1.73	1.47
	Bias	0.67	0.66	0.70	0.68	0.72	0.73	0.70	0.60
	MAE	1.31	1.31	1.30	1.28	1.31	1.37	1.30	0.97
V.11.1.	CC	0.91	0.90	0.91	0.91	0.91	0.90	0.91	0.94
I IIIIK	RMSE	1.79	1.80	1.75	1.74	1.77	1.87	1.75	1.34
	Bias	0.95	0.93	0.97	0.95	0.99	1.00	0.97	0.66

## 4. SONUÇ

Türkiye'de hava sıcaklığını tahmin etmek için yeniden analiz ürünlerinin (AgERA5, ERA5, ERA5, ERA5-Land, MERRA-2 ve JRA-55) performans değerlendirmesi, bu ürünleri yer tabanlı ölçümlerle karşılaştırarak gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmalar, her ürünün başarısını incelemek için günlük ve aylık zaman serilerinde yapılmıştır. Ayrıca, her ürünün farklı iklim koşulları ve arazi örtüsü üzerindeki performansı, Köppen-Geiger sınıflandırmaları ve MODIS MCD12Q1 Sürüm 6 ürününden elde edilen arazi örtüsü sınıflandırmalarını kullanarak analiz edilmiştir. Analizler, AgERA5 ürününün Türkiye genelinde hem mevsimsel hem de yıllık olarak hava sıcaklığını tahmin etmede üstün olduğunu göstermektedir. AgERA5 ürününün mekânsal çözünürlüğü performansını artırmak için çeşitli interpolasyon algoritmaları kullanılarak iyileştirilmiştir. Geleneksel mesafe tabanlı yöntemler ve RF algoritması ile bir makine öğrenimi tabanlı yaklaşım, AgERA5 ürününü ölçeklemek için uygulanmıştır. RF, tüm interpolasyon yöntemleri arasında en iyi performansı sergilemektedir. RF yöntemi bulut mevcudiyeti nedeniyle veri kaybı dezavantajına sahiptir. Ancak, kullanılan yöntem açık hava kosullarında çok daha yüksek performans sağlamaktadır.

			E- V-l			Uzaklık	En Büyük	Doğrusal	
Sezon	Metrik	AgERA5	ЕП такіп	Bilineer	Bikübik	Ağırlıklı	Alan	Koruyucu	<b>Random Forest</b>
			Komşu			Ortalama	Fraksiyonu	Haritalama	
Dütün	MAE	1.62	1.65	1.58	1.57	16.00	1.63	1.58	1.59
Zomon	CC	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.97	0.98	0.97
Zalliali Anali ži	RMSE	2.17	2.20	2.12	2.11	2.14	2.19	2.12	2.00
Arangi	Bias	0_82	0.82	0.83	0.80	0.86	0.82	0.83	0.58
	MAE	2.06	2.10	2.04	2.03	2.06	2.10	2.04	1.85
Via	CC	0.92	0.91	0.92	0.92	0.92	0.91	0.92	0.93
KIŞ	RMSE	2.75	2.79	2.72	2.72	2.73	2.82	2.72	2.45
	Bias	1.20	1.22	1.23	1.21	1.26	1.22	1.23	0.92
	MAE	1.70	1.71	1.67	1.65	1.69	1.71	1.67	1.66
Ť11.1 1	CC	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93
likbanar	RMSE	2.26	2.27	2.21	22.00	2.24	2.29	2.21	2.18
	Bias	1.12	1.12	1.13	1.10	1.16	1.13	1.13	0.53
Yaz	MAE	1.51	1.54	1.46	1.45	1.49	1.50	1.46	1.54
	CC	0.90	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.89
	RMSE	2.01	2.05	1.95	1.93	1.98	2.00	1.95	2.01
	Bias	0.70	0.71	0.71	0.67	0.74	0.69	0.71	0.51
	MAE	1.54	1.58	1.51	1.51	1.52	1.56	1.51	1.53
Combohom	CC	0.96	0.96	96.00	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
Sondanar	RMSE	2.05	2.09	2.01	2.01	2.02	2.08	2.01	2.01
	Bias	0.65	0.66	0.67	0.65	0.70	0.67	0.67	0.56
	MAE	1.27	1.28	1.25	1.24	1.26	1.32	1.25	0.96
X7 11 1	CC	0.91	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.94
Y 1111K	RMSE	1.74	1.75	1.70	1.68	1.71	1.80	1.70	1.32
	Bias	0.84	0.82	0.87	0.84	0.88	0.89	0.87	0.61

Tablo 6: Günlük zaman serileri için farklı enterpolasyon algoritmalarına yönelik performans ölçümleri

#### KAYNAKLAR

- Graae, B. J., de Frenne, P., Kolb, A., Brunet, J., Chabrerie, O., Verheyen, K., ... Milbau, A. (2012). On the use of weather data in ecological studies along altitudinal and latitudinal gradients. *Oikos*, *121*(1). https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19694.x
- [2] Sun, Z., Wei, B., Su, W., Shen, W., Wang, C., You, D., ... Miller, D. R. (2008). Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)—Applications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(3–4),

395-406. https://doi.org/10.1007/s10795-005-5186-0

- [3] Liou, Y. A., & Kar, S. K. (2014). Evapotranspiration estimation with remote sensing and various surface energy balance algorithms-a review. *Energies*. https://doi.org/10.3390/en7052821
- [4] Colombi, A., Michele, C. De, Pepe, M., & Rampini, A. (2007). Estimation of Daily Mean Air Temperature. *EAReL eProceedings* 6, (3), 38–46.
- [5] Arismendi, I., Safeeq, M., Dunham, J. B., & Johnson, S. L. (2014). Can air temperature be used to project influences of climate change on stream temperature? *Environmental Research Letters*, 9(8). https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/8/084015
- [6] Terando, A., Youngsteadt, E., Meineke, E., & Prado, S. (2018). Accurate near surface air temperature measurements are necessary to gauge large-scale ecological responses to global climate change. *Ecology and Evolution*. https://doi.org/10.1002/ece3.3972
- [7] Elgamal, A., Reggiani, P., & Jonoski, A. (2017). Impact analysis of satellite rainfall products on flow simulations in the Magdalena River Basin, Colombia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 9, 85–103. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.09.001
- [8] Xu, X., Li, J., & Tolson, B. A. (2014). Progress in integrating remote sensing data and hydrologic modeling. *Progress in Physical Geography*, 38(4), 464–498. https://doi.org/10.1177/0309133314536583
- [9] Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., & Guevara, E. (2008). Hole-filled SRTM for the globe Version 4. *available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database (http://srtm. csi. cgiar. org)*.
- [10] Friedl, M. A., Sulla-Menashe, D., Tan, B., Schneider, A., Ramankutty, N., Sibley, A., & Huang, X. (2010). MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. *Remote Sensing of Environment*, 114(1). https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.016
- [11] Köppen, Wladimir; Geiger, R. (1936). *Handbuch der Klimatologie: Das geographische System der Klimate. Verlag von Gebrüder Borntraeger.*
- Keys, R. G. (1981). Cubic Convolution Interpolation for Digital Image Processing. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 29(6). https://doi.org/10.1109/TASSP.1981.1163711
- [13] Eum, H. Il, Gachon, P., Laprise, R., & Ouarda, T. (2012). Evaluation of regional climate model simulations versus gridded observed and regional reanalysis products using a combined weighting scheme. *Climate Dynamics*, 38(7–8), 1433–1457. https://doi.org/10.1007/s00382-011-1149-3
- [14] Jones, P. (1997). A user's guide for SCRIP: A spherical coordinate remapping and interpolation package. *Los Alamos National Laboratory*. Tarihinde adresinden erişildi http://oceans11.lanl.gov/trac/SCRIP/export/21/trunk/SCRIP/doc/SCRIPusers.pdf
- [15] Thévenaz, P., Blu, T., & Unser, M. (2009). Image interpolation and resampling. Içinde Handbook of Medical Image Processing and Analysis. https://doi.org/10.1016/B978-012373904-9.50037-4

- [16] Jones, P. W. (1999). First- and second-order conservative remapping schemes for grids in spherical coordinates. *Monthly Weather Review*. https://doi.org/10.1175/1520-0493(1999)127<2204:FASOCR>2.0.CO;2
- [17] Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324
- [18] Pang, B., Yue, J., Zhao, G., & Xu, Z. (2017). Statistical Downscaling of Temperature with the Random Forest Model. *Advances in Meteorology*, 2017(June). https://doi.org/10.1155/2017/7265178
- [19] Hasan Karaman, Ç., & Akyürek, Z. (2023). Evaluation of Near-surface Air Temperature Reanalysis Datasets and Downscaling with Machine Learning based Random Forest Method for Complex Terrain of Turkey. *Advances in Space Research*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.02.006

# GPM Uydu Kaynaklı Yağış Verisinin Türkiye'deki Örnek Şiddetli Yağış Vakalarındaki Tutarlılık Analizi

Ceyhun Özcan Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 14. Bölge Müdürlüğü Van cozcan@mgm.gov.tr

Onur Hakan Doğan Meteoroloji Genel Müdürlüğü İklim ve Zirai Meteoroloji Dairesi Başkanlığı Ankara ohdogan@mgm.gov.tr

## ÖZET

Gerçekleşen yağış miktarları öğrenmek istenildiğinde, en güvenilir ve doğru kaynak olarak genellikle meteorolojik gözlem istasyonlarındaki veriler dikkate alınır. Fakat meteorolojik gözlem istasyonlarının bulunmadığı bölgelerde, yağış miktarını tespit edebilmek için alternatif gözlem yöntemlerine ihtiyaç duyulur. Uzaktan algılama enstrümanları bu yöntemler arasında en kullanıma uygun olanlarındandır. Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Hindistan, Fransa ve Avrupa Birliği uzay ajanslarının ortaklaşa oluşturduğu Küresel Yağış Ölçüm (GPM) programı, bir uydu temelli küresel yağış ölçüm sistemidir. Programda su ve enerji döngülerinin daha iyi anlaşılması, şiddetli yağış hadiselerinin tahmin yeteneklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada; Türkiye'de gerçekleşen 14.07.2020 Çayeli (272.6 mm/m2), 31.12.2021 Korkuteli (337.2 mm/m2) ve 23.02.2022 Döşemealtı (252.3 mm/m2) şiddetli yağış vakalarında, GPM yağış verilerinin Meteoroloji Genel Müdürlüğü gözlem istasyonları ile olan tutarlılıklarının incelenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler — GPM; Uydu kaynaklı yağış gözlemi; Kuvvetli Yağış.

## 1. GİRİŞ

Su, Dünya'nın su ve enerji döngüleri için temel bir rol oynar ve yaşam için önemi yadsınamaz durumdadır. Temiz su kaynakları, çoğunlukla yağmur veya kar yağışı şeklindeki yağışlar tarafından beslenir ve doğadaki tüm döngüleri yönlendirir. Yağışın değişkenliği, kısa süreli fırtınalar, iklim ölçeğindeki değişimler, yerel ve küresel uzamsal ölçeklere kadar her düzeyde, sadece yaşamlarımızı değil, aynı zamanda bağımlı olduğumuz iklimin fiziksel yapısını da etkiler. Dünya İklim Araştırma

Programi (WCRP) suvla ilgili olarak zorluklari bulutlar, sirkülasvon, iklim hassasiveti ve hava ile iklim aşırılıkları olarak belirlemiştir (Kidd vd., 2020). Yağış ile ilgili ölçümler genel olarak meteorolojik gözlem istasyonları tarafından yapılmaktadır. Ancak özellikle konvektif yağışların yerel olarak kuvvetli olduğu bilindiğinden bir çok konvektif yağış ölçümlerinde gözlem istasyonları yetersiz kalmaktadır. İklim değişikliği de kaynaklı olarak son dönemlerde ekstrem yağış frekansında artış tespiti birçok çalışmada ispatlanmıştır. Ekstrem yağışlarda gözlem istasyonlarının zarar görmesinden dolayı veri iletişiminin kesilebilmesi de konvektif yağış ölçümlerinde bir diğer problemi ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla meteorolojik gözlem istasyonlarına bir alternatif ölcüm sistemi oluşturulması gerekliliği yadsınamaz bir gerçektir. Uzaktan algılama sistemleri bu konuda ilk akla gelen enstrümanlardır. Tüm bu gereksinimler ışığında GPM (Uluslararası Küresel Yağış Ölçüm) programı küresel yağış hakkındaki ölçümleri geliştirmek amacıyla ortaya çıkartılıp; GPM Cekirdek Gözlemevi (CO), NASA ve Japonya Uzay Araştırma Ajansı (JAXA) arasındaki bir isbirliği olarak 28 Subat 2014 tarihinde yörüngeye verlestirilen uvdu ile baslatılmıştır. Uluşlararaşı Küresel Yağış Ölçüm (GPM) Programının amacı, sık, küresel ve kesin yağış ölçümlerini karşılayabilen bir sonraki nesil uzay tabanlı ölçüm sistemi geliştirmektir. Bu sistem, ölçümlerin sistematik ve rasgele hatalarının iyi tanımlanmış ve nicel ölçütlere sahip bir şekilde sürekli olarak elde edilmesini sağlamak için tasarlanmıştır (Smith vd., 2007). Sistemde, aktif ve pasif uzaktan algılama enstrümanlarından alınan veriler, çeşitli algoritmalara sokularak yağış verisi elde edilmektedir. Eş zamanlı aktif ve pasif mikrodalga sensör verileri kullanılarak, birleşik radar verilerindeki belirsizlikler azaltılmaktadır ve yağış bulutundaki makro ve mikrofiziksel süreçler hakkında tamamlayıcı bilgiler sağlanmaktadır (Olson vd., 2022). Bu çalışmada, GPM yağış ürününün, Türkiye'de gerçekleşen üç farklı şiddetli konvektif yağış hadisesindeki performansı, MGM istasyon verileri ile kıyaslanarak test edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ayrıca, üç yıllık aylık yağış miktarları kıyaslanarak genel performansı incelenmiştir.

## 2. YÖNTEM

Çalışmada öncelikle 2020 yılından 2022 yılına kadar Türkiye'de meydana gelen yıllık maksimum yağış olayları; 13.07.2020 tarihinde Çayeli'nde (272.6 mm/m2), 30.12.2021 tarihinde Korkuteli'nde (337.2 mm/m2) ve 23.02.2022 tarihinde Döşemealtı (252.3 mm/m2) olarak tespit edilmiş ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından ölçülen gözlem sonuçları elde edilmiştir. GPM verileri ise Early, Late ve Final olarak 3 kategoride sunulmaktadır. Final verileri güncel tarihten itibaren yaklaşık 2 (iki) yıllık periyotta sunulduğundan bu çalışmada "Late" verileri kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle, şiddetli yağış hadisesinin gerçekleştiği şehir merkezlerine bağlı otomatik meteoroloji gözlem istasyonları tespit edilmiştir. GPM verisinde ise istasyon verilerini temsil etmesi

için, belirlenen istasyonların koordinatlarına en yakın ızgara (grid) noktalarındaki veriler seçilmiştir. GPM ve istasyon verileri arasındaki, korelasyon, ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hata gibi metriklere bakılarak kıyaslanmıştır.

## 3. VERİ ANALİZLERİ

MGM ölçüm istasyonları ile Türkiye'de tespit edilen son 3 yılın maksimum yağışları GPM verisi ile incelenmiştir. Korkuteli'nde 337.2 mm/m2 olarak ölçülen yağış hadisesi GPM verisi ile 53.4 mm aralığında tespit edilmiştir. Döşemealtı'nda 252.3 mm/m2 olarak ölçülen yağış verisi 31.9 mm aralığında tespit edilmiştir. Çayeli'nde 272.6 mm/m2 olarak tespit edilen yağış verisi GPM verisi ile 38.8 mm tespit edilmiştir. Bütün hadiselerde yağışların özellikle deniz üzerinde yüksek tespit edilmesi dikkat çekmektedir. 30 Aralık 2021 Korkuteli yağış hadisesinde GPM tarafından deniz üzerinde 239 mm maksimum günlük yağış tahmin edilmiştir. Diğer iki hadisede ise GPM tarafından deniz üzerinde dahi 100 mm üzerinde günlük yağış tespiti olmamıştır (Şekil 1).

GPM 13 Temmuz 2020 Çayeli



GPM 30 Aralık 2021 Korkuteli





GPM 23 Şubat 2022 Döşemealtı



Şekil 1. Hadise Tarihlerinde GPM Late Yağış Ölçümleri

Rize Çayeli'nde MGM tarafından 4 adet gözlem istasyonu işletilmektedir. Bu istasyonlar tarafından yapılan ölçümler incelendiğinde Çayeli Bakır istasyonunda 13-14 Temmuz 2020 tarihleri yağış toplamının 301 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2b). Saatlik yağışlara bakıldığında ise özellikle 13 Temmuz 2020 öğle saatlerinde başlayan yağış TSİ 15:00 saatinde Çayeli Bakır istasyonu tarafından 80 mm, Çayeli Teiaş istasyonu tarafından ise 40 mm üzerinde ölçülmüştür. İstasyon koordinatlarına denk gelen GPM grid noktası sonuçlarına bakıldığında ise yağış saatlerinin istasyon ile uyumlu olduğu, gece saatlerindeki ekstrem olmayan yağış değerlerini çok yakın olarak tespit ettiği fakat ekstrem yağış saatlerinde 10 mm altında yağış tahmin ettiği tespit edilmiştir (Şekil 2a).



Şekil 2. Çayeli İstasyonları MGM ve GPM a) Saatlik ve b) kümülatif saatlik olarak karşılaştırılması

## Antalya Korkuteli'nde MGM tarafından 8 adet gözlem

Antalya Korkuteli'nde MGM tarafından 8 adet gözlem istasyonu işletilmektedir. Çomaklı mevki ve Hacıyusuflar Mevki istasyonları ile 30-31 Aralık 2021 tarihleri içerisinde belirli süre veri iletişimi kesildiğinden bu istasyonlar analize dahil edilememiştir. 6 adet gözlem istasyonları tarafından yapılan ölçümler incelendiğinde Bük Orman Sahası istasyonunda 30-31 Aralık 2021 tarihleri yağış toplamının 384 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3b). Saatlik yağışlara bakıldığında ise özellikle 30 Aralık 2021 gece saatlerinden itibaren başlayan yağış TSİ 11:00 saatinde Bük Orman Sahası istasyonu tarafından 20 mm üzerinde ölçülmüştür.

İstasyon koordinatlarına denk gelen GPM grid noktası sonuçlarına bakıldığında ise yağış saatlerinin Bayat Köyü istasyonları hariç olmak üzere genel olarak istasyon ile uyumlu olduğu, 30 Aralık 2021 sabah saatlerindeki ekstrem yağış değerlerini ise yağış saatlerinde 10 mm altında yağışlar olarak tespit ettiği görülmüştür (Şekil 3a).

Antalya Döşemealtı'nda MGM tarafından 3 adet gözlem istasyonu işletilmektedir. Gözlem istasyonları tarafından yapılan ölçümler incelendiğinde Nebiler Orman Sahası istasyonunda 22-24 Şubat 2022 tarihleri yağış toplamının 285.9 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4b). Saatlik yağışlar incelendiğinde ise özellikle 22 Şubat 2022 gece saatlerinden itibaren başlayan yağış TSİ 04:00 saatinde Nebiler Orman Sahası istasyonu tarafından 40 mm, Karain Havacılık istasyonu tarafından ise 20 mm üzerinde ölçülmüştür. İstasyon koordinatlarına denk gelen GPM grid noktası sonuçlarına bakıldığında ise yağış saatlerinin Dağbeli istasyonun ile uyumlu olduğu, diğer iki istasyonda ise ekstrem yağış saatlerinde daha az miktarda yağış tespit ettiği görülmüştür. 23-24 Şubat 2022 tarihlerinde 10 mm altı yağışlarda saat ve miktar olarak uyumlu tespitler yaptığı görülmüştür (Şekil 4a).

İncelenen 3 hadisede en yüksek yağış ölçen MGM istasyonları aylık toplam yağışları GPM verileri ile kıyaslanmıştır. Çayeli Bakır istasyonu incelendiğinde aylık toplamlarda hemen hemen tüm aylarda MGM istasyonunun daha fazla yağış tespit ettiği görülmüştür. Özellikle bölgede ekstrem yağışların arttığı Temmuz-Ağustos aylarında GPM tarafından tespit edilen yağış miktarının da artış gösterdiği fakat değer olarak MGM ölçümlerine ulaşamadığı tespit edilmiştir. Kış aylarında ise GPM verilerinin MGM ölçümleri ile daha uyumlu olduğu analiz edilmiştir. Döşemealtı ve Korkuteli yağış hadiseleri için Nebiler Orman Sahası ve Bük Orman Sahası verileri analiz edilmiştir. Aylık toplam yağışlar incelendiğinde kış aylarında gerçekleşen ekstrem yağışların etkisiyle MGM ölçümleri ile GPM yağışları arasında bazı aylarda fark meydana gelse de genel olarak aylık yağış toplamlarında uyumlu ve benzer yağış toplamları görülmüştür (Şekil 5). Antalya Bölgesinde bulunan iki istasyon için kış aylarında ise GPM yağış toplamları da artış gösterse de MGM verilerine göre oldukça düşük yağış tespit etme eğilimindedir.



Şekil 3. Korkuteli İstasyonları MGM ve GPM a) Saatlik ve b) kümülatif saatlik olarak karşılaştırılması



Şekil 4. Korkuteli İstasyonları MGM ve GPM a) Saatlik ve b) kümülatif saatlik olarak karşılaştırılması













Şekil 5. MGM İstasyonları ve karşılık gelen GPM koordinatları Aylık Yağış Toplamları Kıyaslanması

## 4. SONUÇLAR

Yağış ölçümü yapılması için alternatif yöntemler arasında en önemli kaynaklardan biri uzaktan algılama enstrümanlarıdır. Bu çalışmada GPM uzaktan algılama kaynaklı yağış verisinin, Türkiye'deki üç şiddetli yağış hadisesindeki ve yine aynı istasyonlardaki üç yıllık aylık toplam yağış performansının test edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, 14.07.2020 Çayeli, 31.12.2021 Korkuteli ve 23.02.2022 Döşemealtı hadiseleri test edilmiştir. GPM verisinin performansına bakılması için bölgedeki Meteoroloji Genel Müdürlüğünün otomatik meteoroloji gözlem istasyonlarındaki yağış verileri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, GPM düşük yağış miktarlarında görece daha yakın sonuçlar ortaya koysa da, şiddetli yağış miktarlarında oldukça büyük sapmalar gösterdiği görülmüştür. 2020-2022 yılları arasında aylık toplam yağışlar incelendiğinde, Çayeli'nde çoğunlukla GPM verisi MGM istasyon verilerinin altında değerler göstermiştir. Korkuteli ve Döşemealtı bölgelerinde ise yıl boyunca genellikle uyumlu sonuçlar gözlenmiştir. Her üç istasyon için, bölgedeki konvektif yağışların arttığı dönemlerde, GPM yağış miktarların MGM istasyonlarında ölçülenlere göre oldukça düşük kalmaktadır. GPM verilerinin tespitlerinin test edilmesi amacıyla GPM Final verilerinin de yayınlandıktan sonra test edilmesi validasyon açısından yarar sağlayacaktır.

#### KAYNAKLAR

- Kidd, C., Takayabu, Y. N., Skofronick-Jackson, G. M., Huffman, G. J., Braun, S. A., Kubota, T., & Turk, F. J. (2020). The global precipitation measurement (GPM) mission. Satellite Precipitation Measurement: Volume 1, 3-23.
- [2] Smith, E. A., Asrar, G., Furuhama, Y., Ginati, A., Mugnai, A., Nakamura, K., ... & Zhang,
  W. (2007). International global precipitation measurement (GPM) program and mission: An overview. Measuring precipitation from space: EURAINSAT and the future, 611-653.
- [3] Olson, W. S., Masunaga, H., & Gpm, C. R. R. A. T. (2022). GPM combined radarradiometer precipitation algorithm theoretical basis document (Version 7). NASA: Washington, DC, USA.

## 22.06.2023 Tarihinde Manisa Muradiye OSB Geri Dönüşüm Tesislerinde Çıkan Yangının Radar ve MSG Uydu Verileri ile Analizi

Cüneyt Geçer Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü Ankara cgecer@mgm.gov.tr

Muharrem Kuzuca Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü Ankara mkuzuca@mgm.gov.tr

## ÖZET

22.06.2023 tarihinde Manisa Muradiye Organize Sanayi Bölgesinde yer alan geri dönüşüm tesislerinde yangın çıkmıştır. Manisa Valiliği Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü tarafından yapılan basın açıklamasında ve medyada çıkan çeşitli haberlerde, bu yangının çok ciddi hava kirliliğine neden olduğu belirtilmiştir. Hatta bu yangın nedeniyle İzmir'de hava kirliliğinin tehlikeli boyutlara ulaştığı, yangının kontrolünü zorlaştıran rüzgarın da etkisiyle yanan atıkların dumanı ve emisyonlarının İzmir'e taşındığı haberlerde yer almıştır.

Geniş alana yayılan orman yangınlarında olduğu gibi sanayi tesislerindeki büyük çaplı yangınlar da MSG uyduları ve meteoroloji radarları tarafından gözlemlenebilmektedir. Uzaktan algılama sistemlerinden elde edilen veriler yangınlarla mücadelede önemli katkı sağlar. Bu çalışmada, MSG uydusu IR3.9 kanalı, RGB ürünleri ve İzmir Doppler C-Band Polarimetrik meteoroloji radar verileri kullanılarak Muradiye OSB'deki geri dönüşüm tesislerinde çıkan yangın gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler – yangın; OSB; MSG; IR3.9; RGB; radar; C Band.

## 1. GİRİŞ

Orman yangınları ve sanayi tesislerindeki büyük çaplı yangınlar, çeşitli nedenlerden meydana gelen doğal afetler olarak kabul edilir. Bu yangınlar çoğu zaman tehlikeli boyutlara ulaşmakta ve kontrol altına alınmasında büyük zorluklar yaşanmaktadır. Yangınlar oluştukları bölgede maddi hasarlara neden olmakla beraber, bölgede yaşayan canlı hayatını ve ekolojik dengeyi olumsuz etkiler. Yangınlar ile mücadelede coğrafi ve meteorolojik şartlar etkili olduğu kadar teknolojik donanım, deneyimli iş gücünün yanı sıra erken tespit ve gözlemin de önemi büyüktür.

Bu çalışmada, 22.06.2023 tarihinde Manisa Muradiye Organize Sanayi Bölgesinde yer alan geri dönüşüm tesislerinde çıkan yangın incelenmiştir. Olayla ilgili medyada yer alan haberlerde, yangının 16:20 sıralarında başladığı ve büyük mücadele verilerek yaklaşık 19 saat sonra kontrol altına alınabildiği bilgisi verilmektedir. Söndürme çalışmaları; Manisa İl AFAD, Manisa ve İzmir Büyükşehir Belediye itfaiyelerinden 52 itfaiye aracı, 12 su tankeri, 7 iş makinesi, Orman Genel Müdürlüğüne ait 3 yangın söndürme helikopteri ile 100 civarında iş gücüyle yürütülmüştür. Geri dönüşüm tesislerindeki yanıcı ve kimyasal maddelerin hızla yanması ve rüzgar etkisiyle yayılan dumanın İzmir'in bir çok noktasından görüldüğü haberlerde yer almaktadır.

Geri dönüşüm tesislerinde çıkan bu derece şiddetli yangının MSG uyduları ve meteoroloji radarları tarafından tespit edilmesi ve duman yayılımının gözlemlenmesi mümkündür. Uydu ve radarlar, duman bulutlarını tespit etmek ve duman yayılmasını izlemekle birlikte hava kalitesini tahmin etmek için de kullanılabilir. Her ne kadar bulutluluk, uydu gözlemlerinde duman bulutlarının tanınmasını zorlaştırsa da radar gözlemleri bundan etkilenmez. Bu çalışmada, MSG uydusu IR3.9 kanalı ve RGB ürünleri ile İzmir Doppler C-Band Polarimetrik meteoroloji radar verilerinden, Muradiye OSB'deki geri dönüşüm tesislerinde çıkan yangında duman bulutlarının tespiti ve yayılımına ait ürünler üretilerek yangın incelemesi yapılmıştır.

### 2. İZMİR C BAND RADAR VERİSİ İLE YANGININ ANALİZİ

#### 2.1. İzmir Doppler C Band Polarimetrik Radarı Teknik Özellikleri

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün operasyonel olarak işletmekte olduğu 17 adet C Band radardan biri olan İzmir radarı dual polarizasyon özellikte doppler C Band radarıdır. 2010 yılında Konak ilçesi Kavacık Köyü Çatalkaya tepesinde 973 m yükseklikte (+40 m kule yüksekliği) kurulan radardan operayonel olarak 250 km menzilde 6 dakika aralıklı ürün üretilmektedir (Şekil 1). 5,33 cm dalga boyunda 5625 MHz frekansında çalışarak dual polarizasyon veri elde etmektedir.



Şekil 1: İzmir Doppler C Band Polarimetrik radar.

## 2.2. İzmir Radarı Verileri ile Yangın İncelemesi

Manisa Muradiye Organize Sanayi Bölgesi İzmir radarına yaklaşık 46 km uzaklıkta kuzey doğusunda yer almaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: İzmir radarı ve Muradiye OSB konumu.

Radarlar, yangında atmosfere yayılan partiküllerden geri yansıtılan enerjinin ölçülmesi ile yangın duman bulutlarını tanıma kabiliyetine sahiptir. Radarın sık kullanılan temel ürünlerinden olan MAX (Maximum Reflectivity) ürünlerine bakıldığında, duman bulutlarının yangının başlangıcından itibaren güneybatı yönünde İzmir'e doğru yayıldığı gözlemlenmiştir. Şekil 3'de, yayılan duman bulutuna ait saat 15:00 Z MAX görüntüsündeki reflektivite ekoları görülmektedir.



Şekil 3: İzmir radarı MAX reflektivite görüntüsünde yangın anında yayılan duman ekosu.

Duman bulutuna ait aynı zamandaki reflektivite ve hız görüntüleri Şekil 4'de gösterilmiştir. Reflektivite değerlerinin, yangının kaynağında ve yakın civarında duman partiküllerinin daha yoğun olması nedeniyle 20-30 dBZ, uzak mesafelerde ise daha düşük olduğu görülmektedir. Hız görüntüsünde, OSB'deki yangının kaynağından çıkan dumanın güneybatı istikametinde İzmir'e doğru yayıldığı açıkça görülmektedir. Radara doğru yaklaşan hedeflerin hızları (negatif hızlar) ile radardan uzaklaşan hedeflerin hızları (pozitif hızlar) görülmektedir.



*Şekil 4: Yangın duman bulutunun yayılımını gösteren aynı zamandaki reflektivite ve hız ürünleri.* İzmir radarının dual polarizasyon parametre ürünleri incelendiğinde meteorolojik olmayan saçılmaların olduğu görülmüştür. Bu tespit yapılırken kullanılan en önemli parametre, yatay ve dikey darbeler arasındaki korelasyon olarak bilinen Korelasyon Katsayısıdır (ρhv). Diğer bir deyişle phv, yatay ve dikey darbelerin darbeden darbeye benzerliğinin ölçüsüdür. Korelasyon katsayısı yüksek olduğunda (1'e yakın değerlerde) hedeflerin şekil ve boyutlarının tutarlılığından yani homojen yağıştan söz edilir. 0.9'a yaklaşan daha düşük değerler ise hedeflerin şekil ve boyutlarında daha fazla değişkenliği gösterir ki bu durumda karışık bir yağıştan söz edilir. Bu özelliğiyle phv, meteorolojik ve meteorolojik olmayan hedefler arasında ayrım yapılmasına yardımcı olan en temel dual polarizasyon parametresidir. Dolayısıyla yangın duman bulutlarının phv değerlerine bakacak olursak 0.90'dan düşük olduğu görülmektedir (Şekil 5).

Diferansiyel Faz Kayması (φdp), yatay ve dikey radar darbeleri arasındaki faz farkı olup hedeflerin şekli ve konsantrasyonu hakkında bilgi sağlar (Şekil 5). Ancak φdp değerleri her bir radar radyali boyunca kümülatif olduğundan yorumlanmasını zorlaştırır. Bu veriyi görüntülemenin daha kolay bir yolu, φdp'den türetilen ve φdp'nin uzaklığa bağlı değişim oranı olan Spesifik Diferansiyel Faz (KDP) kullanmaktır. KDP, çok kısa aralıklardaki φdp değişikliklerini yakalamanın bir yolu olup daha yararlı bilgiler sağlar. KDP, temel olarak yağışın şiddeti hakkında bilgi verir. Artan KDP, yağmur damlalarının boyutunda ve konsantrasyonunda bir artışın ve dolayısıyla yağmur şiddetindeki artışın bir göstergesidir. Bu yangın olayında, meteorolojik olmayan ekolar için KDP çok gürültü olması nedeniyle hesaplanamamıştır (Şekil 5). Şekil 5'deki KDP görüntüsünde, yine benzer şekilde radar kapsama sahasında duman bulutu haricinde çeşitli elektromanyetik etkileşimlerden kaynaklı oluşan meteorolojik olmayan interferens ekolar da dikkat çekmektedir. KDP, yalnızca Korelasyon Katsayısının (ρhv) 0.90'dan büyük olduğu durumlarda hesaplanır, yani anlamlıdır. Bunun nedeni, KDP'yi yağış mevcut olduğu durumlarla sınırlamaktır. Sonuç olarak, düşük ρhv ve sıfır olmayan φdp değerleri dumanı gösterir.

Sinyal Kalite İndeksi (SQI) verisi, sinyal işlemci tarafından radyal hızların kalitesinin iyi olup olmadığını belirlemek için üretilen bir parametredir. Şekil 5'de SQI değerlerinin yüksek olduğu, yangın duman bulutunun oldukça belirgin olduğu görülmektedir. SQI, Spektrum Genişliği (W) ile ilişiklidir. SQI çok düşükse radyal hız da bozulacaktır. Ancak bu yangında, yüksek SQI değerlerinden dolayı W'nin bozulmadığı yani hız dağılımının genelde düzgün olduğu görülmektedir. Bununla birlikte sadece yangının çıkış noktasında ve çok yakın civarında W değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. (Şekil 5).

Polarimetrik İzmir radarının elde ettiği dual polarizasyon verilerine dayanılarak yapılan hidrometeor sınıflandırması sonucu üretilen Hidrometeor Sınıflandırma Ürünü (HydroClass) Şekil 5'de

gösterilmiştir. Bu üründen görüleceği üzere, OSB geri dönüşüm tesislerindeki yangına ait duman bulutu meteorolojik olmayan hedefler olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 5: Düşük phv değerlerinin görüldüğü Korelasyon Katsayısı ürünü. Diferansiyel Faz Kayması ( $\varphi$ dp) ürünü. Spesifik Diferansiyel Faz (KDP) ürününde meteorolojik olmayan ekoların görünümü. Sinyal Kalite İndeksi (SQI) ürünü. Yangının kaynağında yüksek değerler gözlenen Spektrum Genişliği (W) ürünü. Hidrometeor Sınıflandırma Ürününde (HydroClass) meteorolojik olmayan hedefler olarak sınıflandırılan yangın duman bulutu.

## 3. MSG UYDU VERİLERİ İLE YANGININ ANALİZİ

## 3.1. MSG SEVIRI KANAL4 (IR3.9) Yangın Görüntüsü

Meteoroloji uyduları, üzerindeki tarayıcıları vasıtasıyla yer yüzeyinden yansıyan radyasyon miktarını ölçer. MSG uydularındaki en önemli enstrüman olan Dönen Geliştirilmiş Görünür ve Kızılötesi Görüntüleyici (The Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager) SEVIRI enstrümanı, 12 spektral kanalda, 15 dakikalık aralıklarla gece ve gündüz boyunca dünyayı gözlemleme kapasitesine sahiptir.

Bu kanallardan Kanal4 (IR3.9 µm), yangın başlama sıcaklığı olan 500 °K sıcaklığında hassas gözlem yeteneğine sahip olduğundan yangın gözlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 6'da, Muradiye OSB geri dönüşüm tesislerindeki yangına ait 15:00 GMT Kanal4 uydu görüntüsünde, daha belirgin sıcaklıktaki yangın pikselleri, çevresindeki piksellerden ayrılmaktadır.



Şekil 6: Muradiye OSB geri dönüşüm tesislerindeki yangının 15:00 GMT MSG Kanal4 (IR3.9 µm) görüntüsü.

## 3.2. RGB Ürünleri ile Yangın Gözlemi

RGB ürünleri, farklı spektral kanallardan edilen bilgiyi tek bir üründe bir araya getirir. Kullanıcıların amacına yönelik tek bir kanal görüntüsünden elde edilenden daha farklı bilgiler sağlar.

## 3.2.1. MSG 0° Doğal Renk Geliştirilmiş (Natural Colour Enhanced) RGB Ürünü

MSG 0° Doğal Renk Geliştirilmiş RGB ürünü, NIR1.6 µm, VIS0.8 µm ve VIS0.6 µm SEVIRI kanalları kullanılarak elde edilir. Doğal Renk RGB ürününe benzemektedir, ancak buz bulutları ve karla kaplı yüzeyler ve bulutlar tipik turkuaz renginde değil, doygunluğu giderilmiş tonlarda, yani beyaz tonlarında gösterilerek insan algısı için daha doğal hale getirilir. Yangın duman bulutu, Şekil 7'de 15:00 GMT'deki MSG 0° Doğal Renk Geliştirilmiş RGB ürününde olduğu gibi koyu renklerde (yangın kaynağından uzaklaştıkça piksel renk tonu açılarak) görülür.



Şekil 7: Muradiye OSB geri dönüşüm tesislerindeki yangın duman bulutunun 15:00 GMT MSG 0° Doğal Renk Geliştirilmiş RGB görüntüsü.

## 3.2.2. Gündüz Mikrofiziği Yaz (Day Microphysics Summer) RGB Ürünü

Gündüz Mikrofiziği Yaz RGB ürünü, VIS0.8 µm, IR3.9µm ve IR10.8 µm kanalları kullanılarak elde edilir. Bulut analizi, konvektif sis, kar ve yangın tespitinde kullanılır. Şekil 8'de, Muradiye OSB geri dönüşüm tesislerindeki yangına ait 15:30 GMT MSG Gündüz Mikrofiziği Yaz RGB görüntüsü

yer almaktadır. Bu görüntüde, yangının olduğu bölgede parlak yeşilimsi rengin belirgin olmasının sebebi, bu RGB ürününde yeşil rengin IR 3.9 µm kanalı ile temsil edilmesidir.



Şekil 8: Muradiye OSB geri dönüşüm tesislerindeki yangına ait 15:30 GMT MSG Gündüz Mikrofiziği Yaz RGB görüntüsü.

## 3.2.3. Geliştirilmiş Görüntü (Enhanced View) EView RGB Ürünü

Geliştirilmiş Görüntü (EView) RGB ürünü, yüksek çözünürlüklü görünür kanal (HRV) Kanal 12 (0.4-1.1 µm) ve Kanal 9 (IR10.8 µm) kanalı kombine edilerek elde edilir. Şekil 9'da, Muradiye OSB geri dönüşüm tesislerindeki yangına ait 15:45 GMT EView RGB görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 9: Muradiye OSB geri dönüşüm tesislerindeki yangına ait 15:45 GMT MSG Geliştirilmiş Görüntü (EView) RGB ürünü.

#### 4. SONUÇLAR

Orman yangınlarında olduğu gibi sanayi tesislerindeki büyük çaplı yangınların da uydu ve radar gözlemleri ile tespit ve takibinin yapılması mümkündür. Bu çalışmada örnek olarak alınan Muradiye OSB'deki 60 bin metrekarelik geri dönüşüm tesislerinde, eski beyaz eşyaların geri dönüşüm yapıldığı poliüretan malzemeler, elyaf, plastik, naylon, strafor vb. malzemelerin yanması sonucu büyüyen yangın yaklaşık 19 saatlik çalışma sonucu kontrol altına alınabilmiş, çevre için büyük tehlike arz ederek çevre ve hava kirliliğine sebebiyet vermiştir.

Yangının gözlem ve analizi için kullanılan uydu ve radar verilerinin oldukça faydalı sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Hem MSG uydu Kanal4 (IR3.9) ve bazı RGB ürünleri, hem İzmir Doppler C Band Polarimetrik meteoroloji radarının single ve dual parametre verileri ile, yangın başlangıcından itibaren tespit edilerek yayılması rahatlıkla gözlemlenmiştir. Bu derece ciddi boyutlardaki yangınların tespiti, takibi ve söndürme çalışmaları sırasında bu verilerin kullanılmasının oldukça faydalı ve önemli olduğu düşünülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] National Weather Service, *Dual-Polarization Radar Principles and System Operations*, Presented by the Warning Decision Training Branch, (5-22).
- [2] Melnikov V., Zrnic D.S., Rabin R.M., Pierce R.B., Zhang P., *Radar polarimetric signatures of fire plumes*, Uni. Of Oklahoma, (1, 3, 4), Norman, OK.
- [3] Weaver J.F. and Purdom J.F.W., Observing Forest Fires with the GOES-8, 3.9-μm Imaging Channel, (804), Colorado, 1995.
- [4] Prieto J., Remote Sensing of Fires with Meteosat, Darmstadt, EUMETSAT.

# Uydu ve Meteorolojik İstasyon Sıcaklık Verilerinin İklimsel Uygulamalar İçin Uyumluluğu ve Kullanılabilirliği: TürkiyeÖrneği (2000-2022)

Davut Enes Türkmen Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 14. Bölge Müdürlüğü Van deturkmen@mgm.gov.tr

Osman Eskioğlu Meteoroloji Genel Müdürlüğü İklim ve Zirai Meteoroloji Dairesi Başkanlığı Ankara oeskioglu@mgm.gov.tr

## ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından işletilen meteorolojik istasyonlarda ölçülen ve bir takım kalite kontrol sürecinden geçirilen sıcaklık verileri ile Terra Land Surface Temperature and Emissivity uydu verisi arasındaki uyumluluk incelenmektedir. Ayrıca meteorolojik istasyonlardan elde edilen sıcaklık verilerinin iklimsel çalışmalardaki kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. 2000 ile 2022 yılları arasındaki dönemi kapsayan bu çalışma, iklim değişikliği izleme, doğal afet tahmini ve sürdürülebilir kalkınma stratejilerinin planlanmasının temelini oluşturan verilerin güvenilirliği açısından büyük öneme sahiptir. Sonuçlar, bu iki veri kaynağının iklim değişiklikleri ve çevresel etkilerin izlenmesi ve analiz edilmesi konularında nasıl kullanılabileceğine dair önemli bilgiler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler — Uydu; Yüzey sıcaklık verisi; Meteorolojik istasyon; İklim.

## 1. GİRİŞ

İklim değişikliği ve çevresel etmenlerin hava sıcaklığı üzerindeki etkisinin analizi, küresel ölçekteki sürdürülebilir iklim politikalarının belirlenmesindeki ana faktörlerinden birisidir [1]. Bu süreçte, doğru ve güvenilir veri kaynakları etkili karar alma süreçlerini desteklemektedir. Bu bağlamda, sıcaklık verilerinin analizi için literatürde uzaktan algılama ve istasyon verileri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu iki veri çeşidinin birbirine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Uzaktan algılama yöntemlerinin bazı avantajları; küresel ölçekte veri sağlaması, sensör değişikliği yapılmaksızın ölçüm yapılması ve alansal olarak sürekli bir tahmin sağlamasıdır. Dezavantajları ise; ölçüm için açık gökyüzü koşulu ve sıcaklık tahminindeki bazı ampirik varsayımlardır. İstasyon verilerinin avantajlarından bazıları; bütün gökyüzü koşullarında ölçüm yapabilmesi ve kolay kalibre edilebilirliğidir. Dezavantajları ise; sensör değişikliğinden kaynaklı verilerdeki süreksizlik ve lokasyondan kaynaklı verideki yanlılık bunlardan bazılarıdır [2]. İstasyon verilerinde bazı olumsuz durumlarda (İstasyon arızası, yer değişikliği vb.) eksik veriler veya hatalı ölçümler olabilmektedir. Eksik verilerin ve hatalı ölçümlerin tespit edilmesi, düzeltilmesi gibi işlemler için veriler bir takım kalite kontrolünden geçmesi gerekmektedir. Kalite kontrolünden geçen sıcaklık verilerinin tutarlığının kontrol edilmesi, ileride yapılacak olan iklimsel çalışmalar için hayati öneme sahiptir. Bu bağlamda tutarlılık analizi aynı iklimsel özellikleri paylaşan ve test edilecek istasyon ile yüksek korelasyona sahip komşu bir istasyon ile veya uydu verisinden elde edilen sıcaklık zaman serisi ile yapılabilmektedir [3]. Bu çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü bünyesinde işletilen 24 farklı istasyon Türkiye'yi temsil edecek şekilde seçilmiştir. Bir takım kalite kontrol sürecinden geçen 24 farklı istasyonun 2000 ile 2022 yılları arasındaki tutarlılığı Terra Land Surface Temperature and Emissivity uydu verisi [4] ile test edilmiştir. Sonuç olarak kalite kontrol sürecinden geçen istasyon verileri ile uydu verisi arasında anlamlı bir uyumluluk tespit edilmiştir.

## 2. VERİ VE YÖNTEM

Çalışmada Türkiye'yi temsil edecek ve kapsayacak şekilde 24 farklı istasyon seçilmiştir. Bir takım kalite kontrol sürecinden geçen istasyonların ortalama sıcaklık değerleri, tutarlılığın analiz edilmesi amacıyla Terra Land Surface Temperature and Emissivity uydu verisi ile karşılaştırılmıştır. Terra Land Surface Temperature/Emissivity ürünü, 1 kilometre (km) uzamsal çözünürlüğe sahiptirve günlük piksel başına arazi yüzey sıcaklığı ve emisivite (LST&E) değerlerini içermektedir. Ayrıca, piksel sıcaklık değeri MOD11\_L2 swath ürününden türetilmiştir. 30 derece enleminin üzerinde, bazı pikseller açık gökyüzü kriterlerinin karşılandığı birden fazla gözleme sahip olabilir.
Bu durumda, piksel değeri tüm uygun gözlemlerin ortalamasının bir sonucudur. Ek olarak, uydu verisi içerisinde gündüz ve gece yüzey sıcaklığı bantları ile birlikte, ilgili kalite kontrol değerlendirmeleri, gözlem süreleri, görüş zenit açıları ve açık gökyüzü örtüleri ile arazi örtüsü türlerinden 31 ve 32 bantlarının emisyonları da sunulmaktadır.

Uydu verisi ile istasyon verileri karşılaştırılırken korelasyon, ortalama hata (mean error),ortalama mutlak hata (mean absolute error) ve standart sapma hataları (standart deviation error) metrikleri incelenerek sonuca ulaşılmıştır.

# 3. ANALİZ

Terra Land Surface Temperature and Emissivity uydu verisi gündüz ve gece yüzey sıcaklığı bantları olarak ikiye ayrılmaktadır. Uydu verisinin açıklamasında saate bağlı olarak hangi konumdaölçüm yaptığında dair bir açıklama bulunamamıştır. Bu bağlamda uydu verisinin gündüz ve gece bandındaki ölçümlerin, istasyonların hangi saatlerindeki ölçümler ile en çok uyumlu olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. İstasyonlardan elde edilen sıcaklık ölçümlerinin her bir saati için ayrı ayrı elde edilen aylık ortalama değerler, uydu verisinden istasyonunun konumuna göre elde edilen aylık sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 1: Gündüz ve gece bantlarından elde edilen aylık ortalama sıcaklık değerleri ile istasyonlardan elde edilen sıcaklık ölçümlerinin her bir saati için ayrı ayrı elde edilen aylık ortalama sıcaklık değerleri arasındaki korelasyonlar.

Sonuç olarak, uydu verisinin gündüz bandı, istasyon verisinin saat 13:00'daki verileri ile en yüksek korelasyona sahip çıkmıştır. Benzer şekilde, istasyon verileri ile gece bandının sıcaklık verileri arasındaki korelasyonun saat 20:00'da en yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1). Hata metriklerine bakıldığında ise gündüz bandından elde edilen aylık ortalama sıcaklık ile istasyonlardan saat 13:00 için elde edilen aylık ortalama sıcaklık değerleri en düşük hataya sahip saat olarak karşımıza çıkmaktadır. Gece bandından elde edilen aylık ortalama sıcaklık ile istasyonlardan saat 04:00 ve 20:00 için elde edilen aylık ortalama sıcaklık değerleri en düşük hataya sahip saat olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmanın devamında en yüksek korelasyon 20:00'da tespit ediliği için, gece bandı'nın 20:00'da ölçüm yaptığı varsayılmıştır.



Şekil 2: Gündüz ve gece bantlarından elde edilen aylık ortalama sıcaklık değerleri ile istasyonlardan elde edilen sıcaklık ölçümlerinin her bir saati için ayrı ayrı elde edilen aylık ortalama sıcaklık değerleri arasındaki ortalama hatalar (mean error).



Şekil 3: Gündüz ve gece bantlarından elde edilen aylık ortalama sıcaklık değerleri ile istasyonlardan eldeedilen sıcaklık ölçümlerinin her bir saati için ayrı ayrı elde edilen aylık ortalama sıcaklık değerleri arasındaki mutlak ortalama hatalar (mean absolute error).



Şekil 4: Gündüz ve gece bantlarından elde edilen aylık ortalama sıcaklık değerleri ile istasyonlardan elde edilen sıcaklık ölçümlerinin her bir saati için ayrı ayrı elde edilen aylık ortalama sıcaklık değerleri arasındaki standart sapma hatalar (standard deviation error).

İstasyon bazında, gece ve gündüz bantlarından elde edilen sıcaklık değerlerinin, istasyonlardanelde edilen sıcaklık değerleri ile arasındaki korelasyonlara bakıldığında, İstanbul Bölge istasyonu hariç diğer istasyonların korelasyonlarının 0.9 üzerinden olduğu tespit edilmiştir. Hata metriklerinde, gündüz bantları genelde pozitif ortalama hata gösterirken, gece değerleri negatif ortalama hata göstermiştir. Bu durum uydu verisinin yer yüzeyi sıcaklığını, istasyonların ise hava sıcaklığını ölçmesinden kaynaklanmaktadır. Gündüzleri yer yüzeyi daha sıcak olurken akşamları daha soğuk olmaktadır. Ortalama hata haritasında gündüz bandı için en yüksek hataya sahip 3 istasyon sırası ile İstanbul Bölge (11.98), Mardin (10.63) ve Diyarkır Havalimanı'dır (9.66). Gece bandı için en yüksek hata gösteren 3 istasyon ise Afyonkarahisar Bölge (-5.9), Sivas (-5.9) ve Kayseri Bölge'dir (-5.1) (Şekil 6). Mutlak ortalama hata değerlerine bakıldığında ise ortalama hataile benzer bir tablo karşımıza çıkmaktadır. Gündüz bandı için en yüksek hata gösteren 3 istasyon; Mardin (9.63), Diyarbakır Havaalanı (9.63) ve İstanbul Bölge'dir (8.52).



Şekil 5: Gece ve gündüz bantlarının istasyon verileri ile korelasyonu.

Gündüz bandı için en düşük hataya sahip 3 istasyon Rize (2.06), Çanakkale (2.09) ve İzmir Bölge'dir (3.22). Gece bandı için en yüksek ortalama mutlak hata gösteren 3 istasyon Sivas (5.9), Afyonkarahisar Bölge (5.9) ve Kayseri Bölge'dir (5.12). Gece bandı için en düşük ortalama mutlak hata gösteren 3 istasyon Gaziantep (1.93), Samsun Bölge (2.26) ve Antalya Havaalanı'dır (2.71). Standart sapma hatasına bakıldığında ise gündüz bandı için en fazla hata salınımının olduğu 3 istasyon İstanbul Bölge (8.58), Sivas (4.66) ve Kayseri Bölge'dir (4.58). Gece bandı için ise İstanbul Bölge (5.11), Erzurum Havaalanı (2.57) ve Mersin'dir (2.45) (Şekil 6).



Sekil 6: Gece ve gündüz bantlarının istasyon verileri ile arasındaki ortalama hata, ortalama mutlak hata ve standart sapma hatası.

Sonuç olarak uydu verisi ile yüksek korelasyona sahip olup ve aynı zamanda düşük hata metriklerine sahip istasyonların iklim çalışmalarında kullanılmasının uygun olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda uydu verisinin gündüz ve gece bandı ile düşük korelasyona sahip İstanbul Bölge istasyonunun verilerine ihtiyatlı yaklaşılması önerilmektedir. Ayrıca bu durumun lokal etkilerden (şehir ısı adası vb.) de kaynaklanabileceği göz ardı edilmemelidir [5]. Hatametriklerinde gece ve gündüz bantları için yüksek hata değerleri gözlemlenen istasyonların (İstanbul Bölge, Mardin, Diyarbakır Havaalanı, Afyonkarahisar Bölge ve Kayseri Bölge) verilerini iklimsel çalışmalarda kullanımadan önce daha detaylı bir yaklaşımda bulunulması önerilmektedir.

## 4. SONUÇ

Bu çalışmada Terra Land Surface Temperature and Emissivity uydu verisi kullanılarak, bir takım kalite kontrolünden geçen ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından işletilen istasyonlarınsıcaklık ölçümlerinin, uydu verisi ile uyumluluğu ve iklim çalışmalarında kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Bu bağlamda öncelikle uydu verisinin gündüz ve gece bandını istasyonların hangi saatleri ile karşılaştırılması gerektiğine karar verilmiştir. Yapılan analizler sonucu gündüz bandı için 13:00, gece bandı için 20:00 en uygun saatler olarak tespit edilmiştir. Karşılaştırma için gündüz ve gece bantları için uygun saatler belirlendikten sonra istasyon bazında korelasyonlar incelenmiştir ve hata metrikleri değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda İstanbul Bölge istasyonunun düşük korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir ve bu konuda dikkatli olunması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca hata metriklerinde yüksek hata gösteren istasyonların, iklim çalışmasında kullanılmadan önce daha detaylı analiz edilmesi gerektiğine dikkat çekilmiştir. Sonuç olarak, uydu verisi ile yüksek korelasyona sahip olan ve aynı zamanda düşük hata metriklerine sahip istasyonların, iklim çalışmalarında kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

### KAYNAKLAR

- P. G. Rao, P. M. Kelly, and M. Hulme, "Recent climatic change, greenhouse gas emissions andfuture climate: The implications for India," *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 55, no. 1–4, pp. 41–64,1996, doi: 10.1007/BF00864702.
- [2] Y. Qian *et al.*, "Urbanization Impact on Regional Climate and Extreme Weather: Current Understanding, Uncertainties, and Future Research Directions," *Adv. Atmospheric Sci.*, vol. 39,no. 6, pp. 819–860, Jun. 2022, doi: 10.1007/s00376-021-1371-9.
- [3] E. J. Good, D. J. Ghent, C. E. Bulgin, and J. J. Remedios, "A spatiotemporal analysis of the relationship between near-surface air temperature and satellite land surface temperatures using 17 years of data from the ATSR series," *J. Geophys. Res. Atmospheres*, vol. 122, no. 17, pp. 9185–9210, Sep. 2017, doi: 10.1002/2017JD026880.
- [4] Z. Wan, "New refinements and validation of the MODIS Land-Surface Temperature/Emissivityproducts," *Remote Sens. Environ.*, vol. 112, no. 1, pp. 59–74, Jan. 2008, doi: 10.1016/j.rse.2006.06.026.
- [5] A. Chrysanthou, G. Van Der Schrier, E. J. M. Van Den Besselaar, A. M. G. Klein Tank, and T.Brandsma, "The effects of urbanization on the rise of the European temperature since 1960," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 41, no. 21, pp. 7716–7722, Nov. 2014, doi: 10.1002/2014GL061154.

# Doğu Karadeniz Yağış ve Sellerinin Toz Taşınımı ve Deniz Suyu Sıcaklığı ile İlişkisinin İncelenmesi

### Edanur Gözet

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğü Trabzon egozet@mgm.gov.tr

#### Betül Nisa Atmaca

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü Ankara batmaca@mgm.gov.tr

## Barış Özgün

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğü Trabzon bozgun@mgm.gov.tr

### Cihan Dündar

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü Ankara cdundar@mgm.gov.tr

## ÖZET

Son dönemde yürütülen bilimsel çalışmalar ve model öngörüleri, Doğu Akdeniz Havzasının küresel iklim değişikliğine karşı en duyarlı alanlar arasında bulunduğunu göstermektedir. Yağış ve sıcaklık parametreleri iklim değişikliğinin en temel göstergeleridir. Güvenilir akademik çalışmalar ve model öngörülerine göre, iklim değişikliğinin sonucu olarak bölgesel farklılıklar gösterse de küresel ölçekte artması öngörülen sıcaklıkların yanı sıra, yağışlarda da düzensizliklerin yaşanması beklenmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü kayıtlarına göre; Türkiye'de yaşanan en sıcak yıllar 2000'li yıllardan itibaren tespit edilmiştir. Diğer taraftan aynı dönemde sel ve taşkın gibi şiddetli hava olaylarının sayısında da artışlar olduğu bilinmektedir. Şiddetli yağış ve seller, meteorolojik karakterli afetlerin 3'te 1'inden fazlasını oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, ilk aşamada Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan toplam 10 adet Meteoroloji İstasyonuna ait son 30 yıllık (1993-2022) günlük yağış verileri kullanılarak aylık, mevsimlik ve yıllık yağış analizleri yapılmıştır. Bölgenin yağış rejimi ortaya konulduktan sonra Giresun iline odaklanılarak, 22 adet Meteoroloji İstasyonuna ait son 5 yıllık (2018-2022) saatlik yağış verileri analiz edilerek, sel ve taşkın olaylarının nedenleri araştırılmıştır.

Ayrıca, yağışların zamansal değişiminin Deniz Suyu Sıcaklığı (SST) ve bölgeye olan Toz Taşınımı ile ilişkisi incelenmiştir. 2003-2022 dönemi Deniz Suyu Sıcaklığı verileri, bölgede ölçüm yapan Giresun ve Hopa Meteoroloji İstasyonları ölçümlerinin yanı sıra NASA Aqua uydusu üzerinde bulunan MODIS cihazı ölçümlerinden alınmıştır. Toz Taşınımı analizleri için Aqua MODIS cihazının 2003-2022 Aerosol Optik Derinliği (AOD) ölçümleri kullanılmıştır.

İlk bulgulara göre, hem aylık toplam yağış miktarları hem de yağışlı günlerin kış aylarında daha fazla ölçülmesine rağmen, sel ve taşkın olaylarının yaz aylarında yaşandığı görülmüştür. Diğer bir önemli bulgu da; Doğu Karadeniz Havzasında seçilen Meteoroloji İstasyonlarının son 30 yıllık yağışları incelendiğinde, hem yıllık toplam yağış miktarlarında hem de yağışlı gün sayılarında yıllar bazında azalma olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama yağışlı gün sayısında yaşanan azalma eğilimi pearson korelasyon analizi ile desteklenmektedir. Giresun ve Hopa Meteoroloji İstasyonlarında yapılan ölçümlere göre Deniz Suyu Sıcaklıklarının son 20 yılda arttığı gözlenmiştir. Aqua MODIS uydu gözlemleri de bu artışı desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler – Yağış, Sel, Küresel Isınma, Deniz Suyu Sıcaklığı, Toz Taşınımı.

# 1. GİRİŞ

Sel, büyük su kütlelerinin akarsu yataklarında, vadi yamaç ve tabanlarında, çukur alanlarda ve kıyılarda kontrolsüz bir biçimde akması ve yayılması olayı olarak tanımlanmaktadır. Seller saatler veya günler içinde oluşabilir. Kısa sürede oluşan, dolayısıyla etki süreleri de kısa olan bu seller, ani seller (flash floods) olarak isimlendirilir. Doğu Karadeniz'de yaşanan sel ve taşkın olayları en çok ilkbahar ve yaz aylarında gerçekleşir (Özcan, 2006). Taşkınlar; akarsu, dağlık alan, kıyı ve şehir

taşkınları gibi gruplara ayrılmakla birlikte ülkemizde en sık görülen ve en çok zarara sebep olan taşkınlar akarsu taşkınlarıdır (Yüksek vd., 2022).

Doğu Karadeniz Havzası topoğrafik yapısı nedeniyle sel ve taşkınlardan en çok etkilenen bölgelerden biridir. Küresel iklim değişikliği ile meydana gelecek ekstrem yağışlar bu bölgede şiddetli yağış ve dolayısıyla taşkınlara sebep olmaktadır (Çeribaşı, 2019). Doğu Karadeniz Bölgesinde oluşan taşkınlar ve seller yalnızca yüksek yağış miktarlarına bağlı değildir. Akarsu boylarının kısa, vadi yamaçlarının dik olması sebebiyle sel suları vadi tabanlarına hızlı bir şekilde toplanmaktadır. Akarsu vadilerinin genellikle tabansız, dar ve düzensiz olması da taşkın riskini arttıran sebepler arasındadır. Kısa zaman aralıklarında düşen, farklı miktardaki yağışlar ve ani kar erimeleri taşkınlara dönüşebilmektedir. Bunun en önemli nedeni, önceki yağışlara bağlı olarak toprağın doygun olmasıdır. Ayrıca her maksimum yağış, taşkına sebep olmamaktadır (Gürgen, 2004). Türkiye'de son yıllarda sel ve taşkın olaylarının yaklaşık 1/3'ü Doğu Karadeniz Bölgesinde yaşanmıştır.

Literatürde; atmosferdeki aerosollerin varlığı, bulut yoğunlaşma çekirdeği olarak yağışı belirleyen faktörlerden biri olarak açıklanmaktadır. Atmosferde asılı duran katı ve sıvı parçacıklara aerosol adı verilmektedir. Aerosoller; fosil yakıtların yakılması, ulaşım ve endüstriyel kaynaklı emisyonlar sonucunda antropojenik olarak ortaya çıkabilmektedir. Bunun yanı sıra deniz spreyi, orman yangınları, çöl tozu ve volkanik patlamalar gibi doğal süreçlerden de kaynaklanabilmektedir. Aerosollerin fiziksel çevre, küresel iklim ve canlılar üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak ciddi etkilere sahiptir (NASA, 2023; Bimenyimana, 2018).

Atmosferdeki aerosol parçacıkları, Dünyanın iklimine ve radyasyon bütçesine dolaylı bir etki olarak bulut mikrofiziği, yağış miktarı, albedo ve bulutun ışınımsal özelliklerini etkilemektedir. Atmosferdeki aerosollerin bu etkileri farklı meteorolojik koşullara göre olumlu veya olumsuz olabilmektedir. Atmosferde bulunan aerosollerin uygun koşullar altında bulut yoğunlaşma çekirdeği olarak yağışları artırıcı yönde etkisi bulunmaktadır (Chou vd., 2004; Schepanski 2018).

Aerosollerin yoğunlaşma çekirdeği olarak hizmet etmesi sebebiyle yağış oluşumu üzerinde olumlu bir etkisi görülebilirken bunun aksi de mümkündür. Fazla miktardaki aerosolün varlığı yoğuşma çekirdeği konsantrasyonunu arttırmakta ve sabit sıvı su içeriği için daha fazla ancak daha küçük bulut damlacıklarına yol açmaktadır. Aerosollerin bulut ömrü ve yağışlar üzerindeki etkisi hala tam anlamıyla kesinleşmiş değildir (Bimenyimana vd., 2018, Myhre vd., 2013). Türkiye için 2003-2017 yılları MODIS Aqua Aerosol (AOD) ölçümleri ile alansal ortalama yağış miktarları arasında % 95 güven aralığında anlamlı olmayan ve çok zayıf bir ilişki bulunmuştur (Dündar, 2019).

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC, 2021) 6. Değerlendirme Raporunda, son yıllarda Avrupa'da azalan aerosol konsantrasyonlarının kısa dalga radyasyonunda artış eğilimine yol açtığı, iyileşen hava kalitesinin (azalan aerosol konsantrasyonu), olumsuz bir etkisi olarak ısınmayı artıracağı belirtilmektedir. Pfeifroth ve arkadaşları tarafından EUMETSAT CM SAF (Satellite Application Facility on Climate Monitoring) 1995-2015 verileri ile 2018 yılında yapılan çalışmada, atmosferdeki aerosol miktarının azalması sonucu Doğu Avrupa ve Atlantik Okyanusu üzerine ulaşan güneş radyasyonunun 1990'lı yıllardan itibaren arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Hava kalitesindeki iyileşmenin sonucu olarak Avrupa atmosferindeki aerosollerin son 20 yılda önemli ölçüde azaldığı Şekil 1'deki Aerosol Optik Derinlik (AOD) haritalarında görülmektedir.



Şekil 1. Avrupa atmosferi, 1996, 2003 ve 2018 yıllık alansal ortalama AOD dağılımı

Türkiye göz önüne alındığında ülkemizin "Tozlu Kuşak" olarak da ifade edilen Afrika (Sahra Çölü), Orta Doğu ve Asya kaynaklı çöl tozlarının etkisi altında olduğu görülmektedir. Bu nedenle aerosollerin ve toz taşınımının izlenmesi, bunların iklim, atmosfer ve çevre üzerindeki etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Atmosferde bulunan aerosol miktarı (Aerosol Optik Derinliği, AOD) yer ve uydu tabanlı sistemler ile ölçülmektedir. Birimsiz bir parametre olan AOD, genellikle 0 ile 1 arasında değişim göstermektedir. Kuvvetli kum ve toz fırtınası yaşanması durumunda AOD değerlerinin 1'in üzerinde olduğu görülmektedir (MGM, 2023).

Deniz yüzeyi sıcaklığı (SST) yağış üzerinde önemli bir faktördür (Zuo ve Zhang, 2012). Ülkemizi çevreleyen denizlerinin ortalama deniz suyu sıcaklıklarının artma eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Kalıpcı vd., 2021). Artan SST'lerin denizlerdeki konvektif aktiviteyi arttırdığı unutulmamalıdır. Bunun sonucunda denizlerde konvektif yağışlar artıyor (Efimov vd. 2008). Anadolu yarımadasındaki

yağışlar çevre denizlerin SST'lerine (özellikle sonbahar mevsiminde) duyarlı görünmektedir (Bozkurt ve Şen, 2009).Türkiye'yi çevreleyen denizlerde yüzey suyu sıcaklık değişimlerinin yağışlara olan etkisi incelendiğinde; yaz ve sonbahar dönemindeki yüksek deniz suyu sıcaklıkları sel ve taşkınlara neden olan yağışları arttırmaktadır (Bozkurt ve Sen, 2011). Ayrıca aşırı yağış olaylarının oluşumu, uygun sinoptik durumlara ve atmosferik dolaşımlara büyük ölçüde bağlıdır (Lenderink vd. 2008).

Artan SST'lerin denizlerdeki konvektif aktiviteyi arttırdığı unutulmamalıdır. Bunun sonucunda denizlerde konvektif yağışlar artıyor ancak Anadolu Yarımadasının kıyı kesimlerinde de artıyor. Yarımadanın çevre denizlerindeki sıcak yaz ve sonbahar SST'lerinin, özellikle güneybatı Karadeniz'de (Efimov vd., 2008) ve ayrıca denize bakan bölgelerde ani sel, sağanak yağış olayları ve kasırga benzeri sistemlerin oluşumunu arttırması muhtemeldir. Yarımadanın güney kesimlerinde yer alan dağların yamaçları. Ayrıca aşırı yağış olaylarının oluşumu, uygun sinoptik durumlara ve atmosferik dolaşımlara büyük ölçüde bağlıdır (Lenderink vd., 2008).

Türkiye'de yıllık yağışlar: El Niño olaylarının başladığı yıllarda genel olarak bir azalış ve olaylardan bir sonraki yıllarda genel olarak bir artma eğilimi göstermektedir. La Niña olaylarının başladığı yıllarda genel olarak bir artış ve olaylardan bir sonraki yıllarda genel olarak bir azalış eğilimi göstermektedir (Türkeş, 2000).

## 2. VERİ VE YÖNTEM

# 2.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri

Çalışma Alan, Türkiye'nin Kuzeydoğu kesiminde 40°15'49" - 41°07'04" kuzey enlemleri ile 36°40'28" - 42°33'43" doğu boylamları arasında yer almaktadır. Bölge oldukça engebeli bir topografyaya sahiptir. Doğu Karadeniz'de dağlar kıyıdan iç kesimlere gittikçe hızlı bir şekilde yükselir. Kıyıdan 1 km kadar içerideki alanda yükseklik 500 m civarında iken içeri kesimlere ilerledikçe hızlı bir şekilde 2500 m'ye ulaşmaktadır. Karadeniz'in etkisi altında bulunan sahil kısmı, kışları yumuşak ve yağmurlu, yazları ılıman ve nispeten yağışlıdır. İç kısımda yazlar kurak ve ılık, kışlar yağışlı ve soğuktur (Yüksek vd,, 2021). Doğu Karadeniz Bölgesi ülkemizin en çok yağış alan yöresi durumundadır.



Şekil 2. Doğu Karadeniz Haritası ve İstasyon Yerleri

İstasyon No	İstasyon Adı	İl	Enlem	Boylam	Rakım
17033	Ordu	Ordu	40.9838	37.8858	5
17034	Giresun	Giresun	40.9227	38.3878	38
17040	Rize	Rize	41.0400	40.5013	3
17042	Нора	Artvin	41.4065	41.4330	33
17045	Artvin	Artvin	41.1752	41.8187	613
17088	Gümüşhane	Gümüşhane	40.4598	39.4653	1216
17089	Bayburt	Bayburt	40.2547	40.2207	1584
17037	Trabzon Bölge	Trabzon	40.9985	39.7649	25
17666	İspir	Erzurum	40.4868	40.9997	1223
17682	Şebinkarahisar	Giresun	40.2872	38.4193	1364

Tablo 1: İstasyon Bilgileri (MEVBİS)

Giresun, Doğu Karadeniz'de denize doğru çıkıntısı olan bir yarımadadır. Bu yarımadanın doğusu ve batısındaki iki koyun çevresinde kurulmuş bir şehirdir. Giresun, doğudan Aksu Deresi, batıdan Batlama Deresi ile sınırlandırılmıştır. Kentin gelişimi boyunca bu akarsulara dikkat etmeden yaklaşmak sel ve taşkın olaylarında artışa neden olmuştur (Bekdemir vd., 2000).



Şekil 3. Giresun Analizinde Kullanılan İstasyon Yerleri

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Rakım
18224	Alucra	40,3275	38,7522	1477
18722	Alucra/Çakrak	40,5331	38,6472	2103
19055	Alucra/Gürbulak	40,4711	38,7961	1808
18558	Bulancak	40,9146	38,1942	286
18721	Bulancak/Serpin	40,6119	38,0433	1733
18220	Çamoluk	40,1339	38,7247	1037
17686	Dereli/Kümbet	40,5592	38,4397	1730
18921	Dereli/Kümbet Kayak M	40,5675	38,4761	1895
18720	Dereli/Tamdere	40,5539	38,3408	1946
18222	Dereli/Yavuzkemal	40,5894	38,2789	1711
18221	Doğankent	40,8106	38,9128	177
19237	Espiye	40,9429	38,7044	45
18559	Eynesil	41,0017	39,145	772
17034	Giresun	40,9227	38,3878	38
18560	Görele/Kuşçulu	41,0175	38,9519	330
18730	Görele/Sis Dağı	40,8814	39,1039	2133
18561	Güce	40,90155	38,80401	390
19054	İnişdibi	40,7264	38,3175	1113
18562	Keşap/Yivdincik	40,8522	38,5714	680
17682	Şebinkarahisar	40,2872	38,4193	1364
18225	Tirebolu	40,9775	38,7658	5
19053	Yağlıdere/Sınırköy	40,6742	38,6189	1080

Tablo 2. Giresun Analizinde Kullanılan İstasyon Bilgileri (MEVBİS)

## 2.2. Veri

Doğu Karadeniz Havzasının genel yağış değerlendirmesi için Ordu, Giresun, Şebinkarahisar, Trabzon, Rize, Artvin, Hopa, Gümüşhane, Bayburt ve İspir olmak üzere toplam 10 adet Meteoroloji

İstasyonuna ait son 30 yıllık (1993-2022) 10 günlük toplam yağış miktarı verileri ile Giresun ilinin 2018-2022 (5 yıllık) saatlik toplam yağış miktarı verileri Meteorolojik Veri Bilgi Sunum ve Satış Sisteminden (MEVBİS) alınmıştır. Uydu verileri NASA'nın Giovanni sitesinden alınmıştır.

Ayrıca çalışmada, NASA'nın Aqua uydusu üzerinde bulunan MODIS (Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi) görüntüleme cihazına ait 2003-2022 yılları Aerosol Optik Derinliği (AOD) verileri kullanılmıştır. 36 farklı kanalda görüntü sağlayan bu cihaz, aerosollerin kütle konsantrasyonunu, optik özellikleri, yatay/düşey dağılımı ve taşınımını haritalamak, iklim modellerine girdi verisi sağlamak ve ışınımsal zorlamanın takibini yapmak amacıyla kullanılmaktadır (Pekin vd., 2019).

## **3. HESAPLAMA VE BULGULAR**

## 3.1. Doğu Karadeniz Yağış Analizi

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) güncel değerlendirme ve tahminlerine göre, küresel ısınma ve iklim değişikliği sonucu; içinde yer aldığımız Akdeniz Havzasında sıcaklıkların artması beklenirken, yağışlarda da düzensizlik yaşanacağı, kuraklık, fırtına ve sel gibi atmosfer kaynaklı afetlerde artışlar yaşanacağı belirtilmektedir.

"2021 Yılı Meteorolojik Afetler Değerlendirmesi" raporunda, Meteoroloji Genel Müdürlüğü kayıtlarına göre; ülkemizde, meteorolojik afetlerin oluşum sayılarının yıllar içinde artış gösterdiği ve 2021 yılında ülkemizde en fazla fırtına, şiddetli yağış/sel ve dolu afetleri görüldüğü belirtilmektedir. Aynı rapora göre 2000'li yıllardan itibaren sel olaylarında artışlar görülmektedir. Ülkemizde 2021 yılında meydana gelen sel olayının mevsimsel dağılımı incelendiğinde, en fazla sel olayı yaz mevsiminde gerçekleşmiştir. Yaz mevsiminde meydana gelen toplam 155 sel olayı, 2021 yılında yaşanan sel olaylarının %56'sını oluşturmuştur.

Doğu Karadeniz Havzasında 1993-2022 yılları arasındaki yıllık toplam yağış ortalaması 1000.2 mm'dir. En yüksek miktarda yağış alan yıl 1275.5 mm ile 2016 iken en az miktarda yağış alan yıl 808.4 mm ile 2019'dur. Yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 133.7 gündür. 30 yıllık periyotta yağışlı gün sayısı en fazla olan yıl ortalama 158.5 gün ile 2009 iken en az yıl ortalama 95.0 gün ile 2013'dür.

Doğu Karadeniz Havzasında seçilen Meteoroloji İstasyonlarının son 30 yıllık yağışları incelendiğinde, hem yıllık toplam yağış miktarlarında hem de yağışlı gün sayılarında yıllar bazında azalma olduğu görülmektedir (Şekil 2 ve 3).

Yıllık ortalama yağışlı gün sayısında yaşanan azalma eğilimi pearson korelasyon analizi ile desteklenmektedir (r = -0.71).





Şekil 4. a) Yıllık Toplam Yağış Ortalamaları b)Yıllık Toplam Yağışlı Gün Sayısı Ortalamaları

Doğu Karadeniz Havzasında en yüksek miktarda yağış alan dönem sonbahar dönemi (335,2 mm) iken en az miktarda yağış alan dönem yaz dönemidir (192.5 mm). Son 30 yıllık yağışların mevsimlik dağılımına bakıldığında; en fazla yağış azalmasının kış mevsiminde yaşandığı, kış mevsimini sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinin takip ettiği bulunmuştur. Yaz mevsiminde ise hafif bir yağış artışı yaşandığı görülmektedir (Şekil 5). Mevsimlik ortalama yağışlı gün sayıları en fazla olan dönemler sırasıyla; İlkbahar (39.9 gün), kış (35.1 gün), sonbahar (31.2) ve yaz (27.4 gün) şeklindedir. Ortalama yağışlı gün sayılarında tüm mevsimlerde bir azalış var iken en belirgin azalış (r = -0.63 ile) kış mevsimindedir (Şekil 6). Yaz mevsiminde yağışlı gün sayılarında azalma eğilimi var olmasına karşın yağış miktarlarında ise bir artış söz konusudur. Bu olgu dikkate alındığında kısa zamana sıkışan ancak miktarı fazla olan yağışların yaz aylarında görülme olasılığının artabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 5. Doğu Karadeniz Mevsimlik Toplam Yağış Ortalamaları



Şekil 6. Doğu Karadeniz Mevsimlik Toplam Yağışlı Gün Sayısı Ortalamaları

Son 30 yıllık yağışların aylık dağılımına bakıldığında; aylık toplam yağış ortalamalarının en yüksek olduğu aylar sırasıyla Ekim (127.5), Kasım (105.2) ve Eylül (102.4) ayları iken aylık toplam yağış ortalamalarının en az olduğu aylar Temmuz (58.3), Mayıs (63.1) ve Nisan (64.5) aylarıdır (Şekil). Son 30 yıllık yağışlı gün sayılarının aylık dağılımına bakıldığında; yağışlı gün sayısı ortalaması en yüksek olan aylar sırasıyla Mart (13.8 gün), Mayıs (13.1 gün) ve Nisan (13 gün) ayları iken yağışlı gün sayısı ortalamasının en az olduğu aylar sırasıyla Temmuz (8.1 gün), Ağustos (8.3 gün) ve Eylül (9.3 gün) aylarıdır (Şekil 7a, Şekil 7b).



Şekil 7. a) Aylık Toplam Yağış Ortalamaları, b) Aylık Yağışlı Gün Sayısı Ortalamaları

## 3.2. Giresun Yağış Analizi

Giresun ilinde seçilen 22 Meteoroloji İstasyonunun son 5 yıllık (2018-2022) yağışları, aylık ve saatlik olarak analiz edilmiştir. Harita ve grafikte görüldüğü üzere sahile yakın olan istasyonlarda, iç ve yüksek kesimlerdeki istasyonlara göre daha yüksek miktarda yağışlar ölçülmüştür. Yağışlı gün sayılarının alansal dağılımına göre sahile yakın yüksek kesim istasyonlarda yıllık ortalama yağışlı gün sayısı, iç kesimler ve kıyı istasyonlara göre daha fazladır (Şekil 8.a). Şekil 8b'de görüldüğü üzere Görele/Sis Dağı, Bulancak/Serpin Yaylası, Giresun/İnişdibi, Dereli/Tamdere istasyonları en yüksek konumda bulunan istasyonlardır. Bu istasyonlarda yıllık yağışlı gün sayısı ortalama 220 ile en yüksek değere tekabül etmektedir. Giresun'da yıllık ortalama yağış miktarı en yüksek olan meteoroloji istasyonu 2071.1 mm ile Görele/Kuşçulu iken en düşük yağış alan meteoroloji istasyonu 352.4 mm ile Çamoluk istasyonudur (Şekil 9).



Şekil 8. Giresun a) yıllık ortalama yağış miktarı, b)yıllık yağışlı gün sayıları dağılımı



# YILLIK ORTALAMA YAĞIŞ MİKTARI

Şekil 9. Giresun İlinde Yer Alan İstasyonların Yıllık Ortalama Yağış Miktarı

Giresun ilinin yıllık ortalama yağış miktarı 1044.5 mm'dir. Yağışların aylık dağılımına bakıldığında; aylık toplam yağış ortalamalarının en yüksek olduğu aylar sırasıyla; Ocak (128.1 mm), Mart (105.8 mm) ve Eylül (103.4 mm) ayları iken en düşük olduğu aylar sırasıyla Nisan (58.1 mm), Haziran (63.4 mm) ve Ağustos (66.2 mm) aylarıdır (Şekil 10.a). Günlük ortalama 1 mm'den fazla yağış alan günler sayısı en fazla olan aylar sırasıyla Ocak (19.6 gün), Mart (16.2 gün), Haziran (15.8 gün) iken en düşük olan aylar sırasıyla Ağustos (10.6 gün), Nisan (11.0 gün) ve Kasım (11.2 gün) aylarıdır (Şekil 10.b).



Şekil 10. a) Giresun Aylık Toplam Yağış Ortalamaları b)Aylık Ortalama Yağışlı Gün Sayısı (1 mm ve üzeri)

Giresun ilindeki son 5 yıllık yağışların saatlik dağılımına bakıldığında en fazla yağışların; sıcaklıkların en yüksek olduğu ve bu sebeple kararsızlığın da en yüksek olduğu öğle ve akşam saatlerinde yağışların gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 11.a). Saatlik yağışların mevsimsel dağılımına bakıldığında ise kış mevsiminde düzenli yağışlar gerçekleşirken yaz ve bahar aylarında düzensiz, konvektif yağışlar gerçekleşmektedir (Şekil 11.b). Bölgede sel ve taşkınlar en çok bu dönemlerde görülmektedir. Kısa süre içerisinde yüksek miktarda yağışlar düşmektedir.



Şekil 11. Giresun Saatlik Yağış Frekansı a)Yıllık Değerlendirmesi b) Mevsimlik

Saatlik olarak belirli eşik değerlerinin üzerinde gerçekleşen yağış sayılarının aylık ortalamaları incelendiğinde; kış ve bahar aylarındaki saatte 1 mm ve üzerinde gerçekleşen yağış sayısı yaz aylarında gerçekleşen yağış sayısından bir hayli fazladır (Şekil 12).



Şekil 12. Saatte 1 mm ve Üzeri Gerçekleşen Yağış Sayılarının Aylık Ortalamaları

Saatte 5 mm ve üzerinde gerçekleşen yağış sayısı yaz ve güz döneminde kış ve ilkbahar aylarında gerçekleşen yağış sayısından oldukça yüksek olmakla birlikte saatte 10, 15 ve 20 mm üzerindeki yağış sayısı en çok temmuz ve ağustos aylarında gerçekleşmiştir. Bu sonuç, meteorolojik kaynaklı taşkınların yaz aylarında görülmesinin en büyük sebebi olarak gösterilebilir (Şekil 13).



Şekil 13. Saatte 5,10,15 ve 20 mm ve Üzeri Gerçekleşen Yağış Sayılarının Aylık Ortalamaları

Yaz mevsiminde gerçekleşen yağış ortalamaları ile yağışlı gün sayılarının ortalamaları da yıllık dağılımlarla benzer sonuçlar vermektedir. Görele/Kuşçulu istasyonu 300 mm yağış ortalaması ile en yüksek yağış alan istasyondur. Sahil kesimlerden iç kesimlere doğru gidildikçe toplam yağış ortalaması azalmaktadır. Yaz mevsimi yağışlı gün sayısı ortalamaları da ortalama 60 gün ile Kıyı kesimlere yakın yüksek rakımlı istasyonlarda daha yüksektir. En az olduğu alanlar ise karasal istasyonlardır (Şekil 14.a ve Şekil 14.b).



Şekil 14. Giresun a) yıllık ortalama yağış miktarı, b)yıllık yağışlı gün sayıları dağılımı

Giresun ilinde saatte 5 mm ve üzeri yağış sayılarının yıllık ortalamaları ile yaz mevsimi ortalamaları, yıllık yağış ortalamaları ile benzer sonuçlar vermektedir. Kıyı istasyonlardan iç kesimlere gittikçe kuvvetli yağış sayısı azalmaktadır. Yıllık ortalamalar incelendiğinde saatte 5 mm ve üzeri yağış sayısı en fazla Eynesil/Ören ile Görele/Sis Dağı istasyonlarında gerçekleşmiştir. Yaz mevsimi ortalamaları incelendiğinde ise saatte 5 mm ve üzeri yağış sayısı en fazla Eynesil/Ören, Görele/Kuşçulu Köyü ve Tirebolu istasyonlarında gerçekleşmiştir (Şekil 15.a ve Şekil 15.b).



Şekil 15. Giresun saatte 5 mm üzeri gerçekleşen yağış sayılarının dağılımı a) yıllık b)yaz mevsimi

# 3.3. Giresun İlinde Yaşanan Sel Olayları

Doğu Karadeniz'de yaşanan sel ve taşkın olaylarının en çok ilkbahar ve yaz aylarında gerçekleştiği giriş bölümünde belirtilmişti. Giresun ilinde son 10 yılda yaşanan sel olaylarının yıllık ve aylık değişimleri Şekil 15.a ve 15.b'de verilmiştir. Şekilde de görüleceği gibi, Giresun'da yaşanan sel olayları son 10 yıllık periyodun ikinci yarısında ilk yarısına göre önemli ölçüde artış göstermiştir. Aylık dağılımlar incelendiğinde ise, özellikle Haziran ayından itibaren Ekim ayına kadar sel olaylarının sayısında önemli artışlar yaşandığı bulunmuştur. Başka bir ifadeyle, en fazla sel olayının yaz mevsiminde yaşandığı, ayrıca sonbahar aylarında da sel olaylarının devam ettiği görülmüştür (Şekil 16).



Şekil 16. 2013-2022 yılları arasında Giresun ilinde yaşanan sel olaylarının a) yıllık, b) aylık dağılımları (Kaynak: MGM)

# 3.4. Doğu Karadeniz Atmosferindeki Aerosollerin (AOD) Analizi

NASA Aqua uydusu üzerinde bulunan MODIS cihazından alınan AOD verileri ile Doğu Karadeniz atmosferindeki aerosollerin yıllık ve aylık değişimleri analiz edilmiş ve yağışlarla ilişkisi incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, Doğu Karadeniz üzerindeki aerosol konsantrasyonların yıllar bazında hafif azalma eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 17).



Şekil 17. Doğu Karadeniz atmosferi yıllık ortalama AOD değişimi

Doğu Karadeniz atmosferindeki aerosollerin aylık dağılımları incelendiğinde, Mart ile Ağustos ayları arasında, aerosol miktarının daha yüksek olduğu, kış aylarında ise aerosol konsantrasyonlarının azaldığı görülmektedir (Şekil 18).



Şekil 18. Doğu Karadeniz atmosferi aylık ortalama AOD değişimi

Giresun Meteoroloji İstasyonu 2003-2022 dönemi kayıtlarında yer alan "Ortalama Aylık Toplam Yağış Miktarları" ve "Ortalama Aylık Toplam Yağışlı Gün Sayılarının", Giresun ve yakın çevresi atmosferinin (39.9 - 42.1 N, 35.9 - 40.1 E) Aerosol Optik Derinliği (AOD) ortalamaları ile ilişkisi analiz edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda; ilkbahar, sonbahar ve kış aylarında hem aylık toplam yağışların hem de aylık yağışlı gün sayılarının atmosferde bulunan aerosollerle anlamlı bir ilişkisinin bulunmadığı görülmüştür. Doğu Karadeniz ve Giresun'da sel ve taşkınların daha fazla yaşandığı yaz ayları için yapılan hesaplamalarda, atmosferde bulunan aerosollerin hem yağış miktarlarıyla hem de yağışlı gün sayılarınıla orta düzeyli ilişkisi tespit edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Giresun Meteoroloji İstasyonu yağışları ile Aerosol Optik Derinliği (AOD) verileri arasında hesaplanan korelasyon katsayıları.

AOD ile Korelasyon	İlkbahar	Kış	Sonbahar	Yaz
Ort. Aylık Toplam Yağış	0,0924	-0,3581	-0,0203	0,4918
Ort. Aylık Toplam Yağışlı Gün Sayısı	-0,0811	-0,1266	0,0501	0,4681

## 3.5. Doğu Karadeniz Deniz Suyu Sıcaklıklarının (SST) Analizi

Verileri düzenli olan Giresun ve Hopa Meteoroloji İstasyonlarına ait 1993-2022 yılları arası ölçülen Deniz Suyu Sıcaklıkları (SST) ile NASA Aqua uydusu üzerinde bulunan MODIS cihazından alınan deniz yüzeyi sıcaklık verileri analiz edilerek, Doğu Karadeniz deniz suyu sıcaklıklarının yıllık ve aylık değişimleri analiz edilmiş ve yağışlarla ilişkisi incelenmiştir. Yapılan hesaplamalara göre Giresun ve Hopa Meteoroloji istasyonlarının deniz suyu sıcaklıklarının yıllar bazında artış gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 19.a ve Şekil 19.b). Giresun istasyonunda son 30 yılda yaz mevsimi deniz suyu sıcaklığındaki artış yaklaşık 4.0 °C'ye ulaşırken, Hopa istasyonunda ölçülen sıcaklıklar 2.5 °C civarında artmıştır. NASA Aqua-MODIS uydusu ile 2003-2022 dönemini kapsayan deniz yüzeyi sıcaklıklarının ölçümlerine göre ise Doğu Karadeniz'in son 20 yılda 1.0 °C'nin üzerinde ısındığı tespit edilmiştir (Şekil.20).



Şekil 19.a Giresun İli Yaz Dönemi Yıllık Ortalama Deniz Suyu Sıcaklığı (SST) Değişimi



Şekil 19.b Hopa İstasyonu Yaz Dönemi Yıllık Ortalama Deniz Suyu Sıcaklığı (SST) Değişimi



Şekil 20. NASA Aqua-MODIS uydusu Doğu Karadeniz Yaz Dönemi Yıllık Ortalama Deniz Suyu Sıcaklıkları (SST) Değişimi

Doğu Karadeniz deniz suyu sıcaklıklarında yaşanan artışın karasal etkilerinin incelenmesi için Giresun Meteoroloji istasyonu 1993-2022 dönemi sıcaklık parametreleri analiz edilmiştir. Giresun'da sel ve taşkınların daha fazla yaşandığı yaz ayları için yapılan hesaplamalarda, Yaz Mevsimi Yıllık Ortalama Hava Sıcaklığının yaklaşık 2.0 °C arttığı görülmüştür. Son 30 yılda yaz mevsiminde yaşanan sıcaklık artışları; Ortalama Maksimum Hava Sıcaklıklarında 2.5 °C, Ortalama Minimum Hava Sıcaklıklarında ise 2.0 °C civarında hesaplanmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. Giresun İli Yaz Mevsimi Yıllık Ortalama, Ortalama Maksimum ve Ortalama Minimum Hava Sıcaklıkları ile Deniz Suyu Sıcaklığı (SST) Değişimi

Yaz mevsimi deniz suyu sıcaklıklarının hem yağış miktarlarıyla hem de yağışlı gün sayılarıyla korelasyonları hesaplanmış, ancak anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. SST ile ortalama yağış miktarları arasında tüm mevsimlerde anlamlı bir korelasyon hesaplanmazken, yağışlı gün sayıları ile hesaplanan korelasyonlara göre, yaz mevsiminde doğrusal, ilkbahar mevsiminde ise ters yönlü orta düzeyli istatistikler hesaplanmıştır (Tablo 4.)

Tablo 4. Giresun Meteoroloji İstasyonu yağışları ile Deniz Suyu Sıcaklıkları (SST) arasında hesaplanan korelasyon katsayıları.

SST ile Korelasyon	İlkbahar	Kış	Sonbahar	Yaz
Ort. Aylık Toplam Yağış	-0,0738	0,0848	-0,1719	0,1157
Ort. Aylık Toplam Yağışlı Gün Sayısı	-0,5038	-0,3810	-0,2106	0,4548

## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Doğu Karadeniz Havzasında seçilen 10 istasyonun verisi ile 1993-2022 periyodu için yapılan hesaplamaya göre; yıllık toplam yağış ortalaması 1000.2 mm olarak bulunmuştur. Yıllık ortalama yağışlı gün sayısı ise 133.7 gün olarak hesaplanmıştır. Yıllar bazında yapılan hesaplamalarda, hem yıllık toplam yağış miktarının hem de yağışlı gün sayılarının azaldığı görülmektedir. Yıllık ortalama yağışlı gün sayısında yaşanan anlamlı azalma eğilimi pearson korelasyon analizi ile desteklenmektedir.

Yapılan mevsimlik analizlere göre, bölgede en fazla yağış kış mevsiminde, en az yağış ise yaz mevsiminde olmaktadır. Yağışlı gün sayıları incelendiğinde ise yağışlı günlerin 39.9 gün ile en çok ilkbaharda yaşandığı, bu mevsimi sırasıyla kış (35.1 gün), sonbahar (31.2) ve yaz (27.4 gün) mevsimlerinin takip ettiği görülmüştür.

Yağışların mevsimlik eğilim analizlerine göre; yıllar bazında mevsimlik toplam yağış miktarlarının yaz mevsimi dışında azalma eğiliminde olduğu, yaz mevsiminde ise hafif bir yağış artışı yaşandığı bulunmuştur. En fazla yağış azalması kış mevsimindedir. Mevsimlik ortalama yağışlı gün sayılarında da, toplam yağışlara benzer şekilde azalma eğilimi göstermektedir. En belirgin azalma eğilimi kış mevsiminde, en düşük azalma trendi yaz mevsiminde hesaplanmıştır.

Giresun ilinde seçilen 22 Meteoroloji İstasyonunun 2018-2022 dönemi saatlik yağış verileri incelendiğinde, kıyı şeridinde ve alçak rakımda bulunan istasyonların yıllık toplam yağışlarının daha

yüksek olduğu, iç kesimlerde ve yüksek rakımlarda bulunan istasyonların yağışlarının ise daha düşük olduğu görülmektedir.

Giresun ilinin yıllık ortalama yağış miktarı 1044.5 mm'dir. Kış aylarında daha yüksek yağış miktarları ölçülürken, en düşük yağış miktarları yaz aylarında ölçülmektedir. Yağışlı gün sayılarının aylık dağılımı daha homojen olmakla birlikte kış ayları yağışlı gün sayıları diğer aylara göre daha fazla bulunmuştur.

Yağışların gün içindeki dağılımları dikkate alındığında, hava sıcaklığının en yüksek olduğu öğleden sonra ve akşam saatlerinde yağış miktarlarının da yüksek olduğu görülmektedir. Bu dağılım konvektif yağışların ve sel olaylarının daha fazla görüldüğü yaz ve sonbahar aylarında yaşanmaktadır. Kış yağışlarının gün içinde homojen dağıldığı bulunmuştur.

Saatlik yağışlar belirli eşik değerler belirlenerek incelendiğinde; 1 mm ve üzerinde gerçekleşen yağış sayıların kış aylarında çok daha fazla olmasına rağmen, saatlik 5, 10, 15 ve 20 mm üzerindeki yağışlarda dağılımın değiştiği tespit edilmiştir. Saatlik 5 mm ve üzerinde kayıt edilen yağışlar, sel olaylarının daha fazla yaşandığı yaz ve sonbahar aylarında daha fazla görülmektedir.

Literatürde de belirtildiği gibi, Doğu Karadeniz Havzasında hem en düşük ortalama yağış miktarlarının hem de en az yağışlı gün sayılarının yaz mevsiminde yaşanmasına rağmen, en fazla sel ve taşkın olayı da yaz mevsiminde gerçekleşmektedir.

Giresun ilinde son 10 yılda yaşanan sel olaylarının yıllık ve aylık dağılımları incelendiğinde; 2018 yılından itibaren sel olay sayılarında büyük artış yaşandığı ve sellerin büyük çoğunlukla yaz aylarında gerçekleştiği, sayısal olarak azalmakla birlikte sonbahar aylarında da devam ettiği tespit edilmiştir.

2003-2022 periyodu NASA Aqua-MODIS Aerosol Optik Derinliği (AOD) ölçümlerine göre, Doğu Karadeniz atmosferinde bulunan aerosollerin miktarında yıllar bazında azalma yaşandığı görülmüştür. Aerosollerin aylık dağılımları incelendiğinde, ilkbahar ve yaz aylarında atmosferde daha yoğun aerosol bulunduğu görülmüştür.

Atmosferde bulunan aerosollerin yağışlarla ilişkisinin incelenmesi için yapılan korelasyon hesaplamalarında; yaz ayları dışında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Doğu Karadeniz ve Giresun'da sel ve taşkınların daha fazla yaşandığı yaz ayları için yapılan korelasyon hesaplamalarında, atmosferde bulunan aerosollerin hem yağış miktarlarıyla hem de yağışlı gün sayılarıyla orta düzeyli ilişkisi tespit edilmiştir.

Giresun Meteoroloji İstasyonunda son 30 yılda ölçülen Deniz Suyu Sıcaklıklarının (SST) yaklaşık 4.0 °C arttığı bulunmuştur. Hopa Meteoroloji İstasyonunda yapılan ölçümlere göre ise bu ısınma yaklaşık 2.5 °C civarında olmuştur. NASA Aqua-MODIS uydusunun 2003-2022 yılları arasında Doğu Karadeniz'de ölçülen deniz yüzeyi sıcaklıklarının son 20 yılda 1.0 °C'nin üzerinde ısındığı tespit edilmiştir.

# 5. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Türkiye'nin de içinde yer aldığı Doğu Akdeniz Havzası, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) güncel öngörülerine göre iklim değişikliğine en duyarlı alanlardan biridir. IPCC'nin son değerlendirme raporunda iklim değişikliğinin sonucu olarak; sıcak hava dalgaları, şiddetli yağışlar ve kuraklık gibi ekstrem hava olaylarının şiddeti ve sıklığının artacağı belirtilmektedir.

Son yıllarda, Doğu Karadeniz ve Giresun'da yağışlarda yaşanan değişimler, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) içinde yer aldığımız Doğu Akdeniz Havzasında beklenen sıcaklık ve yağış öngörüleri ile uyumludur.

Karadeniz Bölgesinin doğusunda ve Giresun özelinde, yıllık ortalama yağış miktarları ve yağışlı gün sayıları azalmasına rağmen, yaşanan sel olaylarının sayısı ve şiddeti artmaktadır. Özellikle yaz mevsiminde yaşanan sellerin, sayısı azalmasına rağmen sonbahar mevsiminde de devam ettiği görülmektedir.

Yağışlar ile atmosferdeki aerosol miktarı ve deniz suyu sıcaklıkları arasındaki ilişki incelenmiş, sellerin artış gösterdiği periyotta atmosferdeki aerosol miktarlarında önemli bir değişiklik bulunmamıştır. Aerosol miktarında Giresun ve çevresi atmosferinde yıllar bazında zayıf bir azalma eğilimi görülmüş, yaz mevsimi yıllık ortalama yağış miktarları ve yağışlı gün sayıları ile orta düzeyli korelasyonlar hesaplanmıştır. Genel bir değerlendirme olarak, atmosferde bulunan aerosollerin yağışlara olumlu ya da olumsuz bir etkisi bulunmamıştır.

Doğu Karadeniz deniz suyu sıcaklıklarının, özellikle sellerin daha yoğun yaşandığı yaz mevsiminde son 30 yılda 2.5-4.0 °C arasında arttığı görülmüştür. Uydu gözlemlerinde de deniz yüzeyi sıcaklıklarında son 20 yılda 1.0 °C'nin üzerinde sıcaklık artışı yaşandığı tespit edilmiştir. Deniz suyu sıcaklıklarında yaşanan artışın, Karadeniz'de oluşan alçak basınç merkezlerinin ve konvektif yağışların şiddetini artırdığı değerlendirilmektedir. Deniz suyu sıcaklıklarında görülen artışın bölgedeki yerel şartlarda nem takviyesi artışı ile birlikte özellikle konvektif sistemlerde gerçekleşen yağış miktarlarında artış olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle yaz aylarında yoğunlaşan kuvvetli yağış miktarlarının olduğu hava olaylarında bölgede yer seviyesinde belirgin bir "Alçak Basınç Merkezi" hareketinin olmadığı daha ziyade yer seviyesi ile üst atmosfer arasındaki şartlar nedeniyle "kararsızlık" kaynaklı yağışlar olduğu gözlemlenmektedir. Normalin üzerindeki deniz suyu sıcaklıkları ise bu kararsız atmosfer koşullarının daha da kuvvetlenmesine neden olmaktadır.

Yukarıda açıklanan nedenlerle, önümüzdeki yıllarda da Karadeniz'in doğusunda sel ve taşkınlara neden olan kuvvetli yağışların daha şiddetli ve sık yaşanması sürpriz olmayacaktır. Deniz suyu sıcaklık artışının yağışlarla olan ilişkisinin daha ayrıntılı incelenmesi yararlı olacaktır.

#### KAYNAKLAR

- [1] 2021 Yılı Meteorolojik Afetler Değerlendirmesi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Meteorolojik Afetler Şube Müdürlüğü, 2022, Ankara. https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/raporlar/afetlerraporu2021.pdf
- [2] Allan, R. P., Hawkins, E., Bellouin, N., & Collins, B. (2021). IPCC, 2021: Summary for Policymakers.,
- [3] Avcı V, Sunkar M, Giresun'da Sel ve Taşkın Oluşumuna Neden Olan Aksu Çayı ve Batlama Deresi Havzalarının Morfolojik Analizi, Coğrafya Dergisi, Sayı 30, Sayfa 91-119, İstanbul, 2015
- [4] Bekdemir, Ü, Ertürk, M ve Güner, İ, Giresun Tarihi Coğrafyası, Doğu Coğrafya Dergisi Sayı: 4, sayfa 1-19, Erzurum, 2000
- [5] Bimenyimana, S., Continuous Real-Time Measurement of the Chemical Composition of Submicron Aerosol Particles in Kigali City Using Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM), Doctoral dissertation, University of Rwanda, 2018.
- [6] Bozkurt, D. and O.L. Sen Precipitation in the Anatolian Peninsula: Sensitivity to increased SSTs in the surrounding seas, 2009
- [7] Bozkurt, D. and O.L. Sen, Climate change impacts in the Euphrates Tigris Basin based on different model and scenario simulations.vJournal of Hydrology, 2012.
- [8] Chou, C. C.-K., Lin, C.-Y., Chen, T.-K., Hsu, S.-C., Lung, S.-C., Liu, S. C., Young, C.-Y., Influence of Long-Range Transport Dust Particles on Local Air Quality: A Case Study on Asian Dust Episodes in Taipei during the Spring of 2002, Terrestrial, Atmos. and Oceanic Sciences, 15(5), (2004) 881-899.
- [9] Çeribaşı G, Şen Yöntemi ve Trend Yöntemleri Kullanılarak Doğu Karadeniz Havzasının Yağış Verilerinin Analiz Edilmesi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1): 254-264, 2019.

- [10] DKMP, Doğu Karadeniz Master Plan Raporu, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, 2016.
- [11] Dündar C., "Büyük Akdeniz Havzasında Kum ve Toz Fırtınalarının İncelenmesi ve Türkiye'yi Etkileyen Toz Kaynak Bölgelerinin Belirlenmesi", (2019), Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- [12] Efimov VV, Stanichnyi SV, Shokurov MV, Yarovaya DA (2008)Observations of a quasi-tropical cyclone over the Black Sea.Russ Meteorol and Hydrol 33(4):233–239.
- [13] Gürgen G, Doğu Karadeniz Bölümü'nde Maksimum Yağışlar ve Taşkınlar Açısından Önemi, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı 2 79-92, 2004.
- [14] Lenderink G, van Meijgaard E, Selten F (2008) Intense coastalrainfall in the Netherlands in response to high sea surfacetemperatures: analysis of the event of August 2006 from theperspective of a changing climate. Clim Dyn.
- [15] Kalıpcı, E., Başer, V., Türkmen, M., Genç, N. & Cüce, H. . Türkiye Kıyılarında Deniz Suyu Sıcaklık Değişiminin CBS ile Analizi ve Ekolojik Etkilerinin Değerlendirilmesi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7 (2), 278-288, 2021.
- [16] MGM Toz Taşınımı Tahmini Bilgi Notu, Son Kontrol: 19.07.2023. https://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/toz\_modeli\_bilgi\_notu.pdf,
- [17] Myhre, G., Myhre, C. E.L., Samset, B. H., Storelvmo, T., Aerosols and their Relation to Global Climate and Climate Sensitivity. Nature Education Knowledge, (4(5):7), 2013.
- [18] Nasa Earth Observations Web Sayfası, Son Kontrol: 19.07.2023. https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MODAL2\_M\_AER\_OD,
- [19] Özcan Ö, Sel Olayı ve Türkiye, GÜ, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 26, Sayı 1, 35-50, 2006.
- [20] Pekin, M., Oğuz, K., Omak, İ., Dündar, C., Öz, N., CAMS AOD Ürünlerinin MODIS AOD Verileri ile Verifikasyonu, IV. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu, Antalya, 2019
- [21] Pfeifroth, U., Bojanowski, J. S., Clerbaux, N., Manara, V., Sanchez-Lorenzo, A., Trentmann, J., Walawender, J. P., and Hollmann, R., 2018: Satellite-based trends of solar radiation and cloud parameters in Europe, Adv. Sci. Res., 15, 31–37, 2018.
- [22] Roebeling, R., Trentmann, J., Pfeifroth, U., & Chatterjee, C. T., "How satellitebased climate data records support our understanding of the impact of cleaner air on the Earth's climate", More sunshine in Europe due to cleaner air, 2022. https://www.eumetsat.int/more-sunshine-in-europe-due-to-cleaner-air.

- [23] Schepanski, K., Transport of Mineral Dust and Its Impact on Climate. Geosciences, 8(5), (2018) 151.
- [24] Uzun A, Doğu Karadeniz Kıyı Kuşağında Coğrafi Yapı ve Sel İlişkisi, TMMOB Afet Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 387-393, Ankara, 5-7, 2007.
- [25] Türkeş, M. El Niño-Güneyli Salınım ekstremleri ve Türkiye'deki yağış anomalileri ile ilişkileri (Extremes of the El Niño-Southern Oscillation and their connections with rainfall anomalies in Turkey). Çevre, Bilim ve Teknoloji, Teknik Dergi, 1: 1-13.2000.
- [26] Yüksek Ö, Anılan, T, Akçalı, E, A1 Afet Sorunsalı/Doğu Karadeniz Havzası Taşkın Yönetimi, Taşkın Yönetimi, Doğu Karadeniz Çevre Tartışmaları", Livre de Lyon, Lyon, 2021
- [27] Yüksek Ö, Babacan H T, Yüksek O, Doğu Karadeniz Havzası'nda Taşkın Sebepleri, Zararları ve Taşkın Yönetimi Çalışmaları, Türk Hidrolik Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, Sayfa 36-46, 2022.
- [28] Zuo, Z. Y., and R. H. Zhang, 2012, The anomalies of spring rainfall in eastern China and its relation with tropical Pacific SST and Eurasian snow. Chin. J. Atmos. Sci., 36, 185– 194, 2012.

# Aqua Uydusu MODIS Sensörü Verilerine LSTM Tekniği Uygulanarak Türkiye için Ortalama AOD Değerlerinin Tahmin Edilmesi

Emre Can AY Meteoroloji Genel Müdürlüğü Çevre Şube Müdürlüğü Ankara ecay@mgm.gov.tr

M. Ali PEKİN Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü Erzurum mapekin@mgm.gov.tr

Akif MAMUR Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü Erzurum amamur@mgm.gov.tr

# ÖZET

İklim değişikliği ile beraber toz taşınımı sayısı ve şiddeti artmaktadır. Bu yüzden toz taşınımının modellenmesi gittikçe önem kazanmaktadır. Toz taşınımı toz taşınımı modelleri ile tahmin edilebilmektedir. Yapay sinir ağları toz taşınımı modellerine iyi bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Toz gözlemi ise ağırlılklı olarak uydulardan sağlanmaktadır. Bu uyduların verileri hem modellerde girdi olarak kullanılmakta hemde toz taşınımının izlenmesi için kullanılmaktadır. Bu çalışmada Aqua uydusu Türkiye günlük ortalama AOD verileri LSTM yapay sinir ağı ile modellenmiştir. Bu maksatla 12 adet farklı senaryo ile LSTM ağları oluşturulmuştur. Ağlar hem bir biri ile hemde MGM'nin ECMWF'nin CAMS modeli ile yaptığı verifikasyonun raporları ile kıyaslanmıştır. Sonuçta 0,746 korelasyonla AOD modellenmiştir.

Anahtar Kelimeler — AOD; LSTM; Yapay Sinir Ağları; MODIS; Uydu; Toz Taşınımı

## 1. GİRİŞ

Türkiye Sahra ve Irak-Suriye bölgesinden gelen çöl tozlarından etkilenmektedir. İklim değişikliği ile beraber toz taşınımı sayısı ve şidetinde artma beklenmektedir. Toz taşınımı uydu görüntüleri ile izlenmekte ve modeller yardımı ile tahmin edilmektedir. Toz taşınımı sıklıkla Aerosol Optik Derinliği (AOD) denilen birimsiz bir değer ile ölçülmektedir [1].

En başarılı modellerden biri CAMS olup Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) toz taşınımı tahminlerini CAMS ile yapmaktadır. Ayrıca bu modelin verifikasyonunu MODIS AOD ürünleri ile yıllık düzenli olarak yapmakta ve web sitesinden yayınlamaktadır [2,3].

MODIS NASA'nın Aqua ve Terra uyduları üzerinde yer alan meteorolojik amaçlı bir sensör olup küresel ölçekte meteorolojik gözlem yapabilmektedir. Bu sensör günde bir defa AOD gözlemide yapmaktadır. Bu ürünler NASA'nın GIOVANNI sitesinde yayınlanmaktadır [4].

Son yıllarda yapay sinir ağlarının (YSA) meteoroloji alanında kullanımı artmaktadır. YSA tekniklerinden biride Uzun Kısa Süreli Hafıza (LSTM) olup zaman serisi tahminlerinde verimli biçimde çalışmaktadır [3].

Bu çalışmada LSTM ağı ile Türkiye için ortalama AOD verisi modellenmiştir. 12 ayrı senaryo oluşturulmuş ve girdi olarak Aqua uydusu MODIS verisi kullanılmıştır. Sonuçlar hem birbiri ile hemde MGM'nin CAMS ile yaptığı verifikasyon sonuçları ile kıyaslanmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 2.1. Çalışma Alanı ve Veri

Çalışma alanı olarak Türkiye seçilmiştir. Veriler NASA GIOVANNI sitesinde alınmış olup Türkiye'nin günlük ortalama AOD verilerini temsil etmektedir. Datalar NASA Aqua uydusunun MODIS sensöründen üretilen AOD ürünleri olup dosyaları "MYD08\_D3\_6\_1\_AOD\_550\_Dark\_Target\_Deep\_Blue\_Combined\_Mean" başlığı ile NASA'nın GIOVANNI web sitesinden paylaşılmaktadır. Veriler 1 Ocak 2003 tarihinde başlayıp 31 Aralık 2022 tarihleri arasını kapsayıp toplamda 20 yıllık veri olup 7289 satırdan oluşmaktadır. Veri setinde her bir satır Türkiye'nin bir günlük ortalama AOD değerini temsil etmektedir.

#### 2.2. Uzun Kısa Vadeli Hafıza Ağları (LSTM)

LSTM, uzun vadeli bağımlılıkları öğrenebilen özel bir tekrarlayan sinir ağıdır. Bu ağlar oldukça sık biçimde kullanılmaktadır. Bu ağda önceki verileri tanjant hiperbolik fonksiyonu ile unutarak

veya hatırlayarak zaman serisi ile sonraki adımları tahmin edebilmek üzerine tasarlanmıştır. LSTM sinir hücresinin topolojisi şekil 1'de gösterilmiştir [5].



Şekil 1: LSTM sinir hücresi [5].

YSA modelleri oluşturulurken bazı hiperparametrelerin tanımlanması gerekir. Bu hiperparametreler tanımlanırken zorunlu bir kural bulunmamaktadır. Çalışmamızda deneme yanılma yöntemi ile katman sayısı, epoch sayısı ve geri bakış sayılarından (gün sayısı) oluşan senaryolar belirleyerek toplamda 12 adet model oluşturulmuş ve bunlar hem birbiri ile hem de ECMWF CAMS modeli AOD verifikasyonu sonuçları ile kıyaslanmıştır. Diğer önemli hiperparametreler olan Decay ve öğrenme oranı değerleri Keras'ın default değerleri kullanılmıştır. Modelde verinin rastgele %68'i eğitim, %32'si test datası olarak kullanılmıştır. Ağırlıklar Adam Solver ile optimize edilmiştir. Senaryolar Tablo 1'de verilmiştir.

Senaryo	Katman	Epoch	Look Back
1	5	30	30
2	5	30	180
3	5	30	360
4	5	60	30
5	5	60	180
6	5	60	360
7	10	30	30
8	10	30	180
9	10	30	360
10	10	60	30
11	10	60	180
12	10	60	360

1 <i>ubio</i> 1. <i>Senui</i> yoiu	Tablo	)1:	Senarvol	lai
------------------------------------	-------	-----	----------	-----

## 2.3. Değerlendirme Kriterleri

Literatüre girmiş çok sayıda değerlendirme kriteri bulunmaktadır. Çoğunlukla regresyon çalışmalarında tek bir değerlendirme kriterinin kullanımı yeterli olamamaktadır. Bu çalışmada da iyi bir değerlendirme için en sık kullanılan değerlendirme kriterleri olan belirtme katsayısı, korelasyon katsayısı, Symetric Mean Absolute Percentege Error (SMAPE1), Root Mean Squarrer
Error (RMSE) ve Mean Error (ME) kullanılmıştır. R için en iyi skor -1,1 arası iken R2 için 1, SMAPE1, RMSE ve ME için 0 olup denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$R_{Pearson} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O})(S_i - \overline{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (S_i - \overline{S})^2}}$$
$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O})(S_i - \overline{S}))^2}{\sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O})^2 \sum_{i=1}^{n} (S_i - \overline{S})^2}$$
$$sMAPE1 = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{|S_i - O_i|}{|S_i| + |O_i|}$$
$$RMSE = (\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n} (S_i - O_i)^2)^{\frac{1}{2}}$$

 $\mathrm{ME} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n} (S_i - O_i)$ 

## 2.5. Kullanılan Yazılımlar

Çalışma Python ile geliştirilmiş kodlarla yürütülmüştür. LSTM modeli Keras ile oluşturulmuş, değerlendirme metrikleri HYDROErr kütüphanesi ile hesaplanmıştır. Kodlar EK 1'de verilmiştir.

## 3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tablo 2'de model sonuçları verilmiştir. Tabloya göre modeller tatmin edici sonuçlar vermiştir. Tabloya göre en başarılı senaryo 4 adet test istatistiğinde en iyi değeri veren 1 nolu senaryodur. Bu senaryo 0,746 korelasyon göstermiştir. Bu senaryo test veri seti ile belirtme katsayısına göre %55 oranında tutarlılık göstermektedir. ME değerine göre bir ortalama -0,0008 oranında daha düşük tahmin yapmaktadır.

	Rpea	rson	R	2	SMA	PE1	Μ	E	RM	ISE
Senaryo	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
1	0,697	0,746	0,486	0,556	11,40	11,36	-0,0026	-0,0008	0,0711	0,0605
2	0,701	0,744	0,492	0,554	11,36	11,44	-0,0023	-0,0010	0,0701	0,0612
3	0,700	0,744	0,489	0,554	12,51	12,32	0,0168	0,0184	0,0730	0,0637
4	0,698	0,743	0,488	0,552	11,41	11,40	0,0001	0,0021	0,0708	0,0606
5	0,701	0,742	0,491	0,551	11,51	11,62	0,0017	0,0025	0,0702	0,0615
6	0,701	0,744	0,492	0,553	11,57	11,43	0,0014	0,0026	0,0707	0,0610
7	0,698	0,744	0,487	0,554	11,36	11,37	-0,0029	-0,0011	0,0710	0,0605
8	0,702	0,743	0,492	0,552	11,36	11,47	-0,0021	-0,0009	0,0700	0,0613

Tablo 2: Model sonuçları (Kalın en iyi sonuçları gösterir

9	0,698	0,743	0,487	0,552	11,87	11,57 0,0024	0,0037	0,0712	0,0613
10	0,699	0,744	0,489	0,553	11,41	11,50 0,0006	0,0024	0,0707	0,0606
11	0,708	0,744	0,502	0,554	11,37	11,74 -0,0005	0,0008	0,0695	0,0613
12	0,699	0,741	0,488	0,548	11,67	11,52 0,0008	0,0024	0,0710	0,0614

Şekil 2'de senaryo 1'in saçılım grafikleri verilmiştir.



Şekil 2: Senaryo 1 Saçılım grafikleri (Solda eğitim Sağda test veri seti ile)

Bu çalışma Türkiye için grid bazlı yapılsa idi daha yüksek skor elde edilmesi beklenirdir. Ayrıca çalışmada girdi olarak önceki geriye doğru AOD değerleri girdi olarak kullanılmış ve sonraki değer çıktı olarak modellenmiştir. Eğer bu çalışmada AOD için önemli olan rüzgar hızı, yağış vb meteorolojik parametreler girdi olarak kullanılsa idi daha yüksek başarı beklenirdi. Ayrıca Türkiye içinde sürekli toz kaynak alanı bulunmayıp toz taşınımı Sahra ve Irak- Suriye bölgesinden gelmektedir. Bu yüzden bu bölgelerin AOD ve meteroolojik parametreleri senaryolara girdi olarak kullanılsa idi daha yüksek korelasyon oluşması beklenirdi.

ECMWF CAMS modeli 2021 yılında 0.829, 2020 yılında 0,751 ve 2019 yılında 0,834 korelasyon göstermiştir. CAMS modeline göre LSTM modeli daha düşük performans gösterdiği anlaşılmaktadır. LSTM modelinin daha başarısız olmasının sebebi LSTM senaryoları oluşturulurken meteorolojik parametrelerinin görmezden gelinmesi ve Türkiye için tek bir değer üretilmesi olabilir. LSTM modeli grid bazlı çalışacak ve meteorolojik parametrelerin tamamı kullanılacak biçimde tasarlansa idi CAMS modeli ile benzer veya daha iyi sonuçlar üretmesi beklenirdi.

Elde edilen bulgulara göre YSA toz taşınımı modellemesinden etkili biçimde kullanılabilir. Araştırmacılara bu çalışmayı grid bazlı ve diğer meteorolojik parametreleri kullanarak yeniden yapmalarını tavsiye ederiz.

#### KAYNAKLAR

[5] Özkan, S. (2021). SAHRA VE ORTADOĞU KAYNAKLI ÇÖL TOZLARININ TÜRKİYE'DEKİ EKOSİSTEMLERE ETKİSİ . Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi , 9 (28), 413-426. DOI: 10.33692/avrasyad.994338

[6] Oğuz, K. & Pekin, M. A. (2016). Türkiye'de Toz Emisyon Alanlarının Belirlenmesi . Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi , 31 (4) , 0-0 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/26447/278448

[7] Web sitesi: http://sdswa.mgm.gov.tr/ Son erişim: 26.09.2023

[8] Web sitesi : https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/ Son erişim: 26.09.2023 Sevinç, A. & Kaya, B. (2021).

[9] Derin Öğrenme Yöntemleri ile Sıcaklık Tahmini: Diyarbakır İli Örneği . Computer Science 5th International Artificial Intelligence and Data Processing symposium , 217-225 . DOI: 10.53070/bbd.990966

[10] Web sitesi: https://medium.com/bili%C5%9Fim-hareketi/uzun-k%C4%B1sa-vadelihaf%C4%B1za-a%C4%9Flar%C4%B1-lstm-95cbe7d51b44 Son erişim: 26.09.2023

## EK 1:

# @yazar :M. Ali PEKİN # mapekin@mgm.gov.tr # Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü (Erzurum) import numpy as np import pandas as pd import tensorflow as tf from tensorflow.keras.models import Sequential from tensorflow.keras.lavers import Dense from tensorflow.keras.layers import LSTM import HydroErr as he # Veri setini Model Girdisi Olarak Oluşturma Fonksiyonu def create\_dataset(dataset, look\_back=1): dataX, dataY = [], [] for i in range(len(dataset)-look\_back-1): a = dataset[i:(i+look\_back)] dataX.append(a) dataY.append(dataset[i + look back]) return np.array(dataX), np.array(dataY)

# Model verifikasyon fonksiyonu
def evaluate(tst,trn):
 r=he.pearson\_r(tst, trn)
 rs=he.r\_squared(tst, trn)
 mer=he.me(tst, trn)
 smp1=he.smape1(tst, trn)
 rms=he.rmse(tst, trn)

return(pd.DataFrame({"r":[r],"rs":[rs],"smape1":[smp1],"me":[mer],"rmse":rms}))

```
# Girdi dosyasını oku
dataset2 = pd.read_excel("girdi.xls",sheet_name="girdi")
dataset = np.array(dataset2.aod)
```

tf.random.set\_seed(7)

# veri setini eğiitim ve test olarak böl
train\_size = int(len(dataset) \* 0.67)
test\_size = len(dataset) - train\_size
train, test = dataset[0:train\_size], dataset[train\_size:len(dataset)]
print(len(train), len(test))

# Senaryo oluştur sn=12 lyr=10 ep=60 look\_back=360

# veri setini X=t ve Y=t+1 dönüştürür
trainX, trainY = create\_dataset(train, look\_back)
testX, testY = create\_dataset(test, look\_back)

# reshape input to be [samples, time steps, features] trainX = np.reshape(trainX, (trainX.shape[0], trainX.shape[1],1)) testX = np.reshape(testX, (testX.shape[0], testX.shape[1],1))

# LSTM modeli oluştur ve modeli eğit model = Sequential() model.add(LSTM(lyr, input\_shape=(look\_back,1))) model.add(Dense(1)) model.compile(loss='mean\_squared\_error', optimizer='adam') model.fit(trainX, trainY, epochs=ep, batch\_size=1, verbose=2)

# Tahmin yap
trainPredict = model.predict(trainX)
testPredict = model.predict(testX)

# Verifikasyon yap
EvaTrain=evaluate(trainPredict[:,0],trainY)
EvaTest=evaluate(testPredict[:,0],testY)

```
# Sonuçları kaydet
ckt=pd.DataFrame({"Gerçek":trainY,"Tahmin":trainPredict[:,0]})
ckt.to_csv("cikti/tr_"+str(sn)+".csv",index=False)
```

```
ckt=pd.DataFrame({"Gerçek":testY,"Tahmin":testPredict[:,0]})
ckt.to_csv("cikti/ts_"+str(sn)+".csv",index=False)
```

# Meteoroloji Radarları: Sel Afetinde Bir saat Erken İhbar, Yangın Afetinin Canlı İzlenmesi

## Emre Çiftçibaşı RST A.Ş Ankara eciftcibasi@rstteknoloji.com.tr

### Abdullah Alimran

RST A.Ş Ankara alimran@rstteknoloji.com.tr

# Eray Mete Zeray

RST A.Ş Ankara mzeray@rstteknoloji.com.tr

Tahur Sırçacı RST A.Ş Ankara tsircaci@rsttenoloji.com.tr

# Öznur Durulmuş

RST A.Ş Ankara odurulmus@rstteknoloji.com.tr

## **K. Elif Tozkoparan** RST A.Ş Ankara ktozkoparan@rstteknoloji.com.tr

# Bamoye Maiga

RST A.Ş Ankara bmaiga@rstteknoloji.com.tr

# ÖZET

Bu makale, Hidro-Meteorolojik Afetlerde Erken Uyarı sağlanması kapsamında meteoroloji radar sistemlerinde yer alması gereken yetenekler anlatılmaktadır. Alev merkezini tespit etmek için tarla ve orman yangınlarının neden olduğu alçak irtifa duman bulutlarının tespitine ve rüzgarla hareketlerinin izlenmesine yönelik gereklilikler ikinci bölümde anlatılmaktadır. Benzer şekilde sele yol açabilecek bulutların algılanması ve bir saate kadar erken uyarı sağlayabilecek orta mesafeden sel riskinin hesaplanması da üçüncü bölümde yer almaktadır. Makalenin Sonuçlar bölümünde ise, rüzgarların radar görsel yeteneğine entegre edilmiş afet haritaları ve çevresel parametrelerle, yangının/selin yayılmasına yönelik sahada çalışan acil durum ekiplerine afet süresince sağlanabilecek karar destek gereksinimleri yer almaktadır.

Anahtar kelimeler: Radar, acil durum, afet, uyarı, yangın, su baskını

# 1. GİRİŞ

2012 yılında kurulan RST A.Ş., radar, RF ve elektronik harp sistemleri konusunda teknoloji geliştiren bir firmadır. Şirket, sistem tasarımı, rf donanım ve yazılım mühendisliği, sinyal işleme, ilgili test altyapıları ve teknik danışmanlık konularında uzmanlaşmıştır.

METRAD Sistemi, RST A.Ş. tarafından TÜBİTAK desteği ile geliştirilen ve Türkiye'de milli meteoroloji radarı olarak adlandırılmış X-band polarimetrik meteoroloji radarıdır. RF ve sinyal işlemeden meteorolojik ürünlere kadar tüm yazılımlar dahil olmak üzere METRAD sistemi RST tarafından geliştirilmiştir. Sistem Şekil 1'de, alt bloklar Şekil 2'de yer almaktadır.



Şekil 1: Taşınabilir METRAD Sistemi.



Şekil 2: METRAD Sistem Bileşenleri.

# 2. METRAD HİDROMETEOROLOJİK AFET ERKEN UYARI YETENEĞİ

# 2.1.X-Band Radar ile Ani Su Baskını Tespiti

Gerçek afet bölgelerine yakın güvenli bir mesafeden deniz kenarı alanlarında ölçümler yapılarak taşkın ortamlarında erken tespit için veri toplanabilmektedir. Radarlarla yapılabilen söz konusu ölçümlerde yoğun bulutların algılanması ve bulutların birleşmeleri sonucunda sel bulutları olan Kümülonimbuslerin orta mesafeden algılanması sel uyarı sistemleri için son derece önemlidir.

Yüksek irtifa C-band meteoroloji radarlarının kapsadığı orta mesafede yüksek irtifa tespit yüksekliğine ulaşmadan önce yoğun bulutların tespiti, yoğun bulutların dağlara yakın bölgelerde ve vadilerdeki hareketlerinin izlenmesi ve küçük bulutların yoğun bulutlara gelecekteki olası kombinasyonlarının tespiti bu kapsamda ilk hedeftir. Metrad Sistemi X-Band olması sebebiyle bu tespitleri yüksek hassasiyetle yapabilecek yetenektedir.

Ayrıca METRAD sistemi, radar menzilindeki tüm bulutlarda toprak nemini ve yağmur oranını izleyerek bilinen nem değerleri ile gerçek zamanlı olarak karşılaştırmak için son 24 saat ve 144 saatlik yağmur oranını hesaplayacaktır. Karşılaştırma sonucunda radar menzilindeki bölgede toprak sel sularını alamayacak doygunluğa ulaşıp taşkın oluşmasını engelleyemeyecek hale geldiğinde bu durumda METRAD sistemi bulut ikazını sel ikazına dönüştürebilecektir.

in the second	and the second	YÜKSEK BULUTLAR			
	Cirrostra	tus	-		
Cirrocumulus		Cirrus		08	-
—7000 m	Hale	23000 ft -			
		ORTA BULUTLAR			
Alte	ocumulus	Altostra	tus		
2000 m		6500 ft _	Cum	ulonimbus	
Nin	nbostratus	ALÇAK BULUTLAR	Dikey Gelişen Bulutlar	$\langle \hat{n} \rangle$	
Yağı	Stratus mur	Stratocumulus	Cumulus	Sağanak Yağış	2100

Şekil 4. Bulut Çeşitleri ve Sel Bulutları (Kümülonimbus)

Tarım alanlarında su baskını ihtimalinin arttığı durumlarda radar sistemi sahaya götürülerek veri toplanabilmektedir. Tespit edilen yoğun bulutlar ile "rüzgar görüşü" birleştirilerek, ani sel tespitleri hakkında tahminlerde bulunacak bir karar destek sistemi geliştirilmesi halen devam etmektedir. Karar desteğinde kullanılacak ileri matematik, sinyal işleme ve yapay zeka algoritmaları ile sistemin hatalı alarm olasılığı aza indirilebilmektedir.

Taşkın tahminlerinde X-band radar kullanımı yüksek frekans sebebiyle hassasiyet ve su miktarının hesaplanmasında avantajlı olacaktır. Sıcaklık, basınç ve nem gibi konularda mevcut sensörlerin yanı sıra radarın tahmin yeteneği de devreye girebilecektir.

## 2.2. X-Band Radar ile Duman ve Yangın Algılama

Çim yangını, çalı yangını, tarım alanı yangını ve orman yangınının neden olduğu duman bulutlarını tespit etmeye çalışırken, yangının alev merkezini bulmak, yangın tehlikesinin erken tespiti ve ortadan kaldırılması için kritik öneme sahiptir. Bir orman yangınının alev merkezinin, yangın yayılmadan önce en kısa sürede orta mesafeden tespiti zorlu bir araştırma alanıdır. Duman bulutları genellikle yüksek irtifa meteorolojik radarları tarafından uzun sürelerde algılanabilmektedir, çünkü duman dağ üzeri konumlardaki meteorolojik radarlar için yeni hedeflerin algılanma yüksekliğine ulaşana kadar, ve eğer o bölgede radar kapsaması varsa bu mümkün olabilmektedir. [7] ve [8]'de açıklandığı gibi "Gap-filler" yetenekli METRAD sistemi bu amaçla tasarlanmış ve üretilmiştir.

Şekil 5'te, son 10 yılda 200 orman ve tarım yangını ile Türkiye'nin turistik bir bölgesini korumak için bu yazıda belirtilen gerekliliklere uygun iki METRAD radarının örnek kapsamı gösterilmektedir.

Hassas rüzgar tespiti kapsamında yağış rejimi, duman ve biriken suyun ayrı ayrı izlenmesi ve yön tahminlerinin yapılması amaçlanır. Bu olaylar daha düşük atmosferik seviyede etkili olduklarından, çoğu durumda radyal hız değerlerine sahip yüksek konumlardaki uzun menzilli meteorolojik radarlar tarafından hassas bir şekilde tespit edilemezler. METRAD'da ise hem hassas tespit yeteneği X-bant sayesinde mevcuttutr hem de radarın rüzgar görüşü ile yangın felaketinin yayılabileceği alanları tespit etmek, yangına kısa sürede müdahale etmek, yeni yangınları önlemek mümkün olabilemektedir. Duman bulutlarının yağış rejiminden ve yağmur bulutları, yağmur ve buz kristalleri de dahil olmak üzere biriken su ve kardan %100'e yakın garantili bir şekilde ayırt edilmesi sağlanabilmektedir.



Şekil 5 Son 10 yılda 200 orman ve tarım yangını olan bir turistik alanı korumak için iki METRAD Radarı (Sarı kapsama = Göcek radarı, Pembe kapsama = Fethiye radarı) yeterlidir

## 7. SONUÇLAR

1. METRAD Sistemi, radar olmasının yanında karar destek yetenekleriyle kolayca afet uyarı sistemlerine dönüştürülebilen bir sistemdir.

2. METRAD sistemi sadece yangın/sel olayları için uyarı vermekle kalmamakta, aynı zamanda radarın rüzgar görüşü ile afetin yayılabileceği yeni bölgeler öneren bir karar destek aracı olarak acil durum ekiplerine yardımcı olabilmektedir. Karar desteği, acil durum ekiplerine yangınla mücadele

yeri önerileri sunarak ve yangınla sahada savaşmakta olan ekiplere yangının yayılma tehlikeleri olan bölgelerin anlık haber verilebilmesini sağlamaktadır.

3. Metrad sistemi geniş bir alanda toprak nemliliğini izlerken, birçok bulutun tek bir Kümülonimbus bulutunda birleştiğini algıladığında, olası yeni bir sel olayı için ikaz üretebilmektedir. Kümülonimbus, çoğunlukla deniz alanlarında 40 mil / saat'e kadar hızla ilerlediğinden ve METRAD radar menzili her zaman 75 km'den büyük olduğundan, bu, ani sel olayları için 1 saate kadar erken uyarıya karşılık gelmektedir. 1 saat, afet önleme ekipleri için iyi bir zamandır, bu nedenle afet öncesi bu uzun süre, can ve mal kurtarmak için büyük bir avantaj sağlamaktadır.

4. Rüzgar görüşü ve kargaşa bastırma yeteneklerine sahip olan METRAD Sistemi, sel ve yangın acil durum olayları için ikaz üretebilmektedir. Ani taşkınlardan 1 saat öncesine kadar, yeni başlamış orman/tarım alanı yangınları için ise 5 dakikadan daha kısa bir süre sonra ikaz vererek acil duruma zamanında müdahale sağlanmasına katkıda bulunabilmektedir.

5. METRAD Sistemi ayrıca, yangın ve sel acil durum olayları için yayılma tahminleri yapabilen, "Rüzgar Görüşü" yardımıyla yangının gelecekteki olası yayılma koordinatlarını ve taşkın sırasında yeni bulut birleşimlerini takip ederek doymuş toprağın yeni su baskınlarına karşı hazır olunmasına da fayda sağlamaktadır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Chandarsekar V. Polarimetric Doppler Weather Radar, 2004.
- [2] G. Zhang Weather Radar Polarimetry, 2016.
- [3] https://uubf.itu.edu.tr/akademik/meteoroloji-muhendisligi
- [4] John Y. N Cho, Robert G. Hallowel, Mask E. Weber Comparative analysis of terminal wind-shear detection systems, 2008.
- [5] Witold F. Krajewski, Daniel Ceynar, Ibrahim Demir, Radoslaw Goska, Anton Kruger, Carmen Langel, Ricardo MantillLLa, James Niemeier, Felipe Quintero, Bong-Chul Seo, Scott J. SmallLL, Larry J. Weber, and Nathan C. Young, Bulletin of the American Meteorological Society, Real-Time Flood Forecasting And Information System For The State Of Iowa, 2022.
- [6] Jonathan J. Gourley, Zachary L. Flamig, Humberto Vergara, Pierre-Emmanuel Kirstetter, Robert A. Clark III, Elizabeth Argyle, Ami Arthur, Steven Martinaitis, Galateia Terti, Jessica M. Erlingis, Yang Hong, and Kenneth W. Howard, Bulletin of the American Meteorological Society, The FLASH Project Improving the Tools for Flash Flood Monitoring and Prediction across the United States, 2022.

- [7] Nicholas McCarthy, Hamish McGowan, Adrien Guyot, and Andrew Dowdy, Bulletin of the American Meteorological Society, Mobile X-Pol Radar A New Tool for InvestigatingPyroconvection and Associated Wildfire Meteorology, 2022.
- [8] R. R. Rogers and W. O. J. Brown, Bulletin of the American Meteorological Society, Radar Observations of a Major Industrial Fire, 2022.
- [9] M. E. Çiftçibaşı, A. Albayrak, F Köse, E. Hassoy, Y. Özdemir, "Radar 2023 Autonom Semantic Scholar", IEEE IISEC 2022 II. International Informatics and Software Engineering Conference, Turkey, 2022.

# Uzun Mesafeli Toz Taşınımının Havalimanlarına Olan Etkilerinin İncelenmesi: 29 Kasım 2021 Olayı

## **Enes BİRİNCİ**

Meteoroloji Mühendisliği Bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul enes.birinci@itu.edu.tr

#### Hüseyin ÖZDEMİR

Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü/İklim ve Deniz Bilimleri Anabilim Dalı İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul ozdemirhuseyin@itu.edu.tr

## Emrah Tuncay ÖZDEMİR

Meteoroloji Mühendisliği Bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul etozdemir@itu.edu.tr

## ÖZET

Hava kirliliği çok çeşitli meteorolojik faktörlerden etkilenir. Hava kirliliğine neden olan faktörlerden biri olan uzun mesafeli toz taşınımının havalimanlarına olan etkileri de önemli bir sorun haline gelmiştir. Bu çalışmada, 29 Kasım 2021 yılında İstanbul Uluslararası Havalimanında meydana gelen toz taşınımının havalimanına ve hava kalitesine olan etkisi araştırılmıştır. Toz taşınımının belirlenebilmesi için Havacılık Amaçlı Rutin Hava Raporu (Metar) ve Havacılık Amaçlı Seçilmiş Özel Hava Raporu (Speci) verilerinden yararlanılmış ve toz hadisesi kodlanan saatler alınmıştır. Eş zamanlı olarak, İstanbul Uluslararası Havalimanına en yakın hava kalitesi istasyonu olan Arnavutköy Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'ndan saatlik olarak alınan  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  verileri alınarak uzun mesafeli toz taşınımın partikül madde (PM) üzerine olan etkisi araştırılmıştır.  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerleri sırasıyla 195 µg/m<sup>3</sup> ve 64 µg/m<sup>3</sup> ulaşarak pik yapmıştır. Meteosat Second Generation (MSG) dust Red Green Blue (RGB), Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) uydu görüntüleri, Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations (CALIPSO) görüntüleri, 72 saatlik The Hybrid SingleParticle Lagrangian Integrated Trajectory Model (HYSPLIT) modeli 10 m, 500 m ve 1500 m seviyeleri için çalıştırılmış ve Dream8assim Modeli çıktıları kullanılarak analiz yapılmıştır. Tüm bu analizler ve değerlendirmeler sonucu havalimanında etkili olan tozun Kuzey Sahra çölü üzerinden İstanbul'a geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler — CALIPSO, Metar, MODIS, MSG, PM, Speci

# 1. GİRİŞ

Aeresoller dünya üzerinde çok önemli etkilere sahiplerdir [1]. Ayrıca, iklim değişikliği üzerinde de önemli bir rol oynar [2]. Dünya atmosferinde aerosollerin en önemli bileşenleriden biri toz veya mineral tozdur [3]. Bu parçacıklar genellikle bitki örtüsünün olmadığı veya sadece toprağın bulunduğu bölgelerde meydana gelmektedir. Bu sayede, toprak parçacıkları rüzgârın etkisiyle (rüzgarın taşıtabileceği boyutla olanlar) rüzgarla birlikte hareket eder. Dünya'da küresel atmosferik aerosollerin yarısından fazlası çöl bölgerinden kaynaklanmakta ve aerosol formları mineral toz formundadır [4]. Ayrıca, Türkiye'yi etkileyen mineral tozun birincil kaynağı Sahra Çölü'nden gelmektedir [5].

Dünya'da Sahra Çölü partiküler maddenin en büyük üreticisi olarak değerlendirilmektedir [5]. Sahra tozu nedeniyle toz parçacıkları uzun mesafeli (kıtalararası) olarak taşınabilmektedir. Toz taşınımın olumsuz etkileri de vardır. Örneğin, toz fırtınaları sırasında hava taşımacılığı oldukça etkilenmektedir. Uçakların kalkış ve iniş sırasında yönetimi zordur [6]. Toz taşınımı nedeniyle Türkiye'ye taşınan çok yüksek yoğunluktaki toz parçacıkları Orta Doğu Ülkeleri'nde PM<sub>10</sub> konsantrasyon değerlerini eşik değeri olan 50 µg/m<sup>3</sup>'ü aşmaktadır [7]. Türkiye coğrafi olarak toz bölgelerine yakın olması nedeniyle toz kaynakları olan Sahra Çölü ve Arap Yarımadası'nda meydana gelen toz fırtınası olayları Türkiye'yi etkisi altında bırakmaktadır [8]. Bilimsel literatürde toz taşınımın Türkiye üzerine olan olası etkilerini araştırmak amacıyla uydu görüntülerinden de yararlanılmaktadır [9]. Örneğin, 7-8 Nisan 2013 tarihinde Türkiye'ye gelen toz taşınımı MSG dust RGB kanalıyla toz taşınımının PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> (Çapı 10 mikron veya daha küçük olanlar (PM<sub>10</sub>) ve çapı 2,5 mikron veya daha küçük olan (PM<sub>2,5</sub>) partiküller olarak tanımlanır) üzerine etkilerini hava kalitesi verileri ve uydu verileri kullanılarak araştıran çalışmalar bulunmaktadır [11].

Bu çalışmada , 29 Kasım 2021 yılında İstanbul Uluslararası Havalimanında meydana gelen toz taşınımının havalimanına ve hava kalitesine etkisi araştırılmıştır.

## 2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ

Çalışma alanı İstanbul Uluslararası Havalimanı (International Civil Aviation Organization (ICAO) kodu: LTFM) ve Arnavutköy Hava Kalitesi İzleme İstasyonunu içermektedir. Şekil 1'de İstanbul'un coğrafi koordinatları, İstanbul Uluslararası Havalimanı ve Arnavutköy Hava Kalitesi İzleme İstasyonu görülmektedir. Havalimanı ve Hava Kalitesi İstasyonu arasındaki mesafe yaklaşık olarak 5 km'dir.



Şekil 1: İstanbul Uluslararası Havalimanı ve Arnavutköy Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'nun Konumları

Bu çalışmada LTFM'ye ait Havacılık Amaçlı Rutin Hava Raporu (Metar) ve Havacılık Amaçlı Seçilmiş Özel Hava Raporu (Speci) verileri kullanılmıştır. Metar ve Speci verileri uluslararası kodlarla yazılan ve bölgenin hava durumunu belirtilen kısa raporlardır [12]. Bu çalışmada, LTFM'de yayımlanan Metar ve Speci verilerini Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır. Alınan verilerden sadece hava hadisesi ve görüş mesafesi verisi kullanıldı. Ayrıca, havalimanına en yakın istasyon olan Arnavutköy Hava Kalitesi İzleme İstasyonundan saatlik olarak PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) ve PM<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) değerleri alınmıştır [13].

## 3. MATERYAL VE METHOD

#### 3.1 Metar ve Speci Analizi

29 Kasım 2021 gününe ait İstanbul Uluslararası Havalimanı için hazırlanan Metar ve Speci verileri analiz edilmiştir. Bu çalışma kapsamında alınan Metar ve Speci gözlemlerinde

kullanılan kısaltmalar Tablo 1'de gösterilmektedir [14]. Tablo 1'de verilen kodlar 29 Kasım 2021 gününde Metar ve Speci verilerinde kodlanıp kodlanmadığına bakılmıştır.

Kod	Tanımı
BLDU	Savrulan Toz
-SHRA	Hafif Yağmur Sağanağı
SHRA	Mutedil Yağmur Sağanağı
TSRA	Orajla Birlikte Mutedil Sağanak Yağmur
DS	Toz Firtinasi
DU	Geniş Alana Yayılmış Toz
DRSA	Sürüklenen Kum
DRDU	Sürüklenen Toz
HZ	Kuru Duman
SS	Kum Fırtınası

Tablo 1: Metar ve Speci Kodlarının Açıklamaları

## 3.2 HYSPLIT ve Dream8-assim Model

Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT), atmosfer bilimi uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Hava parselinin kökeninin belirlenmesi için yörünge analizi yapılmaktadır. HYSPLIT ayrıca kirleticilerin ve tehlikeli maddelerin atmosferik taşınmasını, dağılmasını ve birikmesini açıklamak için çeşitli simülasyonlarda kullanılmaktadır. Örneğin, rüzgarla savrulan tozun, kirleticilerin ve volkanik külün salınımının izlenmesini ve tahmin edilmesini içerir [15]. Bu çalışmada hava parselinin Sahra Çölü'nden gelip gelmediğini araştırmak için 72 saatlik geri yörünge analizi yapılmıştır. Geri yörünge analizi için 10 m, 1000 m ve 1500 m'deki yükseklikler kullanılmıştır. Analiz döneminde mekansal ve zamansal değişimi göstermek için DREAM8-assim modelinin yüzey seviyesindeki toz konsantrasyon değerleri ve rüzgâr grafiklerine bakılmıştır [16].

## 3.3 Uydu görüntüleri

Toz taşınımını analiz etmek için Meteosat İkinci Nesil (MSG) uydusundan alınan toz ürünü görüntüleri kullanıldı. Toz taşıma ürünü, MSG IR kanallarındaki birleşik Red Green Blue (RGB) resmidir. Toz ürünü, resimdeki tozun (pembe renkte) gelişiminin ve hareketinin 24 saat süreyle gözlemlenmesine olanak sağlar. Dust RGB uydu görüntüleri, Dönen Geliştirilmiş Görünür ve Kızılötesi Görüntüleyici (SEVIRI) kanallarının IR8.7, IR10.8 ve IR12.0'ın bir birleşimidir [17]. Bu toz RGB uydu görüntüleri EUMETSAT'tan alınmıştır [18]. Uydu

görüntülerinin analizinde Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), AQUA uyduları tarafından kaydedilen MODIS uydu görüntüleri kullanılmıştır [19]. MODIS uydusu, yaklaşık 2 günde bir, 36 spektral bantta dünyanın her noktasını görmekte olup, 2330 km görüş alanına sahiptir. Ayrıca MODIS uydusu her gün bulut yapısını da ölçmektedir [20]. Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations (CALIPSO) atmosferdeki bulutları ve aerosol konsantrasyonlarını ölçer. Uydu sayesinde bulut sınırları daha yüksek uzaysal çözünürlükte tespit edilebilmektedir [21]. Bu çalışmada CALIPSO'dan elde edilen 5 km uzaysal çözünürlüklü aerosol profil resimleri CALIPSO seviye 1 kullanılmıştır.

## 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

#### 4.1 Metar ve Speci Sonuçları

29 Kasım 2021 tarihinde 03:20 ile 13:50 UTC arasında LTFM'den alınan Metar ve Speci verilerine göre hakim rüyet ve hava hadiseleri tablo 2'de gösterilmiştir. Tablo 2'ye göre, 07:20 UTC'de görüş mesafesi 7000 m'ye kadar düşerek Blowing Dust "Savrulan Toz (BLDU)" kodlanmıştır. Daha sonra, olay 11:50 UTC'ye kadar devam etmiştir. Savrulan toz sırasında aynı zamanda yağış olduğu da görülmektedir. BLDU hadisesi gerçekleştiği zaman ki en düşük görüş mesafesi 4000 m'ye kadar düşmüştür.

Havalimanı Bilgisi	Tarih	Saat (UTC)	Hakim Rüyet (m)	Hava Hadisesi
	29.11.2021	03:20	10.000	-
	29.11.2021	03:50	10.000	-
	29.11.2021	04:20	10.000	-
	29.11.2021	04:50	10.000	-
•	29.11.2021	05:20	10.000	-
Istanbul Uluslavarası	29.11.2021	05:50	10.000	-SHRA
Havalimanı	29.11.2021	06:20	10.000	-SHRA
(LTFM)	29.11.2021	06:50	10.000	-SHRA
41°15′39″K	29.11.2021	07:20	7000	BLDU
28°44'32"D 99 m AMSL	29.11.2021	07:50	7000	-SHRA
	29.11.2021	08:20	7000	BLDU
	29.11.2021	08:50	7000	BLDU
	29.11.2021	09:20	7000	BLDU
	29.11.2021	09:50	7000	BLDU
	29.11.2021	10:20	6000	BLDU

Tablo 2: 29 Kasım 2021 tarihindeki LTFM'ye ait Metar ve Speci Rasatları

20 11 2021	20 11 2021 10.50 6000	6000	-SHRA
29.11.2021	10.50	0000	BLDU
20 11 2021	11.20	6000	-SHRA
29.11.2021	11.20	0000	BLDU
29.11.2021	11:50	4000	TSRA BLDU
29.11.2021	12:20	10.000	-SHRA
29.11.2021	12:50	10.000	-SHRA
29.11.2021	13:20	2800	TSRA
29.11.2021	13:50	3500	SHRA

## 4.2 HYSPLIT ve DREAM8-assim Analizleri

29 Kasım 2021 tarihinde Metar ve Speci rasatlarına göre toz hadisesinin başladığı saat 07:20 UTC olarak rasat edilmiştir. Bu yüzden HYSPLIT analizi aynı tarih için 07:00 UTC için 72 saatlik geri yörünge analizi yapılmıştır. Yörünge analizleri 10 m, 1000 m ve 1500 m yükseklik değerleri kullanılarak analiz edilmiştir. Şekil 2'de LTFM için 72 saatlik geri yörünge analizi gösterilmiştir. Aynı zamanda, 26 ve 29 Kasım arasındaki Dream8-assim model sonuçları analiz edilmiştir. Şekil 3a, 3b, 3c ve 3d ise 26 ve 29 Kasım tarihleri için DREAM8-assim model sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 2: 29 Kasım 2021 07:00 UTC 72 saatlik HYSPLIT geri yörünge analizi

Şekil 2'ye göre 3 farklı seviyedeki hava parselinin hareketi analiz edildiğinde Kuzeybatı Sahra Çölü üzerinden tozun taşınarak geldiği görülmektedir. İstanbul'daki 10 m'deki hava parseli Kuzeybatı Sahra Çölü üzerinden gelirken 2000 m'ye kadar ulaştığı daha sonra 28 Kasım 2021 tarihinden itibaren çökme hareketi yaparak olay günü 10 m'ye kadar düştüğü görülmüştür. HYSPLIT sonucuna göre parçacıkların Kuzeybatı Sahra Çölü üzerinden geldiği görülmektedir. 18 Nisan 2012'de yapılan çalışmada da 48 saatlik geri yörünge İstanbul Havalimanlarında meydana gelen toz için analizleri yapılmış ve tozun Libya üzerinden geldiği bulunmuştur [22].



Şekil 3: a) 26 Kasım 2021 Dream8-assim model sonuçları, b) 27 Kasım 2021 Dream8-assim model sonuçları, c) 28 Kasım 2021 Dream8-assim model sonuçları, d) 29 Kasım 2021 Dream8-assim model sonuçları

26 Kasım 2021 tarihinde İstanbul üzerinde bir toz konsantrasyonu bulunmazken güney batılı rüzgarlar nedeniyle Sahra Çölü üzerinden gelen tozlar İstanbul'daki toz konsantrasyonlarını 29 Kasım'da 50  $\mu$ g/m<sup>3</sup>'e kadar çıkarmıştır (Şekil 3d). Birinci ve Ark. 2023'de yaptığı çalışmada 7-8 Nisan 2013 tarihinde gerçekleşen toz taşınımının Türkiye'deki 13 havalimanlarına ve hava kalitesine olan etkileri incelenmiş ve Marmara bölgesinde konsantrasyonların 320  $\mu$ g/m<sup>3</sup> seviyesine kadar ulaştığı gözlenmiştir.

#### 4.3 Uydu Görüntüleri Analizleri

MSG dust RGB görüntüleriyle tozun varlığı tespit edilebilmektedir [17]. Açık renkteki pembe görüntüleri tozun varlığını göstermektedir. 26 ile 29 Kasım 2021 tarihindeki 00:00 UTC tarihlerindeki dust RGB görüntüleri incelenmişti (Şekil 4a, 4b, 4c ve 4d). 29 Kasım 2021 tarihindeki görüntüde siyah kare içerisine alınan görüntüde görüldüğü gibi tozun varlığı tespit edilmiştir (Şekil 4d). 4 günlük süreçteki MSG dust RGB görüntüleri gösterilmiştir. Toz bulutlarının hareketi 26 ile 29 kasım tarihleri arasında NASA'nın MODIS uydusu vasıtasıyla Aqua görüntülerini kullanarak analiz edilmiştir. Kırmızı dikdörtgenler arasında tozun varlığı

oldukça net gözükmektedir (Şekil 5a, 5b ve 5c). 26 ile 28 Kasım arasında Akdeniz üzerinden kalkan toz oldukça net gözükmektedir. Ancak, 29 kasımda bulutluluğun artması nedeniyle toz analiz edilememiştir (Şekil 5d). CALIPSO tarafından üretilen LIDAR görüntüleri ile tozun olup olmadığı araştırılmıştır. Uydunun 28 ve 29 Kasım günleri İstanbul'a yakın bir yörüngeden geçtiği zamanlar alınmıştır (Şekil 6a ve 7a). Toz aerosollerini su bulutlarından, buz bulutlarından ve dumandan ayırmak için iyi bir gösterge görevi görmektedir [23]. Aerosol tipi sarı renkli olanlar ve oklarla gösterilenlerin toz olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 6b, 6c ve 7b, 7c). Aynı şekilde, 29 Kasım 2021 gününde de oklarla gösterildiği gibi tozun varlığı tespit edilmiştir (Şekil 7c).





c) 28 Kasım 2021 00:00 UTC MSG DUST RGB



b) 27 Kasım 2021 00:00 UTC MSG DUST RGB



d) 29 Kasım 2021 00:00 UTC MSG DUST RGB

Şekil 4: a) 26 Kasım 00:00 UTC MSG dust RGB görüntüleri, b) 27 Kasım 00:00 UTC MSG dust RGB görüntüleri, c) 28 Kasım 00:00 UTC MSG dust RGB görüntüleri, d) 29 Kasım 00:00 UTC MSG dust RGB görüntüleri



a) 26 Kasım 2021 MODIS Aqua



b) 27 Kasım 2021 MODIS Aqua



c) 28 Kasım 2021 MODIS Aqua



d) 29 Kasım 2021 MODIS Aqua

Şekil 5: a) 26 Kasım 00:00 UTC MODIS Aqua görüntüleri, b) 27 Kasım 00:00 UTC MODIS Aqua görüntüleri, c) 28 Kasım 00:00 UTC MODIS Aqua görüntüleri, d) 29 Kasım 00:00 UTC MODIS Aqua görüntüleri



Şekil 6: a) 28 Kasım CALIPSO uydu yörüngesi, b) 28 Kasım CALIPSO dikey saçılım, c) 28 Kasım CALIPSO aerosol tip görüntüleri



Şekil 7: a) 29 Kasım CALIPSO uydu yörüngesi, b) 29 Kasım CALIPSO dikey saçılım, c) 29 Kasım CALIPSO aerosol tip görüntüleri

## 4.4 PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> Analizleri

Toz firtinasının gerçekleştiği zaman toz parçacıklarının PM üzerine etkisine bakabilmek için Arnavutköy Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'ndan PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> verileri 28 Kasım ve 30 Kasım tarihleri arasında alınmıştır. Tablo 3'de alınan veriler için istatistiksel özetleri göstermektedir. Bu dönem boyunca, PM<sub>10</sub> konsantrasyonu maksimum 194  $\mu$ g/m<sup>3</sup>, PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu maksimum 64  $\mu$ g/m<sup>3</sup> değerine kadar ulaşmıştır. Şekil 8'de ise konsantrasyon değerlerinin saatlik değişimleri gösterilmiştir. Görüldüğü üzere olay gününe kadar konsantrasyon değerler 25  $\mu$ g/m<sup>3</sup> civarında değişmektedir. Ancak, LTFM'de toz kodlandığı zamana eş zamanlı olarak konsantrasyon değerleri anlık pik değerlerine ulaşmıştır. Bu da uzun mesafeli taşınan tozun yere çöktüğünü göstermektedir. Aynı şekilde yapılan bir çalışmada Sahra çölünden taşınan toz



Şekil 8: 28-30 Kasım arasındaki saatlik PM10 ve PM2.5 konsantrasyonlarının değişimi

Arnavutköy	$PM_{10}  (\mu g/m^3)$	$PM_{2.5}(\mu g/m^3)$
Maksimum	194,00	64,00
Minimum	2,30	1,10
Ortalama	36,92	12,21
Standart Sapma	49,45	16,30
Gelen Veri	48 Adet	48 Adet
Olması Gereken Veri	49 Adet	49 Adet
Veri Yüzdesi	%98	%98

Tablo 3: PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının istatistiksel analizi

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 29 Kasım 2021 yılında İstanbul Uluslararası Havalimanı'nda meydana gelen toz hadisenin kaynağını tespit edebilmek için araştırma yapılmış ve taşınımının hava kalitesine etkisi incelenmiştir. Uzun mesafeli toz taşınımını belirlemek HYSPLIT modeli ile Kuzeybatı Sahra Çölü'nden taşındığı belirlenmiş, MODIS, CALIPSO, MSG dust uydu görüntüleri ile de toz taşınımının hareketi tespit edilmiştir. Toz taşınımı CALIPSO görüntüleriyle rahatlıkla görülebilir ancak tozun olduğu bazı zamanlarda uydunun toz hadisesi yaşanan yörüngeden geçmemesi nedeniyle toz taşınımı tespit edilemeyebilir. Dream modeli ile de toz konsantrasyon değerleri analiz edilmesi sonucu, toz taşınımın İstanbul'a doğru geldiğini güneyli rüzgarlar ile ve PM konsantrasyon değerleriyle göstermektedir. Son olarak, Kuzeybatı Sahra Çölü'nden kalkan tozlar İstanbul'a kadar gelerek havalimanında meydana gelen sağanak yağışlarla birlikte ıslak çökelme yaparak yer yüzeyine düşmüştür. PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon değerleri edilmesine yol açmıştır.

#### Teşekkür

Hava kalitesi verilerini sağlayan İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne, Metar ve Speci rasatları için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

[1] Kok, J. F., Ridley, D. A., Zhou, Q., Miller, R. L., Zhao, C., Heald, C. L., et al. (2017).Smaller desert dust cooling

- [2] Penner, J. E. (2019). Soot, sulfate, dust and the climate—Three ways through the fog. Nature, 570(7760), 158-159. Doi:10.1038/d41586-019-01791-6
- [3] Asutosh, A., Vinoj, V., Murukesh, N., Ramisetty, R., & Mittal, N. (2022). Investigation of June 2020 giant Saharan dust storm using remote sensing observations and model reanalysis. Scientific Reports, 12(1), 1–14. https://doi.org/10.1038/s41598-022-10017-1
- [4] Cerro, J. C., Cerdà, V., Caballero, S., Bujosa, C., Alastuey, A., Querol, X., & Pey, J.
   (2020). Chemistry of dry and wet atmospheric deposition over the Balearic Islands, NW Mediterranean: Source apportionment and African dust areas. Science of The Total Environment, 747, 141187. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141187

- [5] Kok, J. F., Adebiyi, A. A., Albani, S., Balkanski, Y., Checa-Garcia, R., Chin, M., ... & Wan, J. S. (2021). Contribution of the world's main dust source regions to the global cycle of desert dust. Atmospheric Chemistry and Physics, 21(10), 8169–8193. https://doi.org/10.5194/acp-21-8169-2021
- [6] De Villiers, M. P., & van Heerden, J. (2007a). Dust storms and dust at Abu Dhabi international airport. Weather, 62, 339–343. https://doi.org/10.1002/wea.42
- [7] Baltaci, H. (2021). Meteorological characteristics of dust storm events in Turkey. Aeolian Research, 50, 100673. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2021.100673
- [8] Baltaci, H., & Ezber, Y. (2022). Characterization of atmospheric mechanisms that cause the transport of Arabian dust particles to the southeastern region of Turkey. Environmental Science and Pollution Research, 29, 22771–22784. https://doi.org/10.1007/s11356-021-17526-y
- [9] Deniz, A., Özdemir, E. T., Sezen, İ, et al. (2013). Investigations of storms in the region of Marmara in Turkey. Theor Appl Climatol, 112, 61–71. https://doi.org/10.1007/s00704-012-0715-x
- [10] Birinci, E., Özdemir, E.T. & Deniz, A. An investigation of the effects of sand and dust storms in the North East Sahara Desert on Turkish airports and PM10 values: 7 and 8 April, 2013 events. Environ Monit Assess 195, 708 (2023). https://doi.org/10.1007/s10661-023-11288-5
- [11] Çapraz, Ö., Deniz, A. Particulate matter (PM10 and PM2.5) concentrations during a Saharan dust episode in Istanbul. Air Qual Atmos Health 14, 109–116 (2021). https://doi.org/10.1007/s11869-020-00917-4
- [12] Novotny, J., Dejmal, K., Repal, V., Gera, M., & Sladek, D. (2021). Assessment of TAF, METAR, and SPECI Reports Based on ICAO ANNEX 3 Regulation. Atmosphere, 12(2), 138. https://doi.org/10.3390/atmos12020138

[13] Havakalitesi. (2023). https://havakalitesi.ibb.gov.tr/. Alıntılanma tarihi 25 Ekim 2023.

- [14] MGM. (2018). BAKANLIĞI, T. V. O., & MÜDÜRLÜĞÜ, M. G. HAVACILIK METEOROLOJİSİ.
- [15] HYSPLIT. (2023). https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php. Alıntılanma tarihi 25 Ekim 2023.
- [16] Seevccc. (2023). http://www.seevccc.rs/. Alıntılanma tarihi 25 Ekim 2023.
- [17] EUMETSAT. (2023).

https://navigator.eumetsat.int/product/EO:EUM:DAT:MSG:DUST. Alıntılanma tarihi 25 Ekim 2023.

[18] EUMETSAT. (2023).

https://view.eumetsat.int/productviewer/productDetails/msg\_fes:rgb\_dust?v=msg\_fes: rgb\_dust. Alıntılanma tarihi 25 Ekim 2023.

- [19] NASA. (2023). https://worldview.earthdata.nasa.gov/. Alıntılanma tarihi 25 Ekim 2023.
- [20] MODIS. (2023). https://aqua.nasa.gov/modis. Alıntılanma tarihi 25 Ekim 2023.
- [21] CALIPSO. (2023). https://www-CALIPSO.larc.nasa.gov/. Alıntılanma tarihi 25 Ekim 2023.
- [22] Özdemir, E.T. Investigations of a Southerly Non-Convective High Wind Event in Turkey and Effects on PM10 Values: A Case Study on April 18, 2012. Pure Appl. Geophys. 176, 4599–4622 (2019). https://doi.org/10.1007/s00024-019-02240-1
- [23] McKendry, I., Strawbridge, K., Karumudi, M. L., O'Neill, N., Macdonald, A. M., Leaitch, R., ... & Ogren, J. (2011). Californian forest fire plumes over Southwestern British Columbia: lidar, sunphotometry, and mountaintop chemistry observations. Atmospheric Chemistry and Physics, 11(2), 465-477. https://doi.org/10.5194/acp-11-465-2011
- [24] Ozdemir, H., Mertoglu, B., Demir, G. et al. Case study of PM pollution in playgrounds in Istanbul. Theor Appl Climatol 108, 553–562 (2012). https://doi.org/10.1007/s00704-011-0543-4

# Kastamonu İlinde Meydana Gelen Sel Afetinin Analizi: 11 Ağustos 2021

Erdem Odabaşı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteorolojik Afetler Şube Müdürlüğü Ankara eodabasi@mgm.gov.tr

Mehmet Ayhan Erkan Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteorolojik Afetler Şube Müdürlüğü Ankara aerkan@mgm.gov.tr

# ÖZET

Sel olayı, can ve mal kaybına sebep olan en önemli meteorolojik afetlerden bir tanesidir. Ülkemizin özellikle Karadeniz bölgesi, coğrafi konumu itibariyle kuvvetli yağışların görüldüğü ve dolayısıyla sel afetinin sık yaşandığı bir bölgedir. Bu çalışma ile, 11 Ağustos 2021 tarihinde Kastamonu ilinde görülen yağış ve bazı ilçelerde meydana gelen sel olayları incelenmiştir. Batı Karadeniz bölgesinde başlayan aşırı yağışlar sonucunda, Kastamonu ilinin Azdavay, İnebolu, Bozkurt, Küre ve Pınarbaşı ilçelerinde sel afeti meydana gelmiştir. Yaşanan sel nedeniyle Kastamonu ilinde 71 vatandaşımız hayatını kaybetmiştir. Sele neden olan yağış, MGM'den alınan uydu görüntüleri ve sinoptik haritalarla analiz edilmiştir. Sel afetinin zarar ve kayıpları ise MGM'deki fevk raporu, AFAD ve basın kaynaklarından elde edilerek değerlendirilmiştir. Ayrıca bu bölgedeki radar görüntüleri de çalışmada değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler — Sel; Kastamonu; Uydu ve radar görüntüsü; Sinoptik harita.

# 1.GİRİŞ

Kastamonu İli Karadeniz Bölgesinde 160 km'lik bir sahil şeridi bulunan ve ülkemizin Karadeniz'e en geniş sahili olan ilidir. İl genelinde toplam nüfus 238.902 kişi olup nüfusun %63,52'i il ve ilçe merkezlerinde, %36,5'i ise kırsal kesimde yaşamaktadır. 151.500 kişi ile en fazla nüfusa sahip Merkez ilçeyi 39.637 kişi ile Tosya, 37.439 kişi ile Taşköprü ilçeleri takip etmektedir[1].



Şekil 1-Kastamonu İli Nüfus Yoğunluğu Haritası

Kastamonu İli'nin kuzeyinde nemli ve yarı nemli iklim tipi, güneyinde ise karasal İç Anadolu iklimi hakimdir. Kastamonu İli'nin iklimini biçimlendiren etkenlerin en önemlilerinden biri yeryüzü şekilleridir. Kastamonu jeolojik, tektonik, topografik ve meteorolojik özelliklerinden dolayı başta deprem olmak üzere, heyelan, kaya düşmesi, sel, taşkın, meteorolojik ve iklimsel afetler açısından afet riski yüksek bölgeler içerisinde yer almaktadır. Batıdan gelip Küre Dağları'ndaki gediklerden içerilere sokulan hava kütleleri, yüksek yerlere fazla yağış bırakabilmektedir[1].

Kastamonu'nun Merkez ilçesi de dahil olmak üzere çoğu ilçesi doğal su yolları boyunca gelişerek taşkın alanlarında konumlanmıştır. Çoğu dar bir vadi içinde konumlanmış bu alanlar sıklıkla sel ve taşkın riskine maruz kalmaktadır. Bölgede her ne kadar gerekli yapısal önlemler alınsa da dere yataklarına yapılan müdahaleler, iklim değişikliğinden dolayı meydana gelen aşırı yağışlar, dere yataklarında oluşan bitki örtüsü ile biriken rüsubatın temizlenmemesi, yerleşim yeri alt yapısı ile yağmur suyu drenaj sisteminin zayıf olması maalesef sel ve taşkın olaylarının meydana gelmesinin önüne geçilmesini engellemektedir[1].

Kastamonu'da yağışın aylara göre dağılımı oldukça düzenlidir. Kış dönemindeki yağışlar yıllık yağışın %18'ini, yaz yağışları ise %27'sini oluşturmaktadır. Yağışların büyük bölümü ise bahar aylarında düşmektedir. Merkez ilçenin yıllık yağış ortalaması 449,7 mm'dir. Bu değer kıyı kesimlerinde 1000 mm'den yükseğe çıkmaktadır. Bu değer, kıyı kesiminde İnebolu'da 1052,2 mm, Bozkurt'ta ise 1214,8 mm'ye dek yükselmektedir. İlde yıllık ortalama yağışın iç

kesimlerden sahil kesimine doğru belirgin bir şekilde arttığı ve günlük maksimum yağış değerlerinin kıyı kesiminde en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir[1].

# 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, sele neden olan yağış, MGM'den alınan uydu görüntüleri ve sinoptik haritalarla analiz edilmiştir. Sel afetinin zarar ve kayıpları ise MGM'deki fevk raporu ve AFAD'dan elde edilerek değerlendirilmiştir. Ayrıca bu bölgedeki radar görüntüleri de MGM'den elde edilerek çalışmada değerlendirilmiştir.



Şekil 2: 11.08.2021 00:00 GMT Yer Seviyesi Sinoptik Haritası

11.08.2021 00:00 GMT yer haritasında Karadeniz'de soğuk cephenin olduğu ve batı Karadeniz'de etkisini etkilediği görülmektedir (Şekil 2). Bu bölgede soğuk cephe ile yağışlı bir sistemin meydana geldiğini söyleyebiliriz. 11.08.2021 00:00 GMT 500 hPa haritasında yine Alçak merkezin ülkemiz üzerinde etkisi mevcuttur.



Şekil 3- 11.08.2021 00:00 GMT 500 hPa Haritası



Şekil 4- 11.08.2021 Kastamonu İli Azdavay İlçesi Saatlik Yağış(mm)



Şekil 5- 11.08.2021 Kastamonu İli Bozkurt İlçesi Saatlik Yağış(mm)



Şekil 6- 11.08.2021 Kastamonu İli İnebolu İlçesi Saatlik Yağış(mm)



Şekil 7- 11.08.2021 Kastamonu İli Küre İlçesi Saatlik Yağış(mm)



## Şekil 8- 11.08.2021 Kastamonu İli Pınarbaşı İlçesi Saatlik Yağış(mm)

11 Ağustos 2021 tarihinde Kastamonu ilinin Azdavay, İnebolu, Bozkurt, Küre ve Pınarbaşı ilçelerinde meydana gelen sel afetinde Bozkurt'da 10 saat (Şekil 5), Küre'de 9 saat (Şekil 7) yağış vuku bulmuştur. Bozkurt ve Azdavay ilçelerinde 1 saat'de 50 mm üzerinde yağış meydana gelmiştir. Özellikle Bozkurt ilçesinde 4 saat boyunca yaklaşık 180 mm yağış meydana gelmiştir (Şekil 5). Küre ilçesinde de aynı şekilde 3 saat içinde yaklaşık 110 mm yağış meydana gelmiştir(Şekil 7).



Şekil 9-11.08.2021 07:00:39 Z Zonguldak Radarı görüntüsü

Şekil 9'da 07:00:39 Z Zonguldak radar görüntüsünde görüldüğü gibi Kastamonu kıyı kesimlerde 44-55 dBZ, iç kesimlerinde 34-37 dBZ aralığında yağışların olduğu, Şekil 10'da ise özellikle Bozkurt çevresinde 44-53 dBZ şiddetli sağanak yağışların etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 10- 11.08.2021 08:18:39 Z Zonguldak Radarı görüntüsü



Şekil 11- 11.08.2021 09:00:39 Z Zonguldak Radarı görüntüsü

Şekil 11'de 09:00:39 Z Zonguldak radarında ise iç kesimlerden 37-50 dBZ aralığında yağışlar görülürken, Şekil 12'de 10:00:39 Z'de Bozkurt üzerinde 50-53 dBZ aralığında şiddetli sağanak yağışlar meydana gelmiştir.



Şekil 12- 11.08.2021 10:00:39 Z Zonguldak Radarı görüntüsü



Şekil 13- 11.08.2021 11:00:39 Z Zonguldak Radarı görüntüsü

Şekil 13'de 11:00:39 Z Zonguldak radarında ise iç Bozkurt'da 44-50 dBZ aralığında şiddetli yağışlar görülürken, Şekil 14'de özellikle 12:00:39 Z'de yağışların Bozkurt ve İnebolu üzerinde yoğunluğunu arttırdığı 50-53 dBZ aralığında şiddetli sağanak yağışların meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 14- 11.08.2021 12:00:39 Z Zonguldak Radarı görüntüsü



Şekil 15-11.08.2021 07:00:00 Z Zonguldak Radarı 3 Saatlik Toplam Yağış Görüntüsü

Şekil 15'de 11.08.2021 saat 07:00 Z 'de Zonguldak radarındaki 3 saatlik yağış toplamı Kastamonu üzerinde 10-50 mm arasında vuku bulurken, Şekil 16'da 08:00 Z'de Kastamonu kıyı kesimlerde 3 saatlik yağış toplamı 10-50 mm arasında görülmektedir.



Şekil 16- 11.08.2021 08:00:00 Z Zonguldak Radarı 3 Saatlik Toplam Yağış Görüntüsü



Şekil 17- 11.08.2021 09:00:00 Z Zonguldak Radarı 3 Saatlik Toplam Yağış Görüntüsü

Şekil 17'de 11.08.2021 saat 09:00 Z 'de Zonguldak radarındaki 3 saatlik yağış toplamı Kastamonu Bozkurt üzerinde 10-50 mm arasında vuku bulurken, Şekil 18'da 10:00 Z'de Kastamonu kıyı kesimler ve Bozkurt çevresinde 3 saatlik yağış toplamı 20-50 mm arasında görülmektedir.



Şekil 18- 11.08.2021 09:00:00 Z Zonguldak Radarı 3 Saatlik Toplam Yağış Görüntüsü


Şekil 19- 11.08.2021 07:00:00 GMT MSG4 Uydu Görüntüsü

11.08.2021 tarihi 07:00 GMT MSG4 Uydu bulut görüntüsünde Kastamonu üzerirnde soğuk kalın yüksek seviye bulutlar yer almaktadır(Şekil 19). 08:00 GMT MSG4 uydu bulut görüntüsünde de Kastamonu üzerinde soğuk bulutların durumunu aynı şekilde devam ettirdiği görülmektedir.



Şekil 20- 11.08.2021 08:00:00 GMT MSG4 Uydu Görüntüsü



Şekil 21- 11.08.2021 09:00:00 GMT MSG4 Uydu Görüntüsü

11.08.2021 tarihi 09:00 GMT MSG4 Uydu bulut görüntüsünde yine Kastamonu üzerinde soğuk kalın yüksek seviye bulutlar yer almaktadır(Şekil 21). 10:00 GMT MSG4 uydu bulut görüntüsünde de Kastamonu üzerinde soğuk bulutların yoğunluğunu arttırarak geniş bir alana yayıldığı görülmektedir (Şekil 22).



Şekil 22- 11.08.2021 10:00:00 GMT MSG4 Uydu Görüntüsü



Şekil 23- Kastamonu Uzun Yıllar Şiddetli Yağış ve Sel Afeti Grafiği (1990-2022)

Kastamonu İli uzun yıllar (1990-2022) şiddetli yağış ve sel afeti grafiğine bakıldığında en fazla sel afetinin sırasıyla 2022, 2019, 2009 ve 2015 yıllarında meydana geldiği görülmektedir (Şekil 23).



Kastamonu Aylık Meteorolojik Afet Grafiği (1990-2022)

Şekil 24- Kastamonu Aylık Şiddetli Yağış ve Sel Afeti Grafiği (1990-2022)

Kastamonu ili uzun yıllar (1990-2022) aylık şiddetli yağış ve sel afeti dağılım grafiğine bakıldığında en fazla sel afetinin sırasıyla Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Mayıs ve Ekim aylarında meydana geldiği görülmektedir (Şekil 24).

#### **3.SONUÇLAR**

- Batı Karadeniz bölgesinde başlayan aşırı yağışlar sonucunda, Kastamonu ilinin Azdavay, İnebolu, Bozkurt, Küre ve Pınarbaşı ilçelerinde sel afeti meydana gelmiştir. Yaşanan sel nedeniyle Kastamonu ilinde 71 vatandaşımız hayatını kaybetmiştir.
- Bozkurt ve Azdavay ilçelerinde 1 saat'de 50 mm üzerinde yağış meydana gelmiştir. Bozkurt ilçesinde 4 saat boyunca yaklaşık 180 mm yağış meydana gelmiştir. Küre ilçesinde de aynı şekilde 3 saat içinde yaklaşık 110 mm yağış meydana gelmiştir.
- 09:00:39 Z Zonguldak radarında iç kesimlerden 37-50 dBZ aralığında şiddetli yağışlar görülürken, 10:00:39 Z'de Bozkurt üzerinde 50-53 dBZ aralığında şiddetli sağanak yağışlar meydana gelmiştir.
- Zonguldak radarındaki 3 saatlik yağış toplamı Kastamonu Bozkurt üzerinde 10-50 mm arasında vuku bulurken, 10:00 Z'de Kastamonu kıyı kesimler ve Bozkurt çevresinde 3 saatlik yağış toplamı 20-50 mm arasında görülmektedir.

## KAYNAKLAR

[1] https://kastamonu.afad.gov.tr/kurumlar/kastamonu.afad/irap/IRAP-KASTAMONU-2021.pdf

[2] MGM, Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanlığı

[3] https://www.afad.gov.tr/bartin-kastamonu-ve-sinopta-meydana-gelenyagislarhakkinda---2100

[4] MGM, Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü

[5] MGM, Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü

[6] MGM, Meteorolojik Afetler Şube Müdürlüğü

# Vaka Çalışması: Antalya ili Manavgat ilçesinde 11 Ocak 2018'de Meydana Gelen Ani Taşkının FFGS Ürünleri ile Analizi

#### **Ertan TURGU**

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü Ankara eturgu@mgm.gov.tr

Alaattin UĞURLU Meteoroloji Genel Müdürlüğü Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü Ankara augurlu@mgm.gov.tr

## ÖZET

Ani taşkın olayları meteorolojik karakterli doğal afetler arasında en yüksek can ve mal kaybına yol açmaktadır ve Dünya Meteoroloji Teşkilatının yaptığı çalışmaya göre dünyada meydana gelen taşkınların %85'i Ani Taşkın, %15 ise nehir taşkını şeklindedir. Taşkın öncesi ve sonrasında olayların araştırılması ve incelenmesi doğal afetler konusunda tecrübelerin arttırılmasında önemlidir. Bu çalışmada Antalya ili Manavgat ilçesinde 11 Ocak 2018'de şiddetli yağışlara bağlı olarak meydana gelen ani taşkın olayı incelenmiştir. Çalışmada ani taşkına neden olan meteorolojik şartlar incelenerek, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nde kullanılan Ani Taşkın Uyarı Sisteminin (FFGS) ani taşkın erken uyarısı verme kabiliyeti ortaya konmuştur. Ani taşkına zemin hazırlayan meteorolojik koşullar, yağış şiddet-süre-tekerrür analizi, sinoptik analizler, uydu, radar, temp diyagramı incelenmiş ve sonuçta Manavgat'da yaşanan ani taşkın olayına Orta Ege denizi üzerinde 1010.4 hPa civarında konuşlanan bir alçak basınç merkezi ve buna bağlı cephesel sistemle ilişkili sıcak cephenin neden olduğu belirlenmiştir. Yağışın birdenbire şiddetlenmesi toprağın hızla neme doyarak ani taşkın oluşturmasına yardımcı olmuştur. Manavgat ilçesinde 11 Ocak 2018 23:00 ile 12 Ocak 00:00 UTC arasında 35.1 mm'lik şiddetli yağış sonrasında meydana gelen ani taşkın uyarısını ALADIN-FFFT-06, ECMWF-FFFT-06 ve WRF FFFT-06 ürünleri 11 Ocak 2018 18:00UTC'de vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Ani taşkın erken uyarı sistemi (FFGS), Manavgat, ani taşkın, sel

## 1.GİRİŞ

Ani taşkınlar dünyanın bir çok yerinde olduğu gibi Türkiye'de de önemli ekonomik, sosyal zararlara ve can kaybına neden olmaktadır. Genelde ani taşkınların oluşmasında doğal nedenler olarak yavaş hareket eden oraja bağlı şiddetli yağışlar, dik eğimli arazilerde orografik yağışlar, suya doygun toprak üzerine veya geçirimsiz toprak yüzeyi üzerine yağışlar ve dere veya kanalın yetersiz hidrolik özellikleri rol oynamaktadır. Birleşmiş Milletler (BM) tarafından doğa kaynaklı afetler, toplumun sosyo-ekonomik ve sosyo-kültürel faaliyetlerini önemli ölçüde aksatan, can ve mal kayıplarına neden olan fakat yerel imkânlar ile baş edilemeyen doğa olayları olarak tanımlanmıştır.

Ani taşkın, Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) tarafından "nispeten yüksek pik debi nedeniyle kısa sürede oluşan taşkın" şeklinde tanımlanmıştır [1]. Amerikan Meteoroloji Cemiyeti (AMS)'nin ani taşkın tanımında ise "şiddetli yağış sonucunda nispi olarak küçük alanlarda meydana gelen, çok kısa bir sürede gerçekleşen ve önceden uyarı verilme şansı az olan derelerde debinin aniden yükselmesi ve alçalmasıdır" [2] şeklindedir. FFG değeri, belirli bir süre içinde (1, 3, 6 saat) herhangi bir alt havza çıkışında drenaj kanalının banket seviyesine kadar dolması için gerekli aktüel yağış miktarıdır (mm)[3] [4]. FFG değeri FFG modelinden elde edilmektedir. FFG modeline girdi olarak yüzey akış eşik değeri (Threshold Runoff) ve toprak nemi su açığı girmektedir. Her bir alt havza için yüzey akış eşik değerleri sadece bir kez hesaplanmaktadır [5].

Türkiye, atmosfer kökenli doğal afetlerin çok sık ve yaygın olarak görüldüğü bir orta kuşak ülkesidir. Hava kütlelerinin oluşum ve hareket alanlarına göre Türkiye'nin konumu ve topografik koşulları bu tür afetlerin oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Türkiye sıcak ve soğuk karalar ve denizler arasında yer aldığından çok farklı hava kütlelerinin etkisi altındadır. Orta kuşak fırtınalarına kaynak oluşturan Akdeniz havzasında bulunduğundan buradan kaynaklanan fırtına sistemlerinin yolu üzerindedir. Türkiye yüksek (ortalama 1132m) ve engebeli bir arazi yapısına sahiptir. Bu nedenle şiddetli yağış, yağmur, kar, dolu, tipi, çığ, sel, sis, don, orman yangınları, tarımsal zararlılar, kuraklık, çölleşme, kuvvetli rüzgâr, fırtına, yıldırım gibi şiddetli meteorolojik olaylara bağlı doğal afetlerin yoğun olarak görüldüğü ülkedir [6]. 11 Ocak 2018 tarihinde Manavgat'ta etkili olan şiddetli yağmur hayatı olumsuz etkilemiştir. (Şekil 1).



Şekil 1:Manavgat'ta yaşanan sel felaketi Kaynak:http://www.sabah.com.tr/fotohaber/yasam/ayvalik-sel-sularina-teslim-oldu/2

Bu çalışmanın amacı, 11 Ocak 2018 tarihinde Manavgat'ta meydana gelen ani taşkının oluşumuna neden olan meteorolojik şartları (yağış şiddeti, sinoptik analizler, uydu, radar, temp diyagramı, yıldırım tespit ve takip sistemi analizlerine göre) incelemektir. Diğer bir amaç ise, olay etraflıca incelendikten sonra sel olayını destekleyecek bilgilerin FFGS sisteminden elde edilen ürünlerle (örneğin toprağın neme doygunluk derecesi, yağışın ani güçlenme durumlarını da hesaba katarak) birlikte yorumlamak; ve son olarak ta tüm bu incelemelerin sonunda kullanılan veriler ve modellerden kaynaklanan belirsizlikleri de göz önüne alarak FFGS sisteminin ani taşkın erken uyarısı verme kabiliyetini ortaya koymaktır.

## 2.MATERYAL ve METOT

## 2.1.Veri

Çalışma alanı (Şekil 2) olarak, Akdeniz havzasında Manavgat (WMO Synoptic Station No:17954, ICAO name: MNGV, Rakım:38m, Enlem: 36.7895, Boylam: 31.441) ele alınmıştır.



Şekil 2: Çalışma Alanının Konumu ve FFGS Alt Havzaları (Antalya ili Manavgat ilçesi) Çalışmada veri olarak, ani taşkın öncesinde MGM'de mevcut lokal bilgiler, AWOS bilgileri, uydu, radar, sayısal hava tahmin modeli (ALARO), yıldırım tespit ve takip sistemi, kararsızlık ürünleri ve FFGS ürünleri kullanılmış ve çıktıları değerlendirilmiştir. Şekil 3'de Manavgat AWOS kayıtlarına göre 16:00 UTC den itibaren önce azalan sonra artan yağış miktarları bulunmaktadır. Yağış intensitesi 11 Ocak saat 23:00 ile 12 Ocak 00:00 UTC arasında 35.1 mm/saat ile maksimuma ulaşmıştır.



Şekil 3: Manavgat AWOS (Otomatik Meteoroloji İstasyonu) Değerleri

Taşkının meydana geldiği güne ait standart zamanlardaki maksimum yağışlar bulunmuş ve tekerrür analizi (Tablo 1) yapılmıştır. Bu amaçla standart zamanlardaki (5, 10, 15, 30 dk, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 ve 24 saat) maksimum yağış değerleri tespit edilmiştir. Yağış-Şiddet-Süre Tekerrür analizleri yapılarak 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür periyotlarında olması muhtemel yağış miktarı hesaplanmaktadır. Yağışların çeşitli büyüklükleri ve bunların frekansları arasındaki ilişkiyi veren yağış frekans değerlerine göre olasılık dağılım fonksiyonlarının Khi Kare ve Kolmogrov-Simirnov uygunluk sınamalarından geçirilerek diziye en iyi uyan Uygun Dağılım Fonksiyonu (UDF) olarak Manavgat verisi için Log-Pearson 3 bulunmuştur.

Tarih	Başlama	Bitiş	Devam (dak)	Miktar (mm)	Şiddet mm/sa	UDF:LP3 Tekerrür(yıl) Manavgat
11 Ocak 2018	23:12	23:17	5	10.5	126.	<2
11 Ocak 2018	23:08	23:18	10	14.3	85.8	<2
11 Ocak 2018	23:10	23:25	15	17.9	71.6	<2
11 Ocak 2018	23:11	23:41	30	25.5	51.0	<2
Ocak 2018	11 23:06	12 00:06	60	36.9	36.9	2
Ocak 2018	11 22:31	12 00:31	120	46.0	23.0	2
Ocak 2018	11 21:26	12 00:26	180	48.5	16.2	<2

Tablo 1: Manavgat yağış-şiddet-süre-tekerrür analizi

Ocak 2018	11 21:23	12 01:23	240	49.5	12.4	<2
Ocak 2018	11 19:41	12 00:41	300	49.6	9.9	<2
Ocak 2018	11 18:26	12 00:26	360	50.0	8.3	<2
Ocak 2018	11 13:23	12 01:23	720	60.3	5.0	<2
Ocak 2018	11 15:32	12 15:32	144	62.7	2.6	<2

12 Ocak 2018 tarihinde 15:32 GMT ye kadar son 24 saatte 62.7 mm'lik yağış (Tablo 1) ölçülmüştür. Manavgat'ın 1991-2020 periyodundaki geçmiş kayıtlarına bakıldığında Ocak ayı yağış normali 252.4 mm yağış son 24 saatteki 62.7 mmlik şiddetli yağışla karşılaştırıldığında sadece 1 günde Ocak ayı normalin dörtte biri kadar yağış düştüğü görülmektedir. Manavgat uzun yıllar yağış normali (1991-2020) ise 1105.7 mm dir.

#### 2.2.Yöntem

Çalışma yöntemi olarak, 11 Ocak 2018 tarihinde Manavgat'ta meydana gelen ani taşkın hadisesine neden olan meteorolojik şartlar incelenmiş ve FFGS model sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu amaçla sinoptik ölçekli hava sistemlerinin yapısını araştırmak için MGM'de kullanılan METCAP programından faydalanılarak sinoptik analizler (yer kartı, 850 hPa, 500 hPa ve 300 hPa) yapılmıştır. Uydu analizleri için EUMETSAT MSG IR Operasyonel Analiz ve Tahmin Sistemi ürünü kullanılmıştır. Radar analizleri için Türkiye'de kurulu Antalya radarına ait ürün çıktılarından yararlanılmıştır. Temp diagramı analizinde Wyoming Üniversitesi tarafından hazırlanan Isparta 17240'a ait Skew-T Log-P diyagramı değerlendirilmiştir. Her hangi bir alt havzada ani taşkın olabilirliğini hesaplamak ve erken uyarı ürünleri elde etmek için Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi (FFGS) ürünleri (özellikle toprak nem durumu haritaları, tehlike haritaları, yağış ürünleri) kullanılmıştır.

## **3.SİNOPTİK ANALİZLER**

#### 3.1.Yer Sinoptik Haritası

11 Ocak 2018 12:00 UTC yer kartında (Şekil 4) Antalya ili Manavgat ilçesinde sel'e yol açan olayda rol oynayan cephe sistemi, Orta Ege denizi üzerinde 1010.4hPa civarında alçak basınç merkeziyle ilişkili sıcak cephedir. Akdeniz'den gelen sıcak ve nemli hava Antalya ili Manavgat ilçesinde şiddetli yağışlara neden olmuştur.



Şekil 4: 11 Ocak 2018 12:00 UTC Yer Kartı, Kaynak:Metcap

# 3.2.850 hPa Sabit Basınç Seviye Haritası

11 Ocak 2018 12:00 UTC 850 hPa haritasında (Şekil 5) Orta Ege denizinde izotermlere paralel uzanan soğuk cephe, en fazla izoterm gradyanının (sıkışmasının) bulunduğu bölgede bulunmaktadır. Manavgat üzerinde izobarlara paralel esen rüzgarlar sıcak adveksiyona (havanın yatay hareketine) neden olmaktadır. Bu da o bölgenin sıcaklığının artacağı anlamına gelmektedir.



Şekil 5: 11 Ocak 2018 12:00 UTC 850 hPa, Kaynak:Metcap

# 3.3.500 hPa Yüksek Seviye Haritası

Şekil 6'de Bulgaristan, Almanya ve İspanya'nın doğusunda (5470m civarı) alçak merkezlerden (L) dışa doğru yayvan oluşan trof vardır. Trof gerisinde çökme (sübsidans) ve konverjans alanları vardır. Aşağı doğru çöküşten dolayı dikine faaliyet olmadığından trof gerisinde faaliyet yoktur. Trof önünde atmosferik dikey hareketler (güney-batılı rüzgarlar) ve diverjans alanları vardır. Bu suretle etkili ve sürekli yağışlar meydana gelmiştir. Antalya ili Manavgat ilçesi için yer kartında okunan sıcaklık 18 °C iken; 500 hPa seviyesinde sıcaklık -20 °C dir. Bu sıcaklık farkı 38 °C olup kararsız atmosferik şartları belirtmektedir.



Şekil 6: 11 Ocak 2018 12:00 UTC 500 hPa Haritası, Kaynak:Metcap

# 3.4.300 hPa Yüksek Seviye Haritası

Şekil 7'de Jet akımları Antalya ili Manavgat ilçesi üzerinde güneyden 9120 metrede 75 knot civarı hızla esmektedir.



Şekil 7: 11 Ocak 2018 12:00 UTC 300 hPa Yüksek Seviye Haritası, Kaynak: Metcap

# 4.UYDU ANALİZ

EUMETSAT Precipitation Clouds ürünü en yüksek korelasyona sahip olan doğrusal bir kombinasyon ile yağış oluşumu olasılığı hakkında bilgi verir. Antalya ili Manavgat ilçesi için 11 Ocak 2018 23:30 UTC'de EUMETSAT PC1 ürünü %35-%45 olasılıkla yağış göstermektedir.



Şekil 8: 11 Ocak 2018 23:30 UTC de EUMETSAT PC1 Yağış Olasılığı (Precipitation Probability) görüntüsü

## **5.RADAR ANALİZ**

Şekil 9 Antalya radarında soldaki görüntüde 23:00UTC'de son 1 saatte toplam yağış (Rain1 Accumulation) 5-8 mm gözükmektedir. Şekil 9 sağdaki görüntüde 23:24 UTC itibarıyla MAX ürününe göre 55-60dBz arasında yağış yansıma oranı görünmektedir. Sağdaki görüntüde Squall hattı bariz olarak görülmektedir. Aslında squall hattı özellik olarak soğuk cephe özelliklerine benzerler; ancak soğuk cepheyle bir bağlantısı yoktur. Squall hattı aktif ve dar oraj (thunderstorm, Kümülonimbus) bandıdır. Squall hatları, kümülonimbus ve iyi gelişmiş kümülüs bulutlarının yarattığı gök gürültüsü, şimşek, hamleli yer rüzgarı, türbülans, kuvvetli yağmur sağanağı, kuvvetli dikey hareket ile karakterize edilirler. Rüzgar yönü, squall hatlarının önünde güneyli (güneyden esen) iken hattın hemen üzerinde batılı, hattın gerisinde ise kuzeyli esecek şekilde keskince yön değiştirmektedir.



Şekil 9:Antalya Radarı 11 Ocak 2018 Görüntüsü, solda 23:00UTC de RAIN1 (mm) olarak; sağda:23:24UTC de MAX ürünü dBZ(Yağış Yansıma Oranı) olarak

# 6.TEMP DİYAGRAMI ANALİZİ

Bu bölümde Temp analizinde Wyoming Üniversitesinin web sayfasından alınan Isparta 17240 Radyosonde istasyonunun 11 Ocak 2018, 12:00UTC tarihine ait Skew-T Log-P diagramı analiz edilmiştir. Isparta için gözlemlenen radiosonde değerlerine göre yerden 10 kilometreye kadar uzanan troposfer tabakasının alt kısımlarında jeopotansiyel olarak 4237 metrede veya yer seviyesinden 600 hPa'lik basınca ulaşıncaya kadar sıcaklığın (sıcaklık ve işba sıcaklığı) atmosfer sütunu boyunca durumunu ifade eden çizgiler dikey atmosfer boyunca durumunu ifade eden çizgiler birbirlerine çok yakınlaşmışlardır. Bunun anlamı yerden itibaren 600 hPa'ya kadar çok nemli hava olduğunu göstermektedir. Yer seviyesinden jeopotansiyel olarak 600 hPa'lik basınca kadar rüzgarların güneyli ve batılı olduğu görülmektedir. Manavgat'ta ani taşkına yol açan olayda atmosferin dikey profilindeki kararsızlıkları belirlemek amacıyla Şekil 10'nin sağ tarafında da görülen kararsızlık indeksleri incelenmiştir. Skew-T Log-P diyagramında indeks değerlerine göre Lifted indeks değeri 3.40 dir. Bu değer düşük şiddette kararsız havayı temsil etmektedir. K indeks değeri 26.0 olup oraj ile yoğun yağmur yada şiddetli hava olasılığı var demektir. SWEAT indeks değeri 242.3 olup kısmen şiddetli oraj oluşabilir demektir. Showalter Stability Indeks değeri 3.74 olup kararlı fakat zayıf konveksiyon ihtimali var. CAPE (Konvektif harekete izin veren potansiyel enerji) indeksi 0 olup düşük şiddette kararsız demektir.



Şekil 10: Isparta 17240 Radyosonde İstasyonu için Skew-T Log P diagramı. Kaynak: University of Wyoming.

## 7.YILDIRIM TESPİT ve TAKİP SİSTEMİYLE ANALİZ

Şekil 11'de Antalya ili Manavgat ilçesinde 11 Ocak 2018 23:00 ile 12 Ocak 2018 00:00 UTC arasında şiddetli yağış neticesinde sel olayı meydana gelirken yıldırım ve şimşeğin oluşturduğu elektriksel hücrenin belirli aralıklarla yeri, hareket yönü ve hızı görünmektedir.



Şekil-11:Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi Görüntüsü: 11 Ocak 2018 23:00 - 12 Ocak 2018 00:00 UTC Kaynak: http:///192.168.23.195/linetview/pages/index.html

# 8.FFGS ÜRÜN ANALİZLERİ

## 8.1.Toprak Nemi Haritası (Average Soil Moisture)

Şekil 12-b'de ASM\_06hr haritasında Antalya ili Manavgat ilçesi için 11 Ocak 2018 06:00 UTC itibarıyla son 6 saatte toprak nemi mavi renkte doygun (0.97 ile 0.99 arasında) görünmektedir.



Şekil 12: Toprak Nemi Haritası, ASM\_6hr (a) ve çalışma alanı büyütülmüş(b) Kaynak: [7]

# 8.2.Ani Taşkın Kılavuz Değeri (FFG)

FFG değeri, belirli bir süre içinde (1, 3, 6 saat) herhangi bir alt havza çıkışında drenaj kanalının banket seviyesine kadar dolması için gerekli aktüel yağış miktarıdır (mm). Şekil 13-b'de FFG değeri Antalya ili Manavgat ilçesi için 11 Ocak 2018 18:00 UTC'den itibaren 6 saatte (9.37mm ile 14.40 mm arasında mor renkli) görünmektedir.



Şekil 13: FFG\_06hr Haritası(a) ve çalışma alanı büyütülmüş(b) Kaynak:[7]

# 8.3.Tahmini Alansal Yağış Değeri (FMAP)

# 8.3.1.ALADIN\_FMAP\_24hr



Şekil 14: ALADIN\_FMAP\_24hr Haritası(a) çalışma alanı büyütülmüş(b)Kaynak: [7]

Şekil 14-b'de ALADIN\_ALARO\_FMAP\_24hr haritasında Antalya ili Manavgat ilçesi için 11 Ocak 2018 18:00 UTC'den itibaren 24 saatte mavi, yeşil ve sarı renkte (35.48mm ile 69.75mm arasında) alansal yağışı tahmin etmiştir.

# 8.3.2.ECMWF\_IFS\_FMAP\_24hr



Şekil 15: ECMWF\_IFS\_FMAP\_24hr Haritası(a) ve çalışma alanı büyütülmüş(b) Kaynak:[7]

Şekil 15-b'de ECMWF\_IFS\_FMAP\_24hr haritasında Antalya ili Manavgat ilçesi için 11 Ocak 2018 18:00 UTC'den itibaren 24 saatte mavi renkte (27.21mm ile 37.81mm arasında) alansal yağışı tahmin etmiştir.

# 8.3.3.WRF\_FMAP\_24hr



Şekil 16: WRF\_FMAP\_24hr Haritası(a) ve çalışma alanı büyütülmüş(b) Kaynak:[7]

Şekil 16-b'de WRF\_FMAP\_24 hr haritasında Antalya ili Manavgat ilçesi için 11 Ocak 2018 18:00 UTC'den itibaren 24 saatte mavi, yeşil ve sarı renkte (24.22mm ile 68.30mm arasında) alansal yağışı tahmin etmiştir.

# 8.4.Ani Taşkın Erken Uyarısı Veren Tehlike Haritaları (FFFT)

Ani taşkın tehlikesi (**FFFT**) tanım olarak, su banket seviyesini aştıktan sonra taşkına neden olan yağış miktarıdır (mm).

# 8.4.1.Tahmini Taşkın Tehlike Haritası (ALA\_FFFT\_06)



Şekil 17: ALA\_FFFT\_06hr Haritası,11 Ocak 2018 18:00 UTC Kaynak: <u>https://bsmeffg.mgm.gov.tr/ERTFFT</u>

Şekil 17'de ani taşkın tehlikesi bulunan alt havzaları Google Maps üzerinde gösteren haritada ALADIN\_FFT değerleri 0.41 mm/6hr ile 6.62 mm/6hr arasında değişmektedir. Örnek olarak

ALADIN FFFT-06hr haritasında ALAD-FMAP-06:18.31 mm/6hr, Yağış kayıplarıyla birlikte yağış eşik değeri (FFG-06):12.54 mm/6hr ve aradaki fark yani taşkın tehlike miktarı ALADIN\_FFFT-06: 5.77 mm/6hr dir.



8.4.2.Tahmini Taşkın Tehlike Haritası (ECMWF\_FFFT\_06)

Şekil 18: ECMWF\_FFFT\_06hr Haritası,11 Ocak 2018 18:00 UTC Kaynak: https://bsmeffg.mgm.gov.tr/ERTFFT

Şekil 18'de Ani taşkın tehlikesi bulunan alt havzaları Google Maps üzerinde gösteren haritada ECMWF\_FFFT değerleri 0.06 mm/6hr civarındadır. Örnek olarak ECMWF FFFT-06hr haritasında ECMWF-FMAP-06:11.78 mm/6hr, Yağış kayıplarıyla birlikte yağış eşik değeri (FFG-06):9.37 mm/6hr ve aradaki fark yani taşkın tehlike miktarı ECMWF\_FFFT-06: 2.41 mm/6hr dir.



8.4.3.Tahmini Taşkın Tehlike Haritası (WRF\_FFFT\_06)

Şekil 19: WRF\_FFFT\_06hr Haritası,11 Ocak 2018 18:00 UTC Kaynak: https://bsmeffg.mgm.gov.tr/ERTFFT

Şekil 19'de Ani taşkın tehlikesi bulunan alt havzaları Google Maps üzerinde gösteren haritada WRF-FFFT değerleri 1.90 mm/6hr ile 8.52 mm/6hr arasında değişmektedir. Örnek olarak WRF FFFT-06hr haritasında WRF-FMAP-06:16.91 mm/6hr, Yağış kayıplarıyla birlikte yağış eşik değeri (FFG-06):12.54 mm/6hr ve aradaki fark yani taşkın tehlike miktarı WRF\_FFFT-06: 4.37 mm/6hr dir.

# 9.SONUÇLAR

• MGM Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü 10 Ocak 2018 de saat 12:20 de Uyarı No: 0011 ve Uyarı kodu: Normal olarak kuvvetli yağış uyarısı yapmıştır.

	TARIM VE OF METEOROLOJI (	METEOROLOJI	
Tarih : 10.01.2018	Saat : 12:20	Uyarı No : 0011	Uyarı Kodu: Normal
Uyarı Yapan Merkez Genel Başlık Beklenen Hadise Hadisenin Şiddeti Beklendiği Yer	Analiz ve Tahminler Şı Antalya'nın Doğusunda Sağanak Yağış Kuvvetli Yağış 11.01.2018 Perşembe yer gök gürültülü sağa saatlerine kadar Serik, kuvvetli olması ve topl beklendiğinden meyda olunması gerekmekted	ibe Müdürlüğü a Kuvvetli Yağışlara Dikkat! günü Antalya çevrelerinde nak yağışların, 13.01.2018 Manavgat, İbradı ve Aksek amda metrekareye 80-120 na gelebilecek olumsuzluklı ir.	başlayacak sağanak ve yer Cumartesi günü akşam di ilçelerinde aralıklarla kg yağış bırakması ara karşı dikkatli ve tedbirli
Geçerlilik Periyodu	11.01.2018 12:00-13.0	01.2018 18:00	
Oluşması Muhtemel Riskle	r		

Şekil 20: MGM Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü Uyarısı. Kaynak: http://uyari.mgm.gov.tr/Uyari/raporArsivGoster.aspx

- Antalya ili Manavgat ilçesinde meydana gelen ani taşkın olayı ile ilgili olarak buna neden olan meteorolojik şartlar (yağış intensitesi, sinoptik analizler, uydu, radar, sounding analizlerine göre) incelenmiştir. Buna göre 11 Ocak 2018 23:00 ile 12 Ocak 2018 00:00 UTC arasında Antalya ili Manavgat ilçesinde şiddetli yağışlar neticesinde sel'e yol açan olayda rol oynayan cephe sistemi, Orta Ege denizi üzerinde 1010.4hPa civarında alçak basınç merkeziyle ilişkili sıcak cephedir. Akdeniz'den gelen nemli ve sıcak hava Antalya ili Manavgat ilçesinde şiddetli yağışlara neden olmuştur.
- 11 Ocak 2018 tarihinde Manavgat'ta meydana gelen sel taşkın öncesinde FFGS modeli uyarı vermiştir (Tablo 2).

Tablo 2: Manavgat için FFGS uyarısı Kaynak: https://bsmeffg.mgm.gov.tr/ERTFFT

Ülke S	eçiniz:	Türkiye ▼	Tarih Seçiniz (yyyyaagg):	20180	111		Taşkı	n Tehlike	Ürünü:	ALADIN	FFFT V	Füncelleme	sa(UTC):	18 🔻	GÖNDER	AÇIKLA	MA	(	3 🕀
	UYARI T	arih&Saat	i:20180111-180	00	FFI	T(mm/	6sa)	FFT(m	im/6sa)		FMAP Yağ	jış Tahmini	(mm/бsa ve	mm/24sa	)	GaugeMAP	MERGED	ASM	FFG
MODEL	BÖLGE	ίι	İLÇE	HavsaNo	ALAD	ECMWF	WRF	PFFT	IFFT	ALAD (06)	ALAD (24)	ECMWF (06)	ECHWF (24)	WRF (06)	WRF (24)	mm/6sa	mm/6sa	*	mm/6sa
ALA	4-Antalya	ANTALYA	MANAVGAT	2021505562	6.10	0.00	2.44	0.00	0.00	18.62(<-2)	69.75(<-2)	10.50(<-2)	24.34(<-2)	14.96(<-2)	33.37(<-2)	9.75	1.09	0.98	12.52
ALA	4-Antalya	ANTALYA	MANAVGAT	2021505585	6.62	2.41	8.52	0.00	0.00	19.99(<-2)	56.22(<-2)	11.78(<-2)	27.21(<-2)	22.37(<-2)	37.05(<-2)	6.80	0.09	0.97	9.37
ALA	4-Antalya	ANTALYA	MANAVGAT	2021505586	5.77	0.00	4.37	0.00	0.00	18.31(<-2)	57.99(<-2)	12.41(<-2)	24.49(<-2)	16.91(<-2)	31.76(<-2)	11.60	0.02	0.97	12.54
ALA	4-Antalya	ANTALYA	MANAVGAT	2021505589	0.41	0.00	1.90	0.00	0.00	16.67(<-2)	35.48(<-2)	10.58(<-2)	19.62(<-2)	18.33(<-2)	47.58(<-2)	10.48	14.73	0.99	14.40

 Türkiye'de cephesel yağış sistemleri ve/veya konvektif yağış şeklinde meydana gelen şiddetli yağışlar sonucu oluşan sel ve taşkınlarda ana unsur yağış olmakla beraber aynı zamanda jeomorfolojik yapı, çarpık şehirleşme, dere üzerinde sonradan yapılan yollar için derenin daraltılması, dere ıslahı gibi uygulamaların önemli rol oynadığı unutulmamalıdır. Gelecekte bu tür sorunlar halledilmeden ani taşkınları sadece uydu, radar, numeric model ve benzeri gelişmiş teknolojik ürünlerle tahmin etmek kolay olmayacaktır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Seyfried, M. S., and B. P. Wilcox, Scale and the Nature of Spatial Variability: Field Examples Having Implications for Hydrologic Modeling, Water Resour. Res., 31(1), 173– 184, doi:10.1029/94WR02025, 1995.
- [2] American Meteorological Society (AMS), Glickman, T.S (Ed.), Glossary of Meteorology.,
  2nd Ed. American Meteoro-logical Society, Boston, 855 pp., 2000a.
- [3] Georgakakos Konstantine P., Realtime Flash Flood Predictions, Journal of Geophysical Research, 1987.
- [4] Georgakakos Konstantine P., Hydrometeorological Models for Realtime Rainfall and Flow Forecasting, Water Resources Publications, 2002.
- [5] T.M.Carpenter, J.A.Sperfslage, K.P.Georgekakos, T.Sweeney, D.L.Fread, National Threshold Estimation Utilizing GIS in Support of Operational Flash Flood Warning Systems, Journal of Hydrology, 1999.
- [6] C.Şahin, S. Sipahioğlu., Doğal Afetler ve Türkiye, Ankara, 2002.
- [7] BSMEFFG Real-Time Product Console v.1.0, HRC, Release Date: June 2013: BSMEFFG Real-Time Product Console Operational Output Product Descriptions. https://212.175.180.79/CONSOLE/page\_reference\_product\_definitions.php

# Adana Bölgesi'ni Kapsayan Havalimanlarında Meydana Gelen Gök Gürültülü Fırtınaların Zamansal ve Mekânsal Analizi; 24 Aralık 2019 Örnek Olay Çalışması

Esra Daşdemir Meteoroloji Genel Müdürlüğü İncirlik Meydan Müdürlüğü Adana dasdemires@itu.edu.tr

Ali Deniz Meteoroloji Mühendisliği Bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul denizali@itu.edu.tr

Emrah Tuncay Özdemir Meteoroloji Mühendisliği Bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul etozdemir@itu.edu.tr

## ÖZET

Dünya çapında her yıl meydana gelen gök gürültülü fırtınalar meteorolojik hadiseler arasında önemli bir yere sahiptir. Gök gürültülü fırtınalar; dolu, yıldırım, kasırga, hortum gibi tehlikeli hava olaylarıyla ilişkili olduğundan can ve mal kayıplarına sebep olabilmektedir. Bu çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) 'ne bağlı olan ve 6. Bölge Müdürlüğü olarak sınıflandırılan Adana Bölge Müdürlüğü (ABM)'ye bağlı havalimanlarında meydana gelen gök gürültülü fırtınalar incelenmiştir. Bu havalimanları Adana Havalimanı (International Civil Aviation Organization [ICAO] kodu: LTAF), Adana İncirlik Hava Üssü (ICAO kodu: LTAG), Gaziantep Havalimanı (ICAO kodu: LTAJ), Hatay Havalimanı (ICAO kodu: LTDA)'dır. Bu çalışmada, MGM'den elde edilen 2009-2022 yılları arasını kapsayan meydan rutin hava raporu (Meteorological Terminal Airport Report [METAR]) verileri ve havacılık amaçlı seçilmiş özel hava raporu (Selected Aviation Special Weather Report [SPECI]) verileri kullanılarak gök gürültülü fırtına hadiseleri incelenmiş; bölgede şiddetli yağış, sel ve su baskınlarının yaşandığı gün olan 24 Aralık 2019 tarihi için analiz yapılmıştır. 34 saat devam eden yağış periyodunda İncirlik Meydan Meteoroloji Müdürlüğü'nde 315.8 kg yağış kaydedilmiştir. Analizlerde sinoptik haritalar, uydu ve radar görüntüleri ve Skew-T Log-P diyagramları kullanılmıştır.

# Anahtar Kelimeler: Gök gürültülü fırtına, METAR, SPECI, Uydu Görüntüsü, Radar Görüntüsü

## 1. GİRİŞ

Gök gürültülü firtınalar, dünyanın herhangi bir yerinde ve herhangi bir zamanında meydana geldikleri için tüm meteorolojik olaylar arasında özel bir öneme sahiptir. Dünya çapında, her yıl tahminen 16 milyon gök gürültülü firtına meydana gelmektedir ve herhangi bir anda ise yaklaşık 2 bin gök gürültülü firtına oluşmaktadır. Bu firtınaların yaklaşık %10'u şiddetli olarak sınıflandırılan fırtınalardır [1]. Bununla birlikte gök gürültülü firtınalar; dolu, kasırga, yıldırım, hortum gibi tehlikeli hava olayları ile ilişkilidir. Bu hava olayları sonucunda can ve mal kayıpları, kamu mallarının zarar görmesi gibi durumlar ortaya çıkabilir [2-3].

Gök gürültülü firtınalar şiddetlerine göre sınıflandırılabilir. ABD Uluslararası Meteoroloji Servisi (NWS); 50 knotlık (saatte 93 km) ya da daha büyük rüzgâr hamlesi, çapı 2.5 cm ya da daha büyük dolu veya hortum olaylarından birine ya da birkaçına sebep olan fırtınayı şiddetli fırtına olarak tanımlamıştır [4]. Fırtınalar iki temel kategori olan sıradan (ordinary cell) fırtına hücreleri ve süper hücrelerden (supercell) oluşur. Çok hücreli fırtınalar; farklı aşamalardaki birkaç tek hücreli (singlecell) gök gürültülü fırtınanın birleşiminden, süper hücrelerden veya her ikisinin karışımlarından oluşabilir. Tek hücreli fırtınalar kısa ömürlü iken (yaklaşık 30-60 dakika), çok hücreli fırtınaların döngüsü birkaç saat sürebilir. Bunun sebebi fırtınaların her birinin kümülüs, olgunluk, dağılma denilen üç farklı gelişme evresinde olmasından kaynaklanır. En sık görülen fırtınalar tek hücreli fırtınalar olsa da, şiddetli hava raporlarının büyük çoğunluğunda çok hücreli fırtınalar meydana gelmektedir [5].

Şiddetli gök gürültülü fırtına tespiti ve bununla birlikte fırtına klimatolojisi oluşturmak için istasyon gözlemlerine, uydu - radar sistemleri ve yıldırım ağları gibi uzaktan algılama ürünlerine ihtiyaç duyulmaktadır [6]. Taszarek ve diğerleri (2019), bu yöntemleri ayrı ayrı kullanarak şiddetli gök gürültülü fırtına klimatolojisi oluşturmuştur. 40 yıllık (1979-2017 yılları arası) verinin kullanıldığı

bu çalışmada, fırtına aktivitesinin en sık batı ve güneydoğu Avrupa'da Mayıs ve Haziran ayları; doğu, kuzey ve orta Avrupa'da Temmuz ve Ağustos ayları, Türkiye'nin doğusunda ise Nisan ve Mayıs aylarında meydana geldiği görülmüştür.

Literatürde Türkiye'nin değişik şehirlerinde meydana gelen gök gürültülü fırtına analizlerinin yapıldığı birçok çalışma bulunmaktadır [7-11].

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'ye bağlı olan ve 6. Bölge Müdürlüğü olarak sınıflandırılan Adana Bölge Müdürlüğü (ABM)'ye bağlı iller Adana, Mersin, Hatay, Osmaniye, Kahramanmaraş, Gaziantep ve Kilis'tir. Bu bölgede bulunan ve çalışma alanı olan havalimanları ise Adana Havalimanı (AHL), İncirlik Hava Üssü (İHÜ), Gaziantep Havalimanı (GHL), Hatay Havalimanı (HHL)'dir. Çalışmanın amacı; Türkiye'nin Akdeniz bölgesinin orta kıyı kesimlerinde bulunan ve güneydoğu Anadolu bölgesinin batısında bulunan bu illerdeki havalimanlarında meydana gelen şiddetli gök gürültülü fırtına hadiselerinin araştırmasını yapmaktır. Mekânsal ve zamansal analizde; meteorolojik gözlemler kullanılmıştır. Bölgede en şiddetli hava hadiselerinin yaşandığı gün olan 24 Aralık 2019 tarihi için örnek olay çalışması yapılmıştır. Analizlerde sinoptik haritalar, uydu ve radar görüntüleri ve Skew-T Log-P diyagramları kullanılmıştır.

## 2. ÇALIŞMA ALANI, VERİ SETİ VE METOD

#### 2.1. Çalışma Alanı

ABM'ye bağlı olan havalimanları için araştırma yapılmıştır. Havalimanlarına ait bilgiler Tablo 1'de gösterilmiştir (Kahramanmaraş Havalimanı veri yetersizliğinden dolayı çalışmaya dâhil edilmemiştir). Havalimanlarının konumları ise Şekil 1'de gösterilmiştir.

Havalimanı	Enlem	Bovlam	Yükseklik
		5	
AHL	36.9838	35.298	20.0 m
İHÜ	37.0005	35.4183	65.0 m
GHL	36.9468	37.4617	700.0 m
HHL	36.3615	36.2829	82.0 m

Tablo 7: Çalışma alanını kapsayan havalimanlarına ait enlem, boylam ve yükseklik bilgileri



Şekil 4: Meteoroloji 6. Bölge müdürlüğüne bağlı iller ve havalimanları

#### 2.2. Veri Seti ve Method

Belirlenen havalimanları için MGM'den elde edilen 2009-2022 yılları arasını kapsayan saatlik meydan rutin hava raporu (Meteorological Terminal Airport Report [METAR]) verileri ve havacılık amaçlı seçilmiş özel hava raporu (Selected Aviation Special Weather Report [SPECI]) verileri kullanılmıştır [12]. METAR ve SPECI verilerinde hali hazır hava durumunu belirtmek için, şiddet belirtici (-,+ ve işaretsiz) ve kısaltma harfleri kullanılır. İşaret ve kısaltmalarla birlikte en az 2, en fazla 9 karakter kullanılarak doğru hadise ifade edilir [13]. Gök gürültülü fırtına hadisesi için TS kısaltması kullanılır. Şimşek ve gök gürültüsüyle birlikte yağış da var ise, TS'den sonra yağış türünü belirten yağmur (RA), kar (SN), küçük dolu (GS) ve dolu (GR) hadiselerinden biri ya da daha fazlası birlikte kullanılır. Bu kısaltmalarda şiddet belirticisi olan (-) hafif, (+) kuvvetli hadisesi "TS", havaalanında olmayıp 16 km içinde gerçekleşen yağışsız gök gürültülü fırtına hadisesi "VCTS" olarak ifade edilir. Bu iki hadise için şiddet belirticisi kullanılmaz [13]. Bu çalışmada TS kısaltmasını içeren tüm halihazır hava verileri analiz edilmiştir. Elde edilen veri sayıları olması gereken veri sayıları ile karşılaştırılmış ve veri yüzdesinin (%91 ve üzeri) araştırmaya uygun olduğu tespit edilmiştir.

## 3. ANALİZ

#### 3.1. Adana Havalimanı

Metar raporları bazı havalimanlarında yarım saatte bir hazırlanırken bazılarında saatte bir hazırlanmaktadır. Çalışmada incelediğimiz havalimanları için her saat 50 geçe hazırlanan raporlar kullanılmıştır. 2009-2022 yılları arasında gözlemlenen TS, VCTS, gök gürültülü fırtına ile birlikte hafif, mutedil, kuvvetli dolu ve yağmur sağanağı (-TSGRRA, TSGRRA, +TSGRRA); gök gürültülü fırtına ile birlikte hafif, mutedil, kuvvetli yağmur sağanağı (-TSRA, TSGRRA, TSRA, +TSRA) halihazır hava hadiseleri incelenmiştir. AHL için 14 yıllık periyotta toplam 1314 adet gök gürültülü fırtına rapor edilmiştir. 14 yıllık gözlemlenen toplam TS sayısı 153, VCTS sayısı 31 olmuştur. - TSRA hadisesi 949 ile fırtına türleri arasında en yüksek görülme sıklığına sahiptir. Bu hadise en az sayıda 2013 yılında (39), en fazla ise 2014 yılında (106) gözlenmiştir. TSRA sayısı 127 iken, +TSRA sayısı 31 olarak rapor edilmiştir. -TSGRRA sayısı 6, TSGRRA sayısı 15, +TSGRRA sayısı 2 olmuştur.

Şekil 2'de incelenen dönemde gözlemlenen yıllık gök gürültülü fırtına sayılarının hafif, orta, kuvvetli hadiseler ve gök gürültüsü (TS-VCTS) olarak yıllara göre dağılımı görülmektedir. 2018 ve 2022 yılları en çok sayıda fırtına kaydedilen yıllar olurken, 2017 en az sayıda fırtına kaydedilen yıl olmuştur.



Şekil 5: Gök gürültülü fırtına türlerinin yıllara göre dağılımı



## Şekil 6: Gök gürültülü fırtına hadiselerinin aylara göre dağılımı

Şekil 3'te 14 yıllık periyotta gözlenen toplam fırtına sayısının aylara göre dağılımı incelendiğinde fırtına hadisesinin en fazla ekim ve kasım aylarında, en az temmuz ve ağustos aylarında gerçekleştiği görülmektedir.

## 3.2. İncirlik Hava Üssü

İHÜ için 14 yıllık periyotta toplam 1674 adet gök gürültülü fırtına hadisesi rapor edilmiştir. Bu periyotta gözlemlenen toplam TS sayısı 303, VCTS sayısı 155 olmuştur. –TSRA hadisesi 940 adet ile fırtına türleri arasında en yüksek görülme sıklığına sahiptir. -TSRA hadisesi en az sayıda 2020 yılında (34) gözlenirken en fazla ise 2009 yılında (109) gözlenmiştir. Mutedil TSRA hadise sayısı toplam 166 olurken, +TSRA sayısı 96 olarak rapor edilmiştir. Şiddetli gök gürültülü sağanak yağış en çok 2019 yılında meydana gelmiştir. -TSGRRA hadisesi yalnızca 2015 yılında 1 defa meydana gelirken, toplam meydana gelen TSGRRA sayısı 8, +TSGRRA sayısı 5 olmuştur.

İncelenen dönemde gözlemlenen yıllık gök gürültülü fırtına sayılarının hafif, orta, kuvvetli olarak yıllara göre dağılımı ve TS, VCTS hadiseleri Şekil 4'te görülmektedir. En çok sayıda fırtına kaydedilen yıl 2014 olurken, 2020 en az sayıda fırtına kaydedilen yıl olmuştur. Şekil 5'te 14 yıllık periyotta gözlenen toplam fırtına sayısının aylara göre dağılımı incelendiğinde fırtına hadisesi en fazla mayıs, mart ve ekim aylarında gerçekleşirken; en az temmuz ve ağustos aylarında gerçekleşmiştir.



Şekil 7: Gök gürültülü fırtına türlerinin yıllara göre dağılımı



Şekil 8: Gök gürültülü fırtına hadiselerinin aylara göre dağılımı

## 3.3. Gaziantep Havalimanı

GHL için 14 yıllık periyotta meydana gelen gök gürültülü fırtına hadiselerinin yıllara göre dağılımı incelendiğinde, toplam gerçekleşen gök gürültülü fırtına sayısı 791 olarak rapor edilmiştir. Bu periyotta gözlemlenen toplam TS sayısı 83, VCTS sayısı ise 7 olmuştur. -TSRA hadisesi 641 adet ile fırtına türleri arasında en yüksek görülme sıklığına sahiptir. -TSRA hadisesi en az sayıda 2016 yılında (17) gözlenirken en fazla ise 2011 yılında (101) gözlenmiştir. Mutedil TSRA hadise sayısı toplam 51 olurken, +TSRA sayısı 5 olarak kaydedilmiştir. -TSGRRA hadisesi yalnızca 2012 ve 2022 yılarında 1'er defa meydana gelirken, TSGRRA 2009 yılında 1 defa, +TSGRRA 2019 yılında 1 defa meydana gelmiştir.

İncelenen dönemde gözlemlenen yıllık gök gürültülü fırtına sayılarının hafif, orta, kuvvetli olarak yıllara göre dağılımı ve TS, VCTS hadiseleri Şekil 6'da görülmektedir. En çok sayıda fırtına

kaydedilen yıl 2010 olurken, 2016 yılında fırtına hadisesi en az sayıda gerçekleşmiştir. Şekil 7'de 14 yıllık periyotta gözlenen toplam fırtına sayısının aylara göre dağılımı incelendiğinde fırtına hadisesi en fazla nisan ve mayıs aylarında, en az ocak ayında gerçekleşmiştir.



Şekil 9: Gök gürültülü fırtına türlerinin yıllara göre dağılımı



Şekil 10: Gök gürültülü firtına hadiselerinin aylara göre dağılımı

### 3.4. Hatay Havalimanı

HHL için 14 yıllık periyotta meydana gelen gök gürültülü fırtına hadiselerinin yıllara göre dağılımları incelendiğinde, toplam gerçekleşen gök gürültülü fırtına sayısı 3648 olarak rapor

edilmiştir. Bu periyotta gözlemlenen toplam TS sayısı 1433, VCTS sayısı ise 163 olmuştur. -TSRA hadisesi 1661 adet ile firtina türleri arasında en yüksek görülme sıklığına sahiptir -TSRA hadisesi en az sayıda 2010 yılında (66) gözlenirken en fazla ise 2011 yılında (204) gözlenmiştir. Mutedil TSRA hadise sayısı toplam 329 olurken, +TSRA sayısı 61 olarak kaydedilmiştir. –TSGRRA ve +TSGRRA hadiseleri hiç gerçekleşmezken, mutedil TSGRRA 2018 yılında 1 defa meydana gelmiştir.

İncelenen dönemde gözlemlenen yıllık gök gürültülü fırtına sayılarının hafif, orta, kuvvetli olarak yıllara göre dağılımı ve TS, VCTS hadiseleri Şekil 8'de görülmektedir. En çok sayıda fırtına kaydedilen yıl 2011 olurken, 2021 yılında toplam fırtına hadisesi en az sayıda gerçekleşmiştir. Şekil 9'da 14 yıllık periyotta gözlenen toplam fırtına sayısının aylara göre dağılımı incelendiğinde fırtına hadisesi en fazla mart, ocak ve nisan aylarında, en az temmuz ve ağustos aylarında gerçekleşmiştir.



Şekil 11: Gök gürültülü firtına türlerinin yıllara göre dağılımı



Şekil 12: Gök gürültülü firtına hadiselerinin aylara göre dağılımı

## 4. 24 ARALIK 2019 ÖRNEK OLAY ANALİZİ

23 Aralık 2019 günü akşam saatlerinde Adana merkezde başlayan kuvvetli sağanak yağışlar değişik şiddet ve aralıklarla 25 Aralık 2019 günü sabah saatlerine kadar devam etmiştir. Şiddetli yağışlardan dolayı Adana İl genelinde tarım arazilerinin büyük çoğunluğu su altında kalmıştır. Ayrıca şehir merkezinde sular trafikte aksamalara neden olmuş; bazı ev, iş yerleri ve eğitim kurumlarının bodrum ve zemin katlarını su basmıştır. Merkez dört ilçede eğitim öğretime iki gün (24-25 Aralık) ara verilmiş, İmamoğlu-Adana Karayolu'nun Mustafalar Mevkii'nde çökme meydana gelmiştir. Şekil 10'da meydana gelen hasarlara ait görsellere yer verilmiştir. Evlerinde mahsur kalan insanlar bot yardımıyla kurtarılmış ve kaybolan 4 kişi ekipler tarafından bulunmuştur. Herhangi bir can kaybı yaşanmazken, meydana gelen sel, birçok mal kaybına ve zarara sebep olmuştur. Bu periyotta metrekareye düşen toplam yağış miktarları; Meteoroloji 6. Bölge Müdürlüğü'nde 239.2, Şakirpaşa Meydan Meteoroloji Müdürlüğü'nde 192.2 kg, İncirlik Meydan Meteoroloji Müdürlüğü'nde 315.8 kg olarak kaydedilmiştir. Bu tarihten önce Adana'da meydana gelen en yüksek yağış miktarı 2015 yılında gerçekleşen 129 kg'lık yağış olmuştur [14].



Şekil 13: a) Selde mahsur kalan insanların botla kurtarılması b) Sel sonucu zarar gören araç c) Şehrin sular altında kalmış görüntüsü d) Sel suları altında kalan İmamoğlu-Adana Karayolu'nda çökme [15-18]

## 4.1. Sinoptik Analiz

Makro ölçekli (binlerce kilometrelik ölçekte meydana gelen sinoptik olaylar için kullanılan ifade) sinoptik analiz için wetter3 internet sayfasından sağlanan yer kartları ile birlikte Global Forecast System (GFS) analiz ürünlerine ait 700 hPa seviyesindeki nisbi nem (Relative Humudity (RH)) ve 500 hPa'daki sıcaklık ve jeopotansiyel yükseklik (kontur) değerleri kullanılmıştır [19]. Şekil 11'de 23 Aralık 2019 tarihine ait 1800 UTC (Şekil 11a) ve 24 Aralık 2019 tarihine ait 0000 UTC (Şekil 11b), 0600 UTC (Şekil 11c), 1200 UTC (Şekil 11d) yer kartları gösterilmiştir.

Yer kartlarına bakıldığında Türkiye'nin batısında bulunan ve doğuya doğru ilerleyen, soğuk cephe görülmektedir. Bu cephenin 1000 hPa'lık geniş bir alanda bulunması ve 500 hPa'da soğuk havayla beslenmesi uzun süreli ve etkili yağışa sebep olmuştur. Soğuk Cephe meylinin dik olması nedeniyle sektörde bulunan sıcak hava kütlesi (yüksek nem içerdiğinden) cephe meyli boyunca yükselişe sonra da hızlı bir şekilde soğuyarak geri çökmesi ve konvektiviteye bağlı yeniden yükselişe geçerek şiddetli yağışlara neden olan sağanak hattı (squll line)'ın oluşmasına neden olmuştur.



Şekil 14: Örnek olay gününe ait yer kartları a) 23 Aralık 2019 1800 UTC b) 24 Aralık 0000 UTC c) 24 Aralık 2019 0600 UTC d) 24 Aralık 2019 1200 UTC

700 hPa haritaları incelendiğinde, 23 Aralık 2019 1800 UTC'de Türkiye'nin batısı ve Akdeniz bölgesinde % 90 nisbi nem görülmektedir (Şekil 12a). Takip eden 24 Aralık 2019 0000 UTC'den itibaren ise Türkiye'nin doğusu hariç tüm bölgelerde nisbi nemin %75 üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 12b), Akdeniz bölgesinde ise gün boyu nem %90'in üzerinde seyretmiştir (Şekil 12c-d).



Şekil 15: 700 hPa seviyesi için örnek olay gününe ait nisbi nem haritaları a) 23 Aralık 2019 1800 UTC b) 24 Aralık 2019 0000 UTC c) 24 Aralık 2019 0600 UTC d) 24 Aralık 2019 1200 UTC

500 hPa haritasına bakıldığında Türkiye'nin batı bölgelerinden iç bölgelere doğru ilerleyen ve Adana'yı da içine alan Alçak Merkez ve trof (soğuk çöküş bölgeleri) hattı görülmektedir (Şekil 13). Haritalarda görüldüğü gibi, İzlanda alçak merkezinde oluşmuş kuzey kutup enlemlerindeki soğuk hava güneye doğru hareket ederek Balkanlardan Akdeniz'e kadar çökmüştür. Trof hattının batısında Kuzey Afrika'dan Avrupa'ya doğru sırt girişinden dolayı, oluk Akdeniz'e ve Türkiye'nin batısına yönelmiştir. Akdeniz üzerinde sistemin nem ile beslenmesiyle birlikte mutlak vortisiti güçlenmiştir. Bu da keskin soğuk cephe sahası anlamına gelir. Doğuya doğru hareket eden sistem, önündeki sıcak havanın altına sokulup sıcak havayı üste çıkarmaya zorlar ve parseli soğutarak ilerler. Sıcak ve nemli hava parselini ani soğuyup geri çökmesi ve konvektiviteye bağlı olarak yeniden yükselmesi sağanak hattının oluşmasını sağlamıştır. Özetle, İzlanda alçağının Akdeniz'e düşüp termik alçağa dönüşmesi ve nemle beslenip derinleşmesi ile parsel doğuya doğru hareket etmiştir. Bu parsel Doğu Akdeniz'e geldiğinde etkisini günlerce devam ettirebilecek potansiyeldedir. 552 dam'lık kontur 24 Aralık 2019 0600 UTC'den itibaren Adana üzerine yerleşmiştir ve bu seviyede yağış boyunca -20 °C'lik izoterm bulunmaktadır.



Şekil 16: 500 hPa'a ait sinoptik haritalar a) 23 Aralık 2019 1800 UTC b) 24 Aralık 2019 0000 UTC c) 24 Aralık 2019 0600 UTC d) 24 Aralık 2019 1200 UTC

## 4.2. Skew-T Log-P Diyagramı

Wyoming Üniversitesi'nden [20] elde edilen Adana'ya ait üst atmosfer verilerine göre 24 Aralık 2019 0000 UTC'de yer seviyesinde sıcaklık -10°C, 850 hPa seviyesinde 5.6°C, 500 hPa seviyesinde -19.3°C'dir. Yer seviyesi ile 5560 m (500 hPa) arasında nispi nem değeri %87 ve üzerindedir. 24 Aralık 2015 1200 UTC'de yer seviyesinde sıcaklık 10°C, 850 hPa seviyesinde 4.8°C, 500 hPa seviyesinde -19.5°C'dir. 300 hPa seviyesinde maksimum değeri 101 knot olan jet 220°'den esmektedir. 27 m (1000 hPa) ile 5530 m (500 hPa) arasında nispi nem değeri %81 ve üzerindedir (Şekil 14).



Şekil 17: 24 Araık 2019 0000 UTC Adana Bölge İstasyonu'na ait Skew-T Log-P diyagramı

### 4.3. Uydu ve Radar Analizi

Görüş mesafesi değerlerinin uzun süre (2350 UTC - 0320 UTC) en düşük olduğu 23-24 Aralık 2019 için mezo ölçekte analiz yapılmıştır. Mezo ölçek analizinde Hatay radarına ait ürünler kullanılmıştır. Görüş mesafesinin İHÜ'de 2000 m olduğu zamana (0020UTC) en yakın olan 0000 UTC için Plan Position Indicator (PPI; Kutupsal koordinatlarda sabit bir yükseklik ve istenilen azimut açısında belirli bir mesafeye kadar eko sinyallerinin şiddetlerinin ekranda görüntülenmesi) ve Maximum Display (MAX; bulut yüksekliği ve bulut içerisindeki çekirdeklerin yoğunluğu hakkında bilgi vermesi) radar ürünleri Şekil 15'te görülmektedir. 0000 UTC'den itibaren Dikey olarak 6.7 km'nin üzerine çıkmış olan fırtına hücreleri Akdeniz üzerinden kuzeydoğulu yönde İHÜ'ye doğru ilerlemiştir.

0251 UTC'de kaydedilen 2.5 km ile 3.5 km arasındaki yatay rüzgar hızı ve 4 km ile 6 km arasındaki yatay rüzgar hızı incelenmiştir (Şekil 16a-b). Rüzgar, 3 km'de 220 dereceden yaklaşık 40 knot; 5 km'de 220 dereceden yaklaşık 50 knot olmuştur.

Birleştirilmiş MODIS uydu görüntülerinde 23 Aralık 2019 günü Akdeniz'in üzerinde bulut yoğunluğu olduğu görülmekte (Şekil 17a) ve 24 Aralık 2019 günü Adana bölgesini kaplayan bulut yoğunluğunda artış olduğu görülmektedir (Şekil 17b).



Şekil 18: 24 Aralık 2019 tarihli Hatay radarı görüntüleri: a – d 0000 UTC ile 0306 UTC MAX görüntüleri e – i 0000 UTC ile 0306 UTC PPI görüntüleri



Şekil 19: 24 Aralık 2019 0251 UTC'de a)3 km ve b)5 km'deki yatay rüzgâr hızının görüntüleri


Şekil 20: 23 Aralık 2019 (a) ve 24 Aralık 2019 (b) tarihlerine ait MODIS uydu görüntüleri (Adana İli kırmızı daire ile gösterilmiştir.)

## 4.4. Metar ve Speci Veri Analizi

Mikro ölçek (yatay ölçeği iki km veya daha az olan meteorolojik olayları ifade eder) analizinde İHÜ'nün hazırlamış olduğu METAR ve SPECI rasatları kullanılmıştır. 23 Aralık 2019 tarihinde 1720 UTC'de başlayan hafif şiddetteki yağmur sağanağı 2032 UTC'de şiddetli gök gürültülü sağanak yağışa dönmüştür. Ardından 2220 UTC'de yağış, mutedil şiddetteki yağmur sağanağına dönerek aralıksız devam etmiştir. Daha sonra 24 Aralık 2019 tarihinde 0020 UTC'de (görüş mesafesi 2000m) şiddetli gök gürültüsü ile birlikte yağmur sağanağı tekrar başlamış ve 0320 UTC'ye kadar kesintisiz devam etmiştir. Yağışlar sonrasında tekrar yağmur sağanağına dönerek 25 Aralık 2019 günü 0320 UTC'ye kadar aralıksız olarak devam etmiştir. Toplamda 34 saat boyunca yağış aralıksız bir şekilde devam etmiştir. Bu tarihler arasında sıcaklık değerleri en yüksek 13°C, en düşük 9°C olmuştur. Rüzgar ise en yüksek 19 knot olarak kaydedilmiştir.

#### 5. SONUÇ

Bu çalışma, ABM'ye bağlı dört havalimanında 2009-2022 yılları arasında meydana gelen gök gürültülü fırtınaların yıllık ve mevsimsel incelenmesini ve 23–25 Şubat 2019 tarihlerinde Adana'da etkili olan şiddetli gök gürültülü fırtına hadiselerinin, gelişim aşamalarının makro, mezo ve mikro ölçekte analizini yapmayı amaçlamıştır. İncelenen havalimanlarında en sık görülen hadise hafif şiddetteki gök gürültülü fırtına hadiseleri (-TSRA, -TSGRRA) olmuştur. En az sayıda görülen ve etkisi en büyük olanlar ise şiddetli gök gürültülü fırtına hadiseleri (+TSRA, +TSGRRA) olmuştur. Tüm gök gürültülü fırtına hadiseleri en çok ilkbahar (nisan, mayıs ayları) ve sonbahar (eylül, ekim ayları) mevsimlerinde, en az yaz (temmuz, ağustos) mevsiminde meydana gelmiştir. Yıldan yıla gözlenen fırtına sayısı artıp azalsa da, yıl bazında yalnızca AHL'de artış eğilimi, diğer

havalimanlarında ise azalma eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Adana'da ölçülen 24 saatlik metrekareye düşen toplam yağış miktarı Meteoroloji 6. Bölge Müdürlüğü'nde 239.2 kg, Şakirpaşa Meydan Meteoroloji Müdürlüğü'nde 192.2 kg, İncirlik Meydan Meteoroloji Müdürlüğü'nde 315.8 kg olarak ölçülmüştür. 24 Aralık 2019 tarihinde, Sarıçam Hacı Sabancı OSB Meteroloji İstasyonu'nda en yüksek rüzgar değeri 32.5 knot olarak ölçülmüştür.

Sinoptik ölçekte Türkiye'nin Akdeniz bölgesine Balkanlar üzerinden giriş yapan İzlanda alçağının getirmiş olduğu soğuk hava, Akdeniz üzerinde nemle beslenerek mutlak vostisiteyi ve uzun süreli yağış olasılığını artırmıştır. 700 hPa seviyede Akdeniz bölgesinde % 90 ve üzerinde nisbi nem bulunması, Adana ve çevresinde kararsız atmosfer varlığı, konvektif faaliyetlerin oluşmasına neden olmuştur. Adana'da meydana gelen gök gürültülü fırtına hadiselerinin, radar ve uydu verileri dikkate alınarak araştırılmış ve bölge üzerinden sağanak geçtiği, bu hat üzerinde çok hücreli gök gürültülü fırtınaların meydana geldiği sonucuna varılmıştır.

Önceki çalışmalar ile karşılaştırıldığında fırtına başlangıcı için geçerli kabul edilen şartların araştırmaya konu olan yerlerin konumuna göre değiştiği göz önünde bulundurularak, Türkiye için fırtına ve şiddetli fırtına koşullarının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılabilir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, meteorolojik verilerin elde edilmesindeki desteklerinden dolayı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'ye teşekkür ederler.

#### KAYNAKLAR

- [1] NOAA, Severe Weather 101:Tornado Basics. Erişim tarihi: 28 Ocak 2023. https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/thunderstorms
- [2] Doswell III, C. A. Societal impacts of severe thunderstorms and tornadoes: Lessons learned and implications for Europe. *Atmospheric Research*, (67,135-152), 2003. https://doi.org/10.1016/S0169-8095(03)00048-6
- [3] Brooks, H. E. Doswell III, C. A., Zhang, X., Chernokulsky, A. A., Tochimoto, E., Hanstrum,
  B., ... & Barrett, B. A century of progress in severe convective storm research and forecasting. *Meteorological Monographs*, (59,18-1), 2019. https://doi.org/10.1175/AMSMONOGRAPHS-D-18-0026.1
- [4] NWS, National Weather Service, Erişim Tarihi: 05 Şubat 2023. https://www.weather.gov/

- [5] Ackerman, S. A. & Knox, J. A. Meteorology, understanding the atmosphere (third edition) (339–379). London: Jones & Bartlett Learning International, 2012.
- [6] Taszarek, M., Allen, J., Púčik, T., Groenemeijer, P., Czernecki, B., Kolendowicz, L., ... & Schulz, W. A climatology of thunderstorms across Europe from a synthesis of multiple data sources. *Journal of Climate*, 32(6), (1813-1837), 2019. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0372.1
- [7] Özdemir, E. T., & Deniz, A.. Severe thunderstorm over Esenboğa International Airport in Turkey on 15 July 2013. Weather, 71(7),(157-161), 2016. https://doi.org/10.1002/wea.2740
- [8] Özdemir, E. T., Deniz, A., Sezen, I., Aslan, Z., & Yavuz, V.. Investigation of thunderstorms over Ataturk International Airport (LTBA), Istanbul. *Mausam*, 68(1), (175-180), 2017. https://doi.org/10.54302/mausam.v68i1.448
- [9] Özdemir, E. T.. Investigations of a southerly non-convective high wind event in Turkey and effects on PM10 values: A case study on April 18, 2012. *Pure and Applied Geophysics*, 176(10), (4599-4622), 2019. https://doi.org/10.1007/s00024-019-02240-1
- [10] Özdemir, E. T., Deniz, A.. Nowcasting of a thunderstorm: The case study of 2 February, 2015 at Istanbul Ataturk International Airport. *Mausam*, 71(1), (21-32), 2020. https://doi.org/10.54302/mausam.v71i1.3
- [11] Özdemir, E. T.. A Case study of a multicell severe convective storm in Ankara, Turkey. *Pure and Applied Geophysics*, 178(10), (4107-4126), 2021. https://doi.org/10.1007/s00024-021-02795-y
- [12] MEVBİS (Meteorolojik Veri Bilgi Sunum Ve Satış Sistemi). Meteorolojik Veri Bilgi Sunum Ve Satış Sistemi. Erişim tarihi: 10 Ağustos 2023. https://mevbis.mgm.gov.tr/mevbis/ui/index.html#/Workspace
- [13] MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü). *Havacılık meteorolojisi*, (41-71). Ankara, 2018.https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/kitaplar/havacilikmeteorolojisi.pdf
- [14] MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü). https://www.mgm.gov.tr/ Erişim tarihi: 28Ekim 2023.
- [15] Haber, D.H.A. Adana sele teslim oldu, 2019. Erişim tarihi: 28 Ekim 2023. https://www.dha.com.tr/foto-galeri/adana-sele-teslim-oldu-1744920/1
- [16] Haber, I. Adana'da okullar tatil edildi! kuvvetli yağış Adana'da hayatı durdurdu,
   2019. Erişim tarihi 28 Ekim 2023. https://www.internethaber.com/adanada-okullar-tatiledildi-kuvvetli-yagis-adanada-hayati-durdurdu-foto-galerisi-1836424.htm

- [17] Haber, N. T. V. Adana'da caddeler göle döndü, 2019. Erişim tarihi: 28 Ekim 2023. https://www.ntv.com.tr/galeri/turkiye/adanada-caddeler-goledondu,JYhBOK1RREimiU9xDLp8eQ/wsKLUfbjDEaYvpMIn0vXbg
- [18] Haber, S. *Adana üç gündür sular altında*, 2019. Erişim tarihi: 28 Ekim 2023. https://www.sozcu.com.tr/2019/gundem/adana-uc-gundur-sular-altinda-5529456/
- [19] Wetter3. Erişim tarihi: 28 Ekim 2023. https://www.wetter3.de/
- [20] University of Wyoming. https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html, Erişim tarihi: 28 Ekim 2023.

## Erzurum İçin Atmosferik Aerosolün Konumsal ve Zamansal Analizi

## Funda YÜZLÜKOĞLU

Atatürk Üniversitesi Astronomi ve Astrofizik Anabilim Dalı Erzurum, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fizik Bölümü Manisa funda.yuzlukoglu@cbu.edu.tr

## Kazım KABA

Atatürk Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü Erzurum kazimkaba@atauni.edu.tr

#### Cahit YEŞİLYAPRAK

Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM) Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü Erzurum cahity@atauni.edu.tr

## ÖZET

Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM) bünyesinde yürütülen, T.C. Strateji ve Bütçe Başkanlığı ve Atatürk Üniversitesi desteğiyle "Doğu Anadolu Gözlemevi" (DAG) Projesi kapsamında; Türkiye'nin en büyük (4 m çaplı) ve ilk kırmızı öte (IR, <3 µm) teleskobuna sahip uluslararası gözlemevi, Erzurum – Konaklı'da Karakaya Tepesinde 3170 metre rakımda kurulmaktadır. DAG Teleskobunun ve gözlemsel aygıtların performansı ile astronomik gözlemlerin kalitesini ve planlamasını doğrudan etkileyecek en önemli etken, anlık değişkenlik gösterebilen atmosferik şartlardır. Bu çalışma ise astronomik gözlemleri etkileyen atmosferik aerosol konusuna odaklanmıştır. Bu kapsamda Türkiye'nin 2023 vizyon projesi olan DAG'ın bulunduğu Erzurum ili için atmosferik aerosol özelliklerinin uydu verilerinden mekânsal ve zamansal analizi yapılmıştır. Çalışmada Suomi-NPP uydusundaki VIIRS algılayıcısından elde edilen çeşitli veri setlerine sahip aerosol ürünü kullanılmıştır. Aerosol optik derinlik ve Angstrom exponent değerleri Erzurum'u ve 2012-2020 yılları arasını kapsayacak şekilde analiz edilmiştir.

## Anahtar Kelimeler – Doğu Anadolu Gözlemevi; Atmosferik Aerosol, Konumsal ve Zamansal Analiz; Suomi-NPP; VIIRS

## 1. GİRİŞ

Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM) bünyesinde yürütülen, T.C. Strateji ve Bütçe Başkanlığı ve Atatürk Üniversitesi desteğiyle "Doğu Anadolu Gözlemevi" (DAG) Projesi (Türkiye'nin 2023 Vizyon Projesi) kapsamında; Türkiye'nin en büyük (4 m çaplı) ve ilk kırmızı öte (IR, <3 µm) teleskobuna sahip uluslararası gözlemevi, Erzurum – Konaklı'da (Karakaya Tepesi, 3170 metre rakım) kurulmaktadır. DAG Teleskobunun ve gözlemsel avgıtların performansı ile astronomik gözlemlerin kalitesini ve planlamasını doğrudan etkileyecek en önemli etken, anlık değişkenlik gösterebilen atmosferik şartlar ile bunların yıllar içerisindeki kısa, orta ve uzun vadede davranışlarıdır. Bu atmosferik ve meteorolojik olayların (yağış, bulut, sıcaklık değişimi, nem, yoğuşma, toz, molekül bolluğu ve çeşitliliği, rüzgâr, açık gece, vb.) ölçümleri ve analizleri, astronomik gözlemler ve ekipmanlar açısından gerekli ve yeterli bilgiyi rahatlıkla sağlayabilecektir. Anlık atmosferik ve meteorolojik ölçümler ile ileriye dönük tahminler sayesinde, zaten kısıtlı ve değerli olan hem gözlemsel aygıtlar (teleskop, optik, odak düzlemi aygıtları gibi) hem de gözlem zamanı (teleskop ve gözlem planlaması, aygıtsal hazırlık, gözlem zamanı gibi) daha verimli kullanılacaktır. Bu esasen, bütün sistemin (gözlemevi, ekipman, ekip, zaman gibi) performansına doğrudan yansıyacak önemli bir etkendir. Bu çalışma ise astronomik gözlemleri etkileyen atmosferik aerosol konusuna odaklanmıştır.

Aerosol, bir akışkan içerisinde asılı bulunan sıvı veya katı parçacıklı yapılar olarak tanımlanmıştır. Parçacıkları içerisinde bulunduran akışkan ortam hava ise bu yapı atmosferik aerosol (AA) olarak adlandırılır [1]. AA daha çok troposferde olmak üzere (~%80) stratosfer ve mezosfer gibi atmosferin daha üst katmanlarında da bulunabilir ve atmosferdeki yaşam süreleri en az bir saat olup, bir yıla kadar değişebilir. AA büyüklüğü parçacık boyutuna göre nanometre mertebesinden yüzlerce mikrona kadar değişiklik gösterir. Aerosoller atmosferimize yerden yükselen parçacıkların girmesiyle, atmosfer dışından gelen kozmik parçacıklar nedeniyle ve atmosferdeki kimyasal süreçler vasıtasıyla meydana gelir. Atmosfere doğrudan giren aerosoller birincil (primary) ve atmosferde kimyasal yolla üretilen aerosoller ise ikincil (secondary) olarak adlandırılır. AA kaynağı bakımından doğal ve antropojenik (insan kaynaklı) olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal AA

kaynaklarına denizler, çöller, orman yangınları ve yanardağlar, yapay kaynaklara ise endüstriyel faaliyetler ve trafik gibi fosil yakıtların tüketildiği insan kaynaklı etmenler örnek verilebilir [2]. Aerosoller fiziksel hallerine ve boyutlarına göre de sınıflandırılmaktadır. Aerosoller fiziksel hallerine göre, katı ve sıvı parçacıklar olarak tanımlandığı gibi boyutlarına göre de kaba (coarse), ince (fine) ve ultra ince (ultra fine) parçacıklar olarak adlandırılırlar. Çapı 2.5 µm'den büyük olan parçacıklar kaba aerosol, çapı 0.1 - 2.5 µm aralığında olanlar ince aerosol ve çapı 0.1 µm'den küçük olan parçacıklar da ultra ince parçacıklı aerosoller olarak tanımlanır [2-4]. Aerosollerin boyutu hem atmosferin değişik seviyelerinde bulunmasına hem de atmosferde ışık ile farklı etkileşimde (Mie ve Rayleigh saçılması gibi) bulunmasına neden olur.

AA hem olumlu hemde olumsuz etkilere neden olabilir. Örneğin doğal kaynaklı aerosoller gezegenimizde yaşamın devamı için gerekli süreçlerin oluşmasını sağlarken (bulut oluşumu ve dolayısıyla yağış oluşumu ile saçılmaya neden olarak yer yüzünün enerji dengesine olumlu katkı yapması gibi), yapay kaynaklı aerosoller ve aerosol miktarının artışı başta doğa ve insan yaşamı olmak üzere birçok konuda olumsuzluğa neden olur. Bunlara insan sağlığı, ekonomi, görüş mesafesi (visibility), hava olayları, enerji dengesi, iklim ve astronomi gibi alanlar örnek verilebilir. Astronomide yıldızlardan yayılan ışığın atmosferimizde fiziksel süreçlerin (saçılma, soğurma, kırılma gibi) ardından teleskopa ulaşmasıyla astronomik veriler veya ürünler elde edilir. Işığın atmosferdeki aerosoller ile etkileşimi gözlem verilerinin kalitesini doğrudan etkileyecektir. Özellikle de kırmızı öte bölgede gözlem yapacak bir gözlemevinde, kaliteli astronomik gözlem verileri elde etmek için aerosol miktarı ve aerosol türleri ayrıntılı analiz edilmelidir.

Türkiye etrafı deniz tuzu aerosolünün kaynağı olan denizler ve toz aerosolünün başlıca kaynağı olan Dünya'nın büyük çölleri (Sahra, Suriye, Arabistan ve Orta Asya çölleri) ile çevrilidir. Atmosfere karışan bu aerosoller hava akımları ile taşınmaktadır. Ayrıca Amerika, Avrupa ve Çin gibi gelişmiş ülkelerin sanayi ve benzeri aktiviteleri hava akımları ile ülkemizi etkilemektedir. Bu nedenlerle, ülkemizin atmosferi direkt ve/veya dolaylı yollarla yılların farklı zamanlarında değişen konsantrasyonda aerosoller içermektedir. Bu durum yer ölçümleri ve uydu kayıtları ile tespit edilmektedir. Bu çalışmada ise, Erzurum için aerosol özelliklerine ait aylık, yıllık, mevsimsel ve uzun yıllar bazında zamansal ve alansal değişim analizleri yapılmıştır. Erzurum için üretilen aerosol haritaları piksel bazlı AOD (Aerosol Optik Derinliği) ve AE (Angstrom Exponent) bilgilerini içermektedir. Haritalar astronomik amaçlar için hazırlanmakla birlikte atmosfere yönelik yapılacak farklı çalışmalar için kullanılabilecek önemli bir veri kaynağıdır.

#### 2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ

Çalışma alanı olarak Türkiye'nin 2023 vizyon projesi olan DAG'ın bulunduğu Erzurum ili ele alınmıştır. Bu çalışma ile gözlemevi yerleşkesi ve Erzurum için atmosferik aerosol değerleri uydu verilerinden mekânsal ve zamansal analizi sunulmaktadır. Bu kapsamda Suomi-NPP uydusundaki VIIRS algılayıcısından elde edilen çeşitli veri setlerine sahip AERDB L2 aerosol ürünü kullanılmıştır. AERDB L2 ürünü kara ve su yüzeyi için farklı dalga boylarında aerosol optik derinliği, aerosol tipleri, Angstrom exponent, yağışabilir su, reflektans, ozon ve rüzgâr ile enlem, boylam, azimut ve zenit gibi açı değerlerini içermektedir. Bu ürün küresel ölçekte, uydu alt noktasında 6 km yersel çözünürlükte, kara yüzeyinde DB (Deep Blue) ve su yüzeyinde SOAR (Satellite Ocean Aerosol Retrieval) algoritmalarıyla, 550 nm referans dalga boyunda ve 6 dakikalık kayıtlar olarak üretilmektedir [5]. Ürün Erzurum'u ve 2012-2020 yılları arsını kapsayacak şekilde analiz edilmiştir. AERDB L2 ürünü içerisindeki "Aerosol\_Optical\_Thickness\_550\_Land\_Ocean" ve "Angstrom\_Exponent\_Land\_Ocean" verileri kullanılmıştır.

DB algoritması [6], 2004 yılından bu yana kara üzerindeki aerosol özelliklerini belirlemek için çeşitli uydu algılayıcılarına (SeaWiFS, AVHRR, MODIS ve VIIRS) başarıyla uygulanmaktadır. 2012'den bu yana ise SOAR algoritması, SeaWiFS, AVHRR ve VIIRS için okyanus üzerinde aerosol verisi sağlamak için kullanılıyor. DB algoritması başlangıçta, düşük yansıma veren yoğun bitki örtüsüne dayalı mevcut DT (Dark Target) algoritmasının çöller ve kentsel alanlar gibi bazı parlak arazi yüzeyleri üzerinde uzaktan algılanan AOD veri kümelerindeki boşlukları doldurmak için geliştirildi. Daha sonra DB algoritması geliştirilerek yeni yaklaşımda karanlık yüzeylere (dark target) de uygulanmıştır. Böylece DB algoritması bulut ve kar olmayan tüm pikselleri kapsar hale gelmiştir. Algoritma SeaWiFS ve MODIS kayıtlarına uygulanarak aerosol verisi elde edilmiştir. Son zamanlarda ise bu DB yaklaşımı AVHRR ve VIIRS algılayıcılarından alınan kayıtlara uyarlanmıştır [7, 8].

AERDB L2 ürünü ile 2012 Mart ayından günümüze kadar veri sağlanmaktadır. Bu çalışma için ise Mart/2012 – 2020 tarihleri arasını ve Erzurum'u kapsayan 6 dakikalık kayıtlardan oluşan veriler temin edilmiştir. Her bir gün için çalışma alanının görüntüsünü elde etmek için 6 dakikalık kayıtlardan oluşan görüntüler koordinatlandırılarak (georeferencing) ve birleştirilerek (image mosaicing) Erzurum'u kapsayan görüntüler GeoTIFF dosya formatında elde edilmiştir. Çalışmada kullanılmak üzere 550 nm referans dalga boyunda AOD ve AE görüntüleri hazırlanmıştır. Bu görüntüler GeoTIFF dosya formatında, 6 km (0.054 derece) yersel piksel çözünürlüğünde, Coğrafik koordinat sisteminde, Coğrafik enlem-boylam projeksiyonunda ve WGS84 datum ve elipsoidinde olacak şekilde üretilmiştir.

#### 3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Erzurum aerosol değerlerini ayrıntılı incelemek için uzun yıllık ortalama AOD haritası Erzurum ilini kapsayacak şekilde üretilmiştir. Şekil 1'den Erzurum AOD haritası incelendiğinde, yüksek aerosol değerleri, kent yerleşim alanlarını kapsayan Batı - Doğu ekseninde (Erzincan tarafından Aşkale, Kandilli, Aziziye, Erzurum, Pasinler ve Horasan ilçeleri üzerinden Kars – Ağrı sınırına) gerçekleşmiştir. Bu eksen boyunca ölçülen yüksek aerosol değerleri ulaşım, sanayi ve tarım gibi yoğun insan faaliyetleri nedeniyle anlamlıdır. Ayrıca bu şerit çevresine göre düşük rakıma (~1800 m) sahip bir vadi içerisindedir. Erzurum sınırları içindeki yüksek aerosol değerli bir diğer bölge kent yerleşim merkezinin Güney - Doğu yönünde kalan Erzurum - Muş sınırında görülmektedir. Bu bölgedeki arazi ve toprak yapısı, düşük bitki örtüsü ile sınıra yakın yerleşimler aerosolün yüksek olmasına etki edebilir. Ayrıca şehrin Kuzey - Batı tarafında Erzurum - Bayburt sınırına yakın Sergenkaya, Cennetpınarı ve Sadaka civarında yüksek aerosol değerleri görülmektedir. Bu bölgenin kayalık olup bitki örtüsüne sahip olmaması buna neden olmuş olabilir. Erzurum için genel olarak düşük rakımlı yerler, yerleşim alanları, toprak türü, düşük bitki örtüsü ile komşu iller nedeniyle (Muş gibi) yüksek aerosol değerleri oluşmuştur. Rakımı yüksek bölgeler düşük aerosol ve çevresine göre rakımı düşük olan bölgelerde ise yüksek aerosol değerleri görülmektedir. Erzurum 550 nm AOD haritası için minimum, maksimum, ortalama, medyan ve standart sapma değerleri sırasıyla 0.0661, 0.2068, 0.1364, 0.1323 ve 0.0220 olarak hesaplanmıştır [9].

Erzurum alanını kapsayan VIIRS uzun yıllık ortalama AE haritası Şekil 2'de verilmiştir. AE değerleri aerosol parçacıklarının büyüklüğü ile ters orantılıdır. AE değeri küçük ise ortamda büyük boyutlu aerosol parçacığı ve AE değeri büyük ise ortamda küçük boyutlu aerosol parçacığı olduğu anlaşılır. Kabaca söylemek gerekirse, 1'den küçük AE değerleri toz, kül, deniz spreyi gibi kaba parçacıkların optik baskınlığını gösterirken, 1'den büyük AE değerleri duman ve endüstriyel kirlilik gibi ince parçacıkların baskınlığını gösterir. Şekil 2 Erzurum AE haritasında minimum, maksimum, ortalama, medyan ve standart sapma değerleri sırasıyla 0.92, 1.48, 1.22, 1.23 ve 0.092 olarak hesaplanmıştır. Haritadan Erzurum'un Rize sınırı ve Erzincan – Tortum yönünde yüksek AE değerleri (haritada kırmızı renkler) görülürken, Erzurum AOD haritasında büyük AOD değerlerinin olduğu yerlerde nispeten düşük AE değerleri (haritada mavi renkler) görülmektedir. AE haritasında değerler 0.92 – 1.48 aralığında olup Erzurum bölgesinin geniş bir alanında 1'den büyük AE değerleri gerçekleşmiştir. Bu ise Erzurum'un geniş bir bölgesinde duman ve endüstriyel kirlilik gibi

ince parçacıkların baskınlığını göstermiştir. Erzurum'un yüksek AOD değerleri olan bölgelerinde nispeten düşük AE değerleri görülürken, bu bölgelerde toz ve kül gibi kaba parçacıkların optik baskınlığı tespit edilmiştir.



Şekil 1: Erzurum'un uzun dönem (2012–2020) ortalama AOD haritası [9]



Şekil 2: Erzurum'un uzun dönem (2012 – 2020) ortalama AE haritası

VIIRS 550 nm dalga boyunda hem kara hem de su yüzeyi için aerosol bilgisi sağlaması ve geleneksel olarak aerosol çalışmalarında bu spektral bandın yaygın kullanılması nedeniyle aylık, mevsimlik ve yıllık haritaların üretilmesinde bu dalga boyunda sağlanan AOD verileri kullanılmıştır. Erzurum için uzun dönem (2012 – 2020) aylık ortalama istatistiksel değerleri Tablo 1 ve Şekil 3'te verilmiştir. VIIRS aerosol algoritması bulut, kar ve buzlu yüzeyler için aerosol değerli üretmemektedir. Erzurum Aralık, Ocak ve Şubat aylarında karla kaplı olması nedeniyle AOD değerlerinin bu aylarda hesaplanamadığı şekil ve tablodan görülebilir. Tablo 1 ve Şekil 3'ten aylık haritalarda Aralık, Ocak ve Şubat hariç diğer aylar dikkate alındığında ortalama AOD 0.0803 (Kasım ayı) ile 0.1623 (Ağustos ayı) aralığında değişmektedir. Yüksek ortalama AOD değerleri sırasıyla Ağustos, Mart, Temmuz, Eylül, Haziran, Ekim ve Nisan aylarında iken düşük ortalama AOD değerleri ortalama AOD değerleri sırasıyla Kasım ve Mayıs aylarında hesaplanımıştır. Şekil incelendiğinde Haziran'dan Kasım'a kadar anlamlı bir grafik görülmektedir. Bu zaman aralığında aerosol değerleri önce artışa geçip Ağustos ayından itibaren ise düşüş göstermektedir. Mart ayında ise karın fiziksel yapısı nedeniyle hatalı ve yüksek aerosol değerleri hesaplanmıştır.

Aylar	Minimum	Maksimum	Ortalama	Medyan	Standart Sapma
1	0.0000	0.2082	0.0002	0.0000	0.0069
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.6159	0.1479	0.1619	0.1082
4	0.0000	0.4312	0.1154	0.1252	0.0578
5	0.0000	0.3363	0.0953	0.0973	0.0426
6	0.0673	0.2046	0.1285	0.1270	0.0234
7	0.0612	0.2398	0.1478	0.1427	0.0289
8	0.0795	0.2752	0.1623	0.1563	0.0323
9	0.0418	0.2717	0.1443	0.1390	0.0340
10	0.0379	0.2021	0.1166	0.1138	0.0230
11	0.0207	0.1187	0.0803	0.0800	0.0154
12	0.0000	0.1110	0.0005	0.0000	0.0068

Tablo 1: Erzurum'un uzun dönem aylık AOD istatistiksel değerleri



Şekil 3: Erzurum'un uzun yıllar aylık AOD istatistiksel değerleri (Tablo 1 ile aynı)

Erzurum için uzun yıllık mevsimsel ortalama AOD istatistiksel değerleri de Tablo 2 ve Şekil 4'te verilmiştir. Ortalama değerlere göre Erzurum'da en yüksek aerosol değerleri yaz mevsiminde gerçekleşmiştir. İlkbahar ve sonbahar aerosol değerleri birbirine yakın olup ilkbahar değeri biraz daha yüksek hesaplanmıştır. Kış mevsimine ait düzenli veri hesaplanamadığı için bu dönem için değerlendirme yapılamamıştır. İlkbahar mevsiminde ortalama aerosol değerleri diğer mevsim değerlerine göre daha geniş bir değer aralığına sahip olduğu tablodan görülebilir. Tablo 2 ve Şekil

4'den ortalama AOD değerleri büyükten küçüğe yaz, sonbahar, ilkbahar ve kış şeklinde sıralandığı görülür.

					0
Mevsimler	Minimum	Maksimum	Ortalama	Medyan	Standart Sapma
Kış	0.0000	0.2082	0.0008	0.0000	0.0097
İlkbahar	0.0000	0.2638	0.1148	0.1206	0.0406
Yaz	0.0721	0.2286	0.1489	0.1448	0.0257
Sonbahar	0.0406	0.2035	0.1215	0.1178	0.0234

Tablo 2: Erzurum'un mevsimlik AOD istatistiksel değerleri



Şekil 4: Erzurum'un mevsimlik AOD istatistiksel değerleri (Tablo 2)

Erzurum için yıllık ortalama AOD istatistiksel değerleri de Tablo 3 ve Şekil 5'te verilmiştir. Erzurum için yıllık aerosol değerleri arazi şekli, toprak yapısı, rakım, ova, yerleşim yerleri, ulaşımyakıt-ısınma vb. insan faaliyetleri gibi nedenlerden dolayı yıllar içinde küçük değişimler dışında kararlı bir değişime sahiptir. Tablo 3 ve Şekil 5'ten Erzurum'un yıllık ortalama AOD değerlerine bakıldığında, değerler zamansal olarak yıllar içerisinde kararlı bir dağılım göstermiştir. Erzurum'da yıllık ortalama aerosol değerleri 0.1164 (2013 yılı) ile 0.1576 (2017 yılı) aralığında değişmiştir. Yıllık bazda 2017, 2015, 2019 ve 2014 yılları en büyük değere sahip iken 2013, 2016, 2012 ve 2020 yıllarında nispeten düşük değerler hesaplanmıştır.

Tablo 3: Erzurum'un yıllık AOD istatistiksel değerleri

Yıllar	Minimum	Maksimum	Ortalama	Medyan	Standart Sapma
2012	0.0486	0.2192	0.1269	0.1231	0.0263

<b>2013</b> 0.0275 0.2000	0.1164	0.1121	0.0245	
<b>2014</b> 0.0827 0.2147	0.1405	0.1378	0.0246	
<b>2015</b> 0.0763 0.2228	0.1501	0.1465	0.0267	
<b>2016</b> 0.0505 0.2069	0.1231	0.1234	0.0239	
<b>2017</b> 0.0580 0.2356	0.1576	0.1553	0.0288	
<b>2018</b> 0.0570 0.2201	0.1391	0.1383	0.0253	
<b>2019</b> 0.0393 0.2470	0.1416	0.1389	0.0263	
<b>2020</b> 0.0404 0.1985	0.1282	0.1244	0.0244	



Şekil 5: Erzurum'un yıllık AOD istatistiksel değerleri (Tablo 3)

## 4. SONUÇLAR

Türkiye'nin 2023 vizyon projesi olan DAG'ın bulunduğu Erzurum ili için atmosferik aerosol özelliklerinin uydu verilerinden mekânsal ve zamansal analizi sunulmuştur. Bu kapsamda, yüksek aerosol değerleri, kent yerleşim alanlarını kapsayan Batı – Doğu ekseninde, kent yerleşim merkezinin Güney – Doğu yönünde kalan Erzurum – Muş sınırında ve şehrin Kuzey – Batı tarafında Erzurum – Bayburt sınırına yakın bölgede gerçekleşmiştir. Erzurum için genel olarak düşük rakımlı yerler, yerleşim alanları, toprak türü ve düşük bitki örtüsü nedeniyle yüksek aerosol değerleri oluşmuştur. Erzurum için aerosol partikül boyutu AE parametresi ile değerlendirilmiştir. Erzurum bölgesinin geniş bir alanında 1'den büyük AE değerleri gerçekleşmiştir. Bu ise Erzurum'un geniş bir bölgesinde duman ve endüstriyel kirlilik gibi ince parçacıkların baskınlığını göstermiştir. Erzurum'un yüksek AOD değerleri olan bölgelerinde nispeten düşük AE değerleri görülürken, bu bölgelerde toz ve kül gibi kaba parçacıkların optik baskınlığı tespit edilmiştir. Erzurum AE değerleri 0.92 – 1.48 aralığında hesaplanmıştır. Aylık değerler bakımından yüksek ortalama AOD değerleri

sırasıyla Ağustos, Mart, Temmuz, Eylül, Haziran, Ekim ve Nisan aylarında iken düşük ortalama AOD değerleri sırasıyla Kasım ve Mayıs aylarında hesaplanmıştır. Uzun yıllık mevsimsel ortalama AOD değerlerine göre Erzurum'da en yüksek aerosol değerleri yaz, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde hesaplanmıştır. Erzurum için yıllık ortalama AOD değerleri yıllar içinde küçük değişimler dışında kararlı bir değişime sahiptir. Erzurum'da yıllık ortalama aerosol değerleri 0.1164 (2013 yılı) ile 0.1576 (2017 yılı) aralığında değişmiştir. Yıllık bazda 2017, 2015, 2019 ve 2014 yılları en büyük değere sahip iken 2013, 2016, 2012 ve 2020 yıllarında nispeten düşük değerler hesaplanmıştır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM), Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Projesi (Proje No: 2011K120230) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu (TÜBİTAK) 2218 Programı (Proje No: 118C467) kapsamında desteklenmiştir. ATASAM, DAG ve TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Bu yayın TÜBİTAK-2218-Yurt İçi Doktora Sonrası Araştırma Burs Programından (Proje No: 118C467) yararlanılarak oluşturulmuştur. Ancak yayın ile ilgili tüm sorumluluk yayının sahibine aittir. TÜBİTAK'tan alınan maddi destek, yayının içeriğinin bilimsel anlamda TÜBİTAK tarafından onaylandığı anlamına gelmez.

#### KAYNAKLAR

 Martins, J. V. ve Tabacniks, M. H., 2009. University of Maryland Baltimore County -UMBC, Phys650 - Special Topics in Experimental Atmospheric Physics (Spring). UMBC userpages.

https://userpages.umbc.edu/~martins/PHYS650/Aerosols\_Size\_Effects\_Health.pdf.

- [2] Tomasi, C. and Lupi, A., 2017. Primary and Secondary Sources of Atmospheric Aerosol.
   Wiley-vch. https://application.wiley-vch.de/books/sample/3527336451\_c01.pdf.
- [3] Hinds, W. C., 1999. Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles (1st Edition). New York: John Wiley & Sons.
- [4] Atmospheric Sciences 5200, Introduction to Atmospheric Aerosols. Utah University. http://home.chpc.utah.edu/~hallar/cloud\_physics/lecture1.pdf.
- [5] Sayer, A. M., Hsu, N. C., Lee, J., Bettenhausen, C., Kim, W. V. ve Smirnov, A., 2018. Satellite Ocean Aerosol Retrieval (SOAR) algorithm extension to S-NPP VIIRS as part of the "Deep Blue" aerosol project. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 123(1), 380-400.

- [6] https://deepblue.gsfc.nasa.gov, Son Kontrol: 12.09.2023.
- [7] Hsu, N. C., Jeong, M. J., Bettenhausen, C., Sayer, A. M., Hansell, R., Seftor, C. S., Huang, J. ve Tsay, S. C., 2013. Enhanced Deep Blue aerosol retrieval algorithm: The second generation. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118(16), 9296-9315.
- [8] https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/viirs/SNPP-VIIRS\_DB\_Aerosol\_ATBD.pdf, Son Kontrol: 12.09.2023.
- [9] Kaba K., Yeşilyaprak C., Yüzlükoğlu F., Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) ve Çevresi için Atmosferik Aerosol Analizi, VIII. UZAL-CBS 2022 (12925), Ankara, 2022.

# Barents Denizi ve Svalbard Adası (Norveç) Çevresinin Google Earth Engine ve Sentinel-5P Uydu Verileri Kullanarak Atmosferik Kirletici Eğilimleri ve Dalgacık Analizi

#### Furkan Ali Küçük

TÜBİTAK MAM Kutup Araştırmaları Enstitüsü Kocaeli furkan.kucuk@tubitak.gov.tr

## Erhan Arslan

TÜBİTAK MAM Kutup Araştırmaları Enstitüsü Kocaeli erhan.arslan@tubitak.gov.tr

#### Göksu Uslular

TÜBİTAK MAM Kutup Araştırmaları Enstitüsü Kocaeli goksu.uslular@tubitak.gov.tr

## H. Hakan Yavaşoğlu TÜBİTAK MAM Kutup Araştırmaları Enstitüsü Kocaeli hakan.yavasoglu@tubitak.gov.tr

## Burcu Özsoy TÜBİTAK MAM Kutup Araştırmaları Enstitüsü Kocaeli burcu.ozsoy@tubitak.gov.tr

#### ÖZET

Bu çalışma, Ulusal Arktik Bilim Seferleri rotası boyunca (Barents Denizi ve Svalbard adası çevresi) atmosferdeki kirtleticiler olan SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının zamansal ve mekansal analizini içermektedir. Bölgede gemi trafiğinin ve turistik faaliyetlerin yoğun olduğu Haziran-Temmuz-Ağustos ayları boyunca, 5 yıllık periyotta (2019-2023), hava kalitesindeki değişimin ortaya konulması amacıyla, Google Earth Engine (GEE) platformu aracılığıyla Sentinel-5P (Seviye 2) uydu verilerinden faydalanılmıştır. Ayrıca, kirleticilerin zaman - frekans uzayındaki bağımlılıklarını incelemek amacıyla dalgacık analizi (wavelet coherence) kullanılmıştır.

Sonuç olarak, özellikle COVID-19 pandemisi sonrası normalleşme sürecine denk gelen dönemde (2020-2021) SO<sub>2</sub> değerlerinin maksimuma (2.61 x 10<sup>-4</sup> mol/m<sup>2</sup>) ulaştığı görülmektedir. NO<sub>2</sub> değerleri ise, 2019 yılı ikinci yarısından sonra düşme eğilimi göstermiş ve 2022 yılı sonuna kadar benzer bir trend izlemiştir. Dalgacık analizi yönteminde, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> birbirini takip eden yıllarda, Haziran ve Temmuz aylarında, orta ve büyük ölçeklerde birbirleriyle ilişkiliyken, küçük ölçeklerde ise sadece 2022 ve 2023 yılları yaz aylarında bir ilişki/bağımlılık göstermiştir. Benzer şekilde, 2022 ve 2023 yıllarında bu iki parametrenin küçük ölçekte aynı fazda olduğu, ancak SO<sub>2</sub>'nin zaman-frekans uzayında öncü faz olarak hareket ettiği görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında uydu verileri üzerinden elde edilen sonuçlar, Ulusal Arktik Bilimsel Araştırma Seferleri sırasında ölçülen yersel verilerle birlikte değerlendirilerek bölgedeki değişim daha hassas bir şekilde ortaya konmuş olacaktır.

Anahtar Kelimeler — Ulusal Arktik Bilimsel Araştırma Seferleri; hava kirliliği; uzaktan algılama; Google Earth Engine; Sentinel-5P

## 1. GİRİŞ

Tüm dünyada sanayileşme ve enerji tüketimi ile birlikte şiddetli bir artış yaşanmakta olup, dünyanın atmosferik kirleticiler bakımından temiz sayılabilecek kutup bölgelerinde hava kirliliğine yol açmaktadır. Günümüzde özellikle kutup bölgeleri için taşınım emisyonlarının artması sebebiyle bazı kirleticilerin konsantrasyonlarındaki artış gözle görülebilir seviyelere çıkmıştır. Bu artışın sebeplerinden biri olarak, son yıllarda deniz buzlarında meydana gelen olağan

dısı erimenin dolavlı etkileri gösterilmektedir. Özellikle Kuzev Kutbu bölgesinde, küresel ısınmanın etkileriyle deniz buzlarının önümüzdeki yıllarda tamamen erimesi bilimsel calısmalarca öngörülmektedir [1-2-3-4]. Arktik bölgesi atmosferi, alçak enlemlerden taşınan atmosferik kirleticilerden etkilenmekte olduğu bilinmektedir [5]. Orta enlemlerde Avrupa, Asya ve Kuzey Amerika'dan kaynaklanan antropojenik kirleticiler, hem kuzey hem de güney kutup bölgelerine taşınmaktadır. Aynı zamanda, Kuzey Kutbu bölgesindeki küresel ısınma etkileri ve buna bağlı olarak deniz buzunda meydana gelen azalma, bölgeyi giderek insan faaliyetlerine, gemi taşımacılığına ve değerli kaynak çıkarımına yöneltmektedir [6]. Özellikle yaz aylarında deniz buzunun azalmasıyla birlikte, geleneksel olarak kullanılan güney rotalarından daha kısa olan Norveç ve Rusya'nın kuzey kıyılarına yakın "Kuzeydoğu Geçidi" boyunca, yerel olarak kullanılan gemi taşımacılığı rotalarının değiştiği gözlenmektedir. Kuzey Kutup Bölgesi'nde deniz buzu seviyesi azaldıkça, Kuzeybatı Geçidi boyunca ve hatta Arktik Okyanusu boyunca daha fazla nakliye alanlarının artabildiği belirtilmektedir [7]. Arktik bölgedeki ısınma, avnı zamanda liman gelişimi, kentleşme ve taşımacılık ile bağlantılı olarak petrol ve doğalgaz çıkarma gibi endüstriyel faaliyetlerin artmasına da yol açabildiği bilindiği gibi aynı zamanda yaz aylarında da artan turistik ve ticari faaliyetler ile birlikte gemi trafiğindeki yoğunluğun her geçen gün arttığı bilinmektedir [8-9]. Nakliye rotalarının yakınında önemli miktarda kuru kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) birikimi olacağı tahmin edilmektedir [10]. Arktik gemi taşımacılığının, Barents Denizi bölgesindeki atmosferik bileşimi ve özellikle ozon ve nitrat aerosol konsantrasyonlarını hali hazırda etkilediğini göstermektedir [10]. Bölgedeki Haziran ve Kasım ayları arasındaki kirlilik seviyesindeki değişimin gözlemlenebilmesi ve hava kalitesi üzerindeki göreceli etkinin karakterize edilmesi amacıyla Arktik Bölgesi çevresindeki ölçüm istasyonları deniz taşımacılığının ve NOx, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, BC ve PM<sub>2.5</sub> gibi atmosferik kirleticiler karakterize edilmiş ve yüksek çözünürlüklü Hava Kalitesi Sağlık İndeksi'nde (AQHI) 0,1'den 0,3'e kadar bir artış olduğu ortaya konmuştur [11]. SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> artışındaki ana sebeplerin başında yakıt olarak kömürün kullanılması ve işletme koşulları başta gelmektedir. Bu da gemi taşımacılığı sırasında kullanılan kömürün düşük veya yüksek kükürt içeriği ile ilişkilendirilmektedir [12]. Atmosferik kirleticilerin uzun süreli uzaktan algılama yöntemleriyle zamansal ve mekânsal ölçekte incelenmesi önem arz etmektedir. Yer tabanlı ölçümler için yeterli maliyetin yüksek olmasını, altyapı riskinin bulunması ve çevre üzerindeki etkiyi de hesaba katmak oldukça önem arz etmektedir. Uydu tabanlı verilerin kullanımı bu gibi risklerin azaltılmasında önemli rol oynar. Ayrıca uydu verilerinin uzaysal çözünürlüğü ve spektral özellikleri kullanım kolaylığı sağlamaktadır [13]. Arktik odaklı haritalama için hava kalitesini,

iklimi ve ozon tabakasını küresel olarak izlemeye yönelik Sentinel-5P yetenekleri değerlendirilmiştir. Literatüre bakıldığında az sayıda çalışmanın Kutup bölgelerinde GEE'ye dayalı Sentinel 5 görüntü ve verilerinin kullanılarak atmosferik kirleticilerin etkinliğinin araştırıldığı ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, son yıllardaki gemi taşımacılığının Barents Denizi ve Svalbard Adası (Norveç) bölgesindeki NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> atmosferik kirleticilerin değişen dağılımını ve birbirleri arasındaki korelasyonun incelenmesi amaçlanmaktadır. Google Earth Engine (GEE) platformu aracılığıyla Sentinel-5P (Seviye 2) uydu verilerinden faydalanılarak 2019-2023 yılları arası yaz aylarında, atmosferik kirleticilerin zaman - frekans uzayındaki bağımlılıkları analiz edilmiştir.

## 2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı, Kuzey Kutup bölgesinde, Ulusal Arktik Bilim Seferleri rotasını da içine alan BarentsDenizi ve Svalbard adası çevresini (79.20557 K, 11.42754 D; 73.04335 K, 35.54554D)içermektedir (Şekil 1).



Şekil 1: Çalışma alanını gösteren harita. Sayısal yükselti modeli (30 m çözünürlüklü GEBCO) ve ilgili renklendirme PyGMT aracılığıyla [14].

Arktik gemi taşımacılığının yoğun olduğu bölgede, azalan deniz buzu seviyeleri ile birlikte yeni gelişen gemi rotaları sebebiyle her geçen yıl Barents Denizi ve yakındaki deniz ve kıyı alanları üzerindeki kirletici emisyonlarının etkilerini değerlendirmek için 2000 \* 2000 km<sup>2</sup> yatay çözünürlükte bir alandaki ölçülmüş veri değerleri alındı ve analiz edildi.

## 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Google, yer gözlem uydu verilerinin kullanılabileceği güvenilir ve zaman açısından verimli bir şekilde depolamak ve görüntülemek için 2010 yılında GEE platformunu geliştirdi. Geliştirilen bu platformaçık erişim kaynağına sahip olup, yer gözlem uydu verilerinin geniş bir alan ve zaman aralığında kolaylıkla işlenmesini sağlamaktadır [15]. Sentinel-5P, hava kalitesini, iklimi ve ozon tabakasını küresel olarak izlemeye yönelik Copernicus programının bir parçası olarak 10 Temmuz 2018'den itibaren görüntü kaydetmektedir. [16]. Sentinel 5P uydusuna ait bant bilgileri Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmektedir. Başlıca atmosferik kirleticilerden olan NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> verileri Sentinel 5P uydu görüntüleri üzerinden GEE aracılığıyla belirli filtrelerden geçirilerek elde edilmiştir (Şekil 2). İlk Ulusal Artik Bilim Seferi'nin gerçekleştirildiği 2019 yılından başlayarak NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> veri kümeleri elde edilmiştir. Daha sonrasında 2019 – 2023 yılları arasındaki yaz ayları (Haziran, Temmuz ve Ağustos) verilerinin aylık ortalamaları karşılaştırma yapmak amacıyla hesaplanmıştır.



Şekil 2: Atmosferik kirletici analizi için kullanılan yöntemler ve aşamaları

Tablo 1. NO2 ürününün özellikleri

BANT ADI	BİRİM MİN	MAKS.	AÇIKLAMA
NO2 kolon sayısı yoğunluğu	$mol/m^2 -0.0000$	<sup>5</sup> 0.0096	NO2 gradyan kolon yoğunluk oranı

Troposferik_NO2_kolon	mol/m <sup>2</sup>	-0.0064	0.0096	NO2'nin dikey troposferik sütunu
Stratosferik_NO2_kolon	mol/m <sup>2</sup>	$8.7 \times 10^{-6}$	0.0001	Stratosferik NO2 dikey sütun
NO2_eğimli_kolon_sayısı	mol/m <sup>2</sup>	-51.4 × 10	0.003908	NO2 gradyan kolon yoğunluğu
Tropopoz_basıncı	Ра	0.00644	0.009614	Üst duraklama basıncı
Absorblanan_aerosol_indeksi	Ра	-14.43	10.67	Aerosol endeksi
Bulut_fraksiyonu	kesir	0	1	Etkili bulut fraksiyonu

Tablo 2. SO2 ürününün özellikleri

BANT ADI	BİRİM	MİN.	MAKS	. AÇIKLAMA
SO2 kolon sayısı yoğunluğu	mol/m <sup>2</sup>	-48	0.24	Dikey sütun konsantrasyonu
So_2Koloiisuyisiyoguillugu		10		Yer seviyesinde SO <sub>2</sub>
SO <sub>2</sub> kolon sayısı amf	mol/m <sup>2</sup>	0.1	3.397	Bulutlu ve açık havanın ağırlıklı ortalaması
				hava kütle katsayısı
SO <sub>2</sub> eğimli kolon savısı	mol/m <sup>2</sup>	-0.147	0.162	SO2 düzeltme sütun yoğunluğu
				sütun eğimi
Bulut_fraksiyonu	kesir	0	1	Etkili bulut oranı.
Sensör azimut açısı	Açı	-180	180	Uydu azimut açısı, Doğu ve
	,			Kuzey WGS84
Sensör_zenit_açısı	Açı	0.09	67	WGS84 Uydu yükselme açısı
Günes azimut acısı	Acı	-180	180	Güneş azimut açısı, Doğu ve Kuzey
· ·	3			açı WGS84
Güneş zenit açısı	Açı	8	80	Uydunun tepe açısı aşağıdaki açıdır
· ,	3		-	dikeyden uzakta
SO <sub>2</sub> _kolon_sayısı_15 km	mol/m <sup>2</sup>	0	0	15 km'de $\overline{SO_2}$ dikey sütun yoğunluğu

#### 3.2. Dalgacık Analizi

Fourier analizi ile zaman serileri, belirli frekans boyutunda incelenebilir. Ancak Fourier dönüşümü altında zaman bilgisi kaybolacağından dolayı dalgacık analizi bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Dalgacık analizi, bir zaman serisinin spektral özelliklerinin zamanın bir fonksiyonu olarak tahminini gerçekleştirmektedir. Farklı periyodik bileşenlerinin zaman içinde nasıl değiştiğini ortaya çıkarır. Sürekli dalgacık analizi; zamanın bir fonksiyonunu, orijinal zaman serisini, fazladan bilgi sağlavan iki değiskenli (zaman ve frekans) bir fonksiyona esler. Ekonomi alanından ver bilimleri alanına kadar birçok çalışma alanında, iki zaman serisi araşındaki zaman-frekanş etkileşimlerini ortaya çıkarmak için dalgacık analizini uygulanmaktadır. [17]. Dalgacık, genliği sıfırdan başlayan, artan ve sonra tekrar sıfıra inen bir dalga şeklidir. Dalgacıklar, görüntüler ve ses sinyalleri gibi birçok farklı veri türünden bilgi çıkarmak için kullanılabilir. Dalgacık dönüşümü, zaman - frekans lokalizasyonunun analizidir ve sinyallerin yani fonksiyonların genişletilmesi ve çevrilmesi yoluyla çok ölçekli inceltmeyi gerçekleştirebilir. Bu analiz yöntemi, zaman-frekans sinyal analizi gereksinimine otomatik olarak uyum sağlayabilir. Sinyaller, dalgacık analizi yoluyla bir dizi dalgacık fonksiyonunun süperpozisyonuna ayrıştırılabilir. Dalgacık fonksiyonları böylece orijinal sinyalin zaman ölçeğindeki önemli gerçek değişimini yansıtabilir. Dalgacık dönüşümünün yerel analiz özelliği, onu durağan olmayan ve süreksiz zaman serilerini ölçmek için etkili bir araç olarak nitelendirmektedir. Bir ana dalgacığın zaman indeksi boyunca genisletilmesi ve ötelenmesi, ölcek fonksiyonu (frekansın ters fonksiyonu olan s) ve zaman (n) konumu veya öteleme yoluyla tanımlanabilen bir dizi yavru dalgacık oluşturabilir. Bir sinyal, bir dizi yavru dalgacık kullanılarak farklı zaman ölçeklerinde hesaplanabilir ve bu süreçte ayrıntılı karakteristik ölçekler elde edilebilir. Dalgacık penceresi genişletildiğinde, zaman serisinin uçucu kısmını analiz edebilir ve büyük ölçekli (düşük frekanslı) bir olayın özelliklerini yakalayabiliriz. [18]. Değişkenler arasındaki doğrusal etkileşimleri değerlendirmek için en yaygın kullanılan yaklaşımlardan biri tutarlılıktır. İstatistikte yaygın olarak kullanılan ancak frekans ve zaman alanına uygulanan Pearson korelasyon katsayısına dayanmaktadır. İki sinyalin ortalama vektör uzunluğu (veya tutarlılığı) arasındaki çapraz spektral yoğunluğu hesaplar ve korelasyon değerleri 0 ile 1 arasında değişir. Dalgacık analizi, dalgacık tutarlılığının hesaplanması anlamına gelir. Dalgacık tutarlılığı, iklim bileşenlerinin (sıcaklık, yağış, rüzgar hızı, nem vb.) değişkenliğini inceleyerek meteorolojik dinamiklerin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olur. Dalgacık tutarlılığı (*w*Cn) aşağıdaki denklemle ifade edilebilir.

$$\psi C_n^{pq}\left(s\right) = \frac{\psi_n^{pq}(s)}{\sqrt{\psi_n^p(s) \times \psi_n^q(s)}} \tag{1}$$

Dalgacık analizi, zaman-frekans alanındaki iki zaman serisi verisi arasındaki ilişkiyi analiz etmek için güçlü bir araçtır. Geleneksel korelasyon modellerinin aksine, dalgacık analizi farklı zaman ve frekans ölçeklerindeki iki zaman serisi verisi arasındaki ilişkiyi tanımlar. Sonuç olarak, iklim aktörlerinin hava kalitesiyle daha güçlü bir şekilde ilişkili olduğu belirli zaman ölçeklerinde, hava kirliliği etkenleri hakkında daha kesin bilgiler elde edilebilir [19]. Araştırmanın hedeflerine dayalı olarak R programının bir istatistiksel yazılım paketi olan dalgacık tutarlılığı yaklaşımını kullanarak oluşturulan SO<sub>2</sub> ile NO<sub>2</sub> arasındaki zaman- frekans bağımlılığı, dalgacık analizi sonucu Şekil 3'te gösterilmektedir. Şekil 3'e bakıldığında zaman yatay eksende gösterilirken dikey eksen frekansı gösterir (frekans ne kadar düşükse ölçek o kadar yüksek olur). Zaman-frekans uzayında iki zaman serisinin birlikte değiştiği bölgeler dalgacık tutarlılığı ile bulunur. Kırmızı olarak gösterilen yani daha sıcak renkler önemli bir karşılıklı ilişkiye sahip bölgeleri temsil ederken, daha mavi olarak gösterilen yani soğuk renkler seriler arasında daha düşük bağımlılığı ifade eder. Bu alanların ötesindeki soğuk bölgeler, serilerde bağımlılık olmayan zaman ve frekansları temsil etmektedir. Dalgacık tutarlılığı grafiklerindeki ok, incelenen iki parametrenin oluşturduğu seri arasındaki öncü veya gecikme faz ilişkilerini temsil etmektedir. İki parametre arasındaki faz farkının sıfır olması, iki zaman serisinin belirli bir ölcekte birlikte hareket ettiği anlamına gelir. Zaman serileri avnı veva anti-fazda olduğunda oklar sağa veya sola işaret eder. İki serinin aynı fazda olması aynı yönde hareket ettiklerini, anti-fazda olması ise ters yönde hareket ettiklerini gösterir. Sağ-aşağı veya solyukarıya işaret eden oklar ilk değişkenin önde olduğunu gösterirken, sağ-yukarı veya sol-aşağıya işaret eden oklar ikinci değişkenin önde olduğunu gösterir. [20]

#### 4. BULGULAR

Barents Denizi ve Svalbard Adası (Norveç) çevresinin havadaki NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının zaman serisi dağılımının ortalama sonuçları sırasıyla aylık ve yıllık olarak Şekil 2'de sunulmaktadır. Atmosferik kirleticilerin yaz aylarını içeren zaman serilerine bakıldığında (Şekil 3) özellikle 2019 yılında ortaya çıkan COVID-19 sürecinin kirletici dağılımlarını büyük oranda etkilediği görülebilmektedir. 2020-2021 yılları arasını içine alan dönemde, SO<sub>2</sub> değerlerinin maksimuma (2.61 x 10<sup>-4</sup> mol/m<sup>2</sup>) ulaştığı dikkat çekmektedir. Aynı zaman serisi içerisinde NO<sub>2</sub> değerleri ise, 2019 yılı ikinci yarısından sonra düşme eğilimi göstermiş ve 2022 yılı sonuna kadar benzer bir trend izlemiştir.



Şekil 3. 2019 – 2023 yılları yaz ayları SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> zaman serisi.

Şekil 4'de dalgacık analizi yönteminde, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> birbirini takip eden yıllarda, Haziran ve Temmuz aylarında, orta ve büyük ölçeklerde birbirleriyle ilişkiliyken, küçük ölçeklerde ise sadece 2022 ve 2023 yılları yaz aylarında bir ilişki/bağımlılık göstermiştir. Dalgacık tutarlılığına bakıldığında büyük ölçekte 2019 yılı Haziran ve Temmuz aylarında kirleticilere ait zaman serileri aynı fazda oldukları sağa doğru işaret eden oklardan görülebilmektedir. Benzer şekilde, 2022 ve 2023 yıllarında bu iki parametrenin küçük ölçekte aynı fazda olduğu, ancak SO<sub>2</sub>'nin zaman-frekans uzayında öncü faz olarak hareket ettiği sonucuna varılmaktadır. Yine 2023 yılı içerisinde temmuz ayında büyük ölçekte iki değişkenin anti faz durumunda olduğu ve NO<sub>2</sub> kirletici değişkeninin öncü faz olduğu anlaşılır. Buna rağmen 2023 yılı içerisindeki yaz aylarının tamamında küçük ölçekte iki değişkenin anti faz durumunda olduğu ve SO<sub>2</sub> kirletici değişkeninin öncü faz olduğu ortaya konulur.



Şekil 4. 2019 – 2023 yılları yaz ayları SO2 ve NO2 dalgacık analizi grafiği.

#### 5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışma, atmosferik kirleticilerden SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> yaz ayları boyunca izlenmesinin fizibilitesini göstermektedir. Ayrıca SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> emisyonlarından kaynaklanan hava kalitesini izlemek için uydu tabanlı yer gözleminin kullanılabileceğini göstermektedir.

İklim değişikliğinden kaynaklı olarak Kuzey Yarımküre'deki atmosferdeki kirletici düzeylerinde artışın yapılan birçok çalışma ve model yardımıyla ortaya konulmuştur. Bunun en belirgin sebeplerinden birisi küresel sıcaklık artışıdır. Bu sebeple Kuzey Yarımküre'nin her yerinde sıcaklığın artacağı tahmin edilmektedir. Ancak, sıcaklık artışı Kuzey Kutbu'na doğru artmaktadır. Bu sıcaklık artışıyla birlikte gerçekleşen deniz buzu azalmasına sebep olduğu birçok çalışmada da belirtilmiştir [13]. Bunların yanı sıra Kuzey Norveç'te denizcilik faaliyetleri sırasında atmosferik kirliliğinin hava kalitesi etkisi üzerindeki etkilerini ölçümlendiğinde ve FLEXPART-WRF duman dağılım modellemesi birleştirilerek belirli gemiler için nitrojen oksit (NOx) ve kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) emisyonlarındaki artışın Norveç kıyıları boyunca önemli bir kirlilik kaynağı olduğunu ve 15 günlük ortalama değerlerde yaklaşık %80 oranında arttığı gözlenmiştir [21]. Ayrıca Sentinel-5 P gibi uydulardan alınan veri setlerinin kullanımı, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> emisyonlarının uzun vadeli zaman serisi analizine olanak tanımaktadır. Bu bağlamda yapılan çalışmamızda elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmektedir:

- 2019 2023 yılı yaz ayları SO<sub>2</sub> değerlerinin değişkenliği pandemi sonrası bölgede yaz aylarında gerçekleştirilen yoğun gemi taşımacılığından kaynaklanacağını ortaya koymaktadır. Ayrıca pandemi süreci sonrasında gerçekleşen normalleşme sürecine denk gelen 2020-2021 yılları arasını içine alan dönemde SO<sub>2</sub> değerlerinin maksimuma (2.61 x 10<sup>-4</sup> mol/m<sup>2</sup>) ulaşması bu durumu destekler niteliktedir.
- NO<sub>2</sub> değerlerinin ise, 2019 yılı ikinci yarısından sonra düşme eğilimi gösterdiği ve 2022 yılı sonuna kadar benzer bir trend izlemesi pandemi dönemi sonrası gemi taşımacılığı ve diğer etken neticesinde tekrar eski seviyelerine geldiği düşünülmektedir. NO<sub>2</sub> trendinin daha net açıklanabilmesi için önceki yıllara ait verilerin de incelenmesi ve 2023 yılı sonrası NO<sub>2</sub> değerlerinin takibi önem arz etmektedir.
- Kirleticiler arasındaki dalgacık analizi incelendiğinde farklı zaman ölçeklerinde iki değişkenin de farklı frekanslarda farklı fazlarda hareket edebildikleri anlaşılmıştır. Bu iki değişkenin birbirleriyle olan bağımlılığı en çok Temmuz ayları içerisinde karşılıklı ilişkiye sahip oldukları açıklanmıştır.

Belirli bir periyodu kapsayan bu çalışma sonucunda, daha geniş zaman aralığındaki atmosferik parametreler arasındaki karmaşık ilişkinin anlaşılabilmesi için uzun vadeli uzay-zamansal verilerin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Ayrıca, bölgenin daha detaylı analizi ve alınması gereken önlemlerin tespitine yönelik diğer atmosferik kirleticilerin de (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> ve CO gibi) hem yersel hem de uzaysal olarak incelenmiş gerektiği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Jason E Box et al 2019 Environ. Res. Lett. 14 045010
- [2] Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Arvizu, D., Bruckner, T.,... & Zwickel, T. (2011). Summary for policymakers.
- [3] Arctic Monitoring and Assessment Programme, "Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic Summary for Policy-makers," 2017. Accessed: Aug. 06, 2023. [Online]. Available: https://oaarchive.arctic-council.org/bitstream/handle/11374/1996/EDOCS-4087-v1A-

ACSAOUS204\_JUNEAU\_2017\_352\_SWIPA\_2017\_Update\_Assessment\_SPM.PDF?se quence=1

- [4] M. V. Guarino et al., "Sea-ice-free Arctic during the Last Interglacial supports fast future loss," Nat. Clim. Chang., vol. 10, no. 10, pp. 928–932, 2020, doi: 10.1038/s41558-020-0865-2.
- [5] Barrie, L. A. (1986). Arctic air pollution: An overview of current knowledge. Atmospheric Environment (1967), 20(4), 643-663.
- [6] Marelle, L., Raut, J.-C., Law, K., & Duclaux, O. (2018). Current and future arctic aerosols and ozone from remote emissions and emerging local sources—Modeled source contributions and radiative effects. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 123, 12,942–12,963. https://doi.org/10.1029/2018JD028863
- [7] S.R. Stephenson, W. Wang, C.S. Zender, H. Wang, S.J. Davis, P.J. Rasch Climatic responses to future trans-arctic shippingGeophys. Res. Lett., 45 (2018), pp. 9898-9908, 10.1029/2018GL078969https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2 018GL078969
- [8] S.R. Stephenson, W. Wang, C.S. Zender, H. Wang, S.J. Davis, P.J. Rasch Climatic responses to future trans-arctic shippingGeophys. Res. Lett., 45 (2018), pp. 9898-9908, 10.1029/2018GL078969https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2 018GL078969
- [9] Dalsøren, S. B., Endresen, Ø., Isaksen, I. S., Gravir, G., & Sørgård, E. (2007). Environmental impacts of the expected increase in sea transportation, with a particular focus on oil and gas scenarios for Norway and northwest Russia. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 112(D2).
- [10] Jean-Christophe Raut, Kathy S. Law, Tatsuo Onishi, Nikos Daskalakis, Louis Marelle, Impact of shipping emissions on air pollution and pollutant deposition over the Barents Sea, Environmental Pollution, Volume 298,2022,118832,ISSN 0269-7491,https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118832.
- [11] Aliabadi, A. A., Staebler, R. M., and Sharma, S.: Air quality monitoring in communities of the Canadian Arctic during the high shipping season with a focus on local and marine pollution, Atmos. Chem. Phys., 15, 2651–2673, https://doi.org/10.5194/acp-15-2651-2015, 2015
- [12] Shikwambana, L.; Mhangara, P.; Mbatha, N. Trend analysis and first time observations of sulphur dioxide and nitrogen dioxide in South Africa using TROPOMI/Sentinel-5 P data. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 2020, 91, 102130.

- [13] Hedegaard, G. B., Brandt, J., Christensen, J. H., Frohn, L. M., Geels, C., Hansen, K. M., and Stendel, M.: Impacts of climate change on air pollution levels in the Northern Hemisphere with special focus on Europe and the Arctic, Atmos. Chem. Phys., 8, 3337–3367, https://doi.org/10.5194/acp-8-3337-2008, 2008
- [14] Uieda, L., Tian, D., Leong, W. J., Toney, L., Schlitzer, W., Grund, M., ... & Wessel, P. (2021). PyGMT: A Python interface for the generic mapping tools.
- [15] Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. Remote sensing, 10(10), 1509 Schmale, J., Arnold, S. R., Law, K. S., Thorp, T., Anenberg, S., Simpson, W. R., ... & Pratt, K. A. (2018). Local Arctic air pollution: A neglected but serious problem. Earth's Future, 6(10), 1385-1412.
- [16] Irizar, J., Melf, M., Bartsch, P., Koehler, J., Weiss, S., Greinacher, R., ... & Martin, D. (2019, July). Sentinel-5/UVNS. In International Conference on Space Optics— ICSO 2018 (Vol. 11180, pp. 41-58). SPIE..
- [17] Aguiar-Conraria, L., & Soares, M. J. (2014). The continuous wavelet transform: Moving beyond uni-and bivariate analysis. Journal of Economic Surveys, 28(2), 344-375.
- [18] Adriana C. Furon, Claudia Wagner-Riddle, C. Ryan Smith, Jon S. Warland, Wavelet analysis of wintertime and spring thaw CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes from agricultural fields,Agricultural and Forest Meteorology,Volume 148, Issues 8–9,2008,Pages 1305-1317,SSN 0168-1923, https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.03.006
- [19] Md. Abdul Fattah, Syed Riad Morshed, Abdulla Al Kafy, Zullyadini A. Rahaman, Muhammad Tauhidur Rahman, Wavelet coherence analysis of PM2.5 variability in response to meteorological changes in South Asian cities, Atmospheric Pollution Research, Volume 14, Issue 5,2023,101737, ISSN 1309-1042, https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.101737.
- [20] https://rpubs.com/ibn\_abdullah/rwcoher
- [21] Marelle, L., Thomas, J. L., Raut, J.-C., Law, K. S., Jalkanen, J.-P., Johansson, L., Roiger, A., Schlager, H., Kim, J., Reiter, A., and Weinzierl, B.: Air quality and radiative impacts of Arctic shipping emissions in the summertime in northern Norway: from the local to the regional scale, Atmos. Chem. Phys., 16, 2359–2379, https://doi.org/10.5194/acp-16-2359-2016, 2016.

# Sis Tahmininde Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Kullanılması: İstanbul Havalimanı Örneği

Gizem Hodoğlu Meteoroloji Genel Müdürlüğü İstanbul Havalimanı Meteoroloji Müdürlüğü İstanbul gcelik@mgm.gov.tr

Mahmut Müslüm Meteoroloji Genel Müdürlüğü İstanbul Havalimanı Meteoroloji Müdürlüğü İstanbul mmuslum@mgm.gov.tr

## ÖZET

Sis hadisesinin oluşum karakteristiğine bağlı olarak meydana gelmesi, diğer hava olaylarına göre nispeten lokal koşullardan daha fazla etkilenmektedir. Bu nedenle meteorolojik koşulların tahmininde kullanılan Sayısal Hava Tahmin (SHT) modelleri, sis olaylarını tahmin etmekte yeterince başarılı olamamaktadır. Ayrıca SHT'nin yüksek hesaplama gerektirmesi, birçok farklı alanda kullanılan makine öğrenmesi ile meteorolojik koşulların tahmininde de kullanımını daha cazip hale getirmektedir. Bu çalışmada; İstanbul Havalimanı'ndaki OMGİ'ye ait gözlem verileri kullanılarak ve üç farklı makine öğrenmesi algoritması kullanılarak düşük görüş mesafesi tahmin edildi. Tahmin edilen en düşük görüş mesafesi ile ölçülen en düşük görüş mesafesi karşılaştırılarak tahmin tutarlılığının en yüksek olduğu gün yöntem istatistiksel başarım kriterlerine göre tespit edildi. En doğru tahmin edilen düşük görüş mesafesi gününe ait uydu görüntüleri incelenmiş, gerek oluşan sis olaylarının karakteristiği ve oluşumu ortaya konulmuştur. Çalışma sonucunda makine öğrenmesi yöntemlerinin, uygun modelleme kurgusu ile sis tahmininde kullanılmasının pratik bir yaklaşım getirebileceği incelendi.

Anahtar Kelimeler — Sis, Makine öğrenmesi, Düşük görüş, Uydu, Hava tahmini

## 1. GİRİŞ

Havalimanlarında uçuş faaliyetlerinin düzenli, planlanan ve güvenli bir şekilde yapılması için meteorolojik hizmetler verilmektedir. Havalimanlarındaki meteoroloji ofislerinin ICAO ANNEX-3 dökümanında belirtilen standartlara göre hazırlamış oldukları havalimanı tahmin raporları (TAF); hava yolu şirketlerinin, yer işletmenin ve diğer operasyonel birimlerin olumsuz hava koşullarına karşı gerekli tedbirleri önceden alınmaları için gerekli meteorolojik bilgileri sağlamaktadır. Bu raporların tutarlılığının yüksek olması, havalimanlarında yürütülen uçuş operasyonlarının zaman ve maddi kayıpları en aza indirirerek güvenli bir şekilde yapılmasında önemli rol oynamaktadır. TAF raporlarında tahmin edilen görüş mesafesi; sis olayının görüş mesafesini azaltmasına bağlı olarak havalimanlarında ucus operasyonun büyük ölcüde aksatan en önemli meteorolojik olaydır [1]. Ayrıca sis olayı havalimanlarında kaza kırımlara neden olarak uçuş tehlikesi oluşturmaktadır [2]. Dünya Meteoroloji Teşkilatı'na (WMO) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne (MGM) göre sis; atmosferik su buharının çok küçük su damlacıkları veya buz kiristalleri şeklinde yoğunlaşarak havada asılı kalarak görüş mesafesinin 1000 metre altına düşmesi durumudur [3-4]. Sis; su buharının yerde veya yere yakım kısımda yoğunlaşarak fiziksel olarak görünür hale gelmesidir. Sis oluşum karakterisğine göre buharlaşma, yağış/cephesel, adveksiyon ve radyasyon olarak sınıflandırılabilir. Sis oluşumunun birçok meteorolojik faktöre bağlı olması, havalimanlarını konumuna bağlı lokal koşullar sis tahminini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle sis tahmininde bir çok farklı alanda kullanılan makine öğrenmesi metodları kullanılmaya başlanmıştır. Fabbian ve arkadaşları derin öğrenme modeli ile Canberra Havalimanı'nda sis olayını tahmin etmeyi başarmışlardır [5]. Ayrıca diğer bir çalışmada yapay sinir ağları (YSA) yöntemi ile Brezilya'da Academia da Força Aerea askeri havalimanı için sis tahmini yapmışlardır [6].

Bu çalışmada; İstanbul Havalimanı'ndaki saatlik gözlem verisi kullanılarak makine öğrenmesi yöntemleri ile düşük görüş mesafesi tahmin edilmiştir. Kullanılan üç makine öğrenmesi algoritmasından en iyi tahmin doğruluğuna sahip algoritma ilgili başarım ölçütleri kullanılarak tespit edilmiştir. En iyi performans gösteren Rassal Orman (Random Forest) algoritması kullanarak, sis kategorisinde modelin doğru tahminleri araştırılmıştur. Tahmin edilen en düşük görüş mesafesi ile ölçülen en düşük görüş mesafesi karşılaştırılarak modelin görüş kategorisini doğru tahmin ettiği 19 Şubat 2019 gününe ait uydu görüntüleri incelenmiş, oluşan sis olaylarının karakteristiği ve oluşumu ortaya konulmuştur.

## 2. METODOLOJİ

Makine öğrenmesi kavramı, 1959 yılında bilgisayar bilimci Arthur Samuel tarafından "bilgisayarların açıkça programlanmadan öğrenme yeteneği veren çalışma alanı" olarak tanımlanmıştır [7]. Makine öğrenmesi süreci veri ile başlamaktadır. Seçilen makine öğrenmesi modeli veri ile eğitilerek, modelin veri içerisindeki paternleri bulması ve tahmin yapması sağlanır. Verinin bir kısmı test amacı ile ayrılır, böylece modelin daha önce karşılaşmadığı veriler üzerinde ne derece tutarlı tahminler yaptığı test edilir.

Makine öğrenmesinde gözetimli ve gözetimsiz öğrenme olmak üzere temelde iki farklı türde yaklaşım vardır. Gözetimli öğrenme, girdi ve çıktı değişkenlerinin bir arada olduğu, etiketlenmiş verinin kullanıldığı makine öğrenmesi türüdür [8]. Gözetimli öğrenme modelleri özellik ve hedef değişkenler arasındaki bağlantıyı eğitim sürecinde öğrenir. Gözetimli öğrenme algoritmaları, sınıflandırma ve regresyon olmak üzere iki çeşittir. Gözetimsiz öğrenmede ise modelin eğitildiği veri, hedef değişkenlere (etiketlere) sahip değildir. Bu çalışmada kullanılan veri, meteorolojik parametrelerin değerlerini içeren İstanbul Havalimanı 35R pistine ait AWOS verisidir.

#### 2.1.Keşifçi Veri Analizi

Keşifçi Veri Analizi (KVA), verileri daha iyi anlamak için tanımlayıcı istatistikleri ve grafiksel araçları kullanan bir yaklaşımdır [9]. Çalışmada kullanılan veri seti incelendiğinde 2018-11-01 00:00'dan 2023-08-15 09:00' a kadar olan saatlik değerleri içerdiği görülmektedir. Veri içerisinde null değerler görülmemekle beraber, bazı saatlerde tüm meteorolojik parametre değerlerinin sıfıra eşit olduğu görülmüştür. Alan bilgisi kullanılarak bu verinin doğru olmadığı bilinebilir. Bu satırları silme ya da uygun metotlarla doldurma yöntemlerinden biri seçilebilmekle birlikte, veri setinin çok küçük bir kısmını oluşturduğundan kaldırılması tercih edilmiştir.

Çalışmanın konusu düşük görüş koşulları olduğundan, görüşün 5000 metre ve altında olduğu periyoda ait veri kullanılmıştır. Gözetimli bir makine öğrenmesi modelini uygulamak için bağımsız değişkenleri ve bağımlı değişkeni belirlemek gerekmektedir. Bu çalışmada, tahmin etmede kullanılacak girdi değişkenleri (bağımlı değişkenler) rüzgâr yönü, rüzgâr hızı, bağıl nem, basınç, sıcaklık olarak seçilmiştir. Bu değişkenler kullanılarak hedef değişken olan görüş, model tarafından tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Seçili özellik ve hedef değişkenler için korelasyon matrisi çizdirilerek, değişkenlerin birbiri ile olan ilişkileri anlaşılmaya çalışılmıştır*(Şekil 1)*. Sıcaklık ve çiy noktası sıcaklığı arasında gözlenen güçlü pozitif korelasyon, veri ön işleme aşamasında değerlendirilmiştir.



Şekil 1: Korelasyon matrisi.

## 2.2.Veri Ön İşleme

## 2.2.1. Hedef Değişkenin Kategorize Edilmesi

Sis tahmininde makine öğrenmesinin kullanıldığı çalışmalarda, problemin regresyon ya da sınıflandırma olarak ele alındığı farklı yaklaşımlar mevcuttur [10]. Sınıflandırma kullanılan çalışmalarda görüş, kategorilere ayrılırken bu kategorilerin sisin yoğunluğuna göre seçilmesi kullanılan yöntemlerden biridir [11]. Bu çalışmada da benzer bir yaklaşımla, görüş mesafesi değerleri 4 kategoriye ayrılmıştır.

Tablo 1: Görüş Mesafesi Kategorileri

0. Kategori	0-50 m
1. Kategori	50-550 m
2. Kategori	550-1000 m
3. Kategori	1000-5000 m

## 2.2.2. Özellik Mühendisliği

Sıcaklık ve çiy noktası sıcaklığı arasında yüksek pozitif korelasyon (0.94) tespit edilmiştir. Bu durumda bu iki değişkeni bir arada tahminde girdi olarak kullanmak, çoklu doğrusallık problemine (multicollinearity) neden olacaktır. Çoklu doğrusallık, iki veya daha fazla bağımsız değişken arasında yaklaşık olarak doğrusal ilişki bulunma durumudur [12]. Çoklu doğrusallık modellerin tahminlerini olumsuz etkileyebilir ve overfitting (aşırı uyum) problemine neden olabilir.

Bu nedenle sıcaklık ve çiy noktası sıcaklığı farkı hesaplanarak, spread adında yeni bir değişken türetilmiştir. Sıcaklık ve çiy noktası değişkenlerinin yerine kullanılacak bu bağımsız değişken, tahminde kullanılacak girdilerden biri olacaktır.

## 2.2.3. Min-Max Normalizasyonu

Çalışmada kullanılacak değişkenlerin değerleri farklı ölçeklere sahip olması, makine öğrenmesi modelinin tahminlerinde sorunlara yol açabileceğinden, bu değişkenlerin ölçeklendirilmesi tercih edilmiştir. Min-Max normalizasyonu, veri içerisindeki tüm değişkenleri tanımlanmış bir aralığa indirgeyen bir veri ölçeklendirme tekniğidir [13]. Normalizasyon işlemi ile tüm değişkenlerin model tarafından eşit ölçüde dikkate alınması amaçlanmıştır.

Min-max normalizasyonu aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\boldsymbol{x}_{\ddot{o}l\boldsymbol{\varsigma}\boldsymbol{e}\boldsymbol{k}\boldsymbol{l}\boldsymbol{e}\boldsymbol{n}\boldsymbol{d}\boldsymbol{i}\boldsymbol{r}\boldsymbol{i}\boldsymbol{l}\boldsymbol{m}\boldsymbol{i}\boldsymbol{\varsigma}} = \frac{\boldsymbol{x} - \boldsymbol{x}_{min}}{\boldsymbol{x}_{max} - \boldsymbol{x}_{min}} \tag{1}$$

## 2.3.Model Seçimi

Seçilen bağımsız değişkenler, kategorik hale getirilmiş hedef değişken olan görüşü tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu durumda üzerinde çalışılan problem, bir sınıflandırma problemidir. Çalışmada, problemin yapısına uygun olabilecek 3 makine öğrenmesi algoritması seçilmiştir.

2.3.1. Random Forest (Rassal Orman)

Rassal orman, birden fazla karar ağacını birleştirerek oluşturulan bir sınıflandırma ve regresyon yöntemidir. Her karar ağacı, veri kümesinden rastgele seçilen bir alt örnek kullanılarak oluşturulur [14]. Her bir karar ağacı bir tahmin yapar ve bu tahminler sınıfı belirlemek için değerlendirilir. Çoğunluk oylaması ile, en çok oy alan sınıf, tahmin edilen sınıf olarak belirlenir [15].

## 2.3.2. Gradient Boosting (Gradyan Artırma)

Gradyan artırma algoritmasında, iteratif olarak hata tahmin edilip iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Her yinelemede, önceki tahmin edicinin hatalarını düzeltmek için yeni bir tahmin edici model oluşturulur [16].

## 2.3.3. XGBoost / Extreme Gradient Boosting

XGBoost, gradyan artırma algoritmasının optimize edilmesi ile ortaya çıkmış, yüksek tahmin gücüne sahip makine öğrenmesi algoritmasıdır. İlk kez Chen ve Guestrin tarafından 2016 yılında kullanılan algoritma; boş verileri yönetebilme, aşırı öğrenmenin önüne geçebilme ve optimizasyon yapabilme özellikleri ile öne çıkmaktadır [17].

## 2.4. Modellerin Eğitimi ve Başarım Değerlendirilmesi

Verinin %80'i eğitim, %20'si test verisi olarak ayrılmıştır. Her üç model eğitim verisi ile eğitilmiş ve test verisi ile tahmin başarısı değerlendirilmiştir. Sınıflandırma problemi üzerine çalışıldığından, sınıflandırma problemlerinde kullanılan *karışıklık matrisi* değerlendirme ölçütü olarak kullanılacaktır.

İki sınıftan oluşan bir problem için karışıklık matrisi tablodaki biçimde ifade edilmektedir (Tablo 2).

	Pozitif Gerçek Durum	Negatif Gerçek Durum
Pozitif Tahmin	Doğru Pozitif (DP)	Yanlış Pozitif (YP)
Negatif Tahmin	Yanlış Negatif (YN)	Doğru Negatif (DN)

Tablo 2: Karışıklık Matrisi

Doğruluk, eğitim verisi kullanılarak eğitilen modelin, test kümesindeki verileri doğru sınıflandırma oranıdır[18].

$$Doğruluk = \frac{DP + DN}{DP + DN + YP + YN}$$
(2)

Duyarlılık, modelin gerçekte pozitif sınıfa ait verileri doğru tahmin etme oranını, özgüllük gerçekte negatif sınıfa ait verileri doğru tahmin etme oranını, kesinlik ise pozitif olarak tahmin edilenlerin doğru tahmin edilme oranını göstermektedir [18].

F1 ölçütü, 0 ile 1 arasında değer alır ve sınıflandırıcı modelin doğruluğu yüksek ise bu değer 1'e daha yakın olur [18].

Çalışmadaki üç modelin eğitim verisi ile eğitilmesi sonrasında tahmin performanslarını değerlendirmek amacı ile başarım ölçütleri hesaplanmıştır. Test setindeki 345 verinin hangi kategoriye ait olduğunun ne derece doğru tahmin edildiği incelenmiştir.

Rassal orman, gradyan artırma, XGBoost modelleri için sırasıyla karışıklık (hata) matrisi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 2,3,4).



Şekil 2: Rassal orman modeline ait karışıklık matrisi


Şekil 3: Gradyan artırma modeline ait karışıklık matrisi



Şekil 4: XGBoost modeline ait karışıklık matrisi

Rassal orman, gradyan artırma ve XGBoost algoritmaları için hesaplanan ağırlıklı ortalama başarım ölçütleri tabloda verilmiştir (Tablo 3).

# Tablo 3: Rassal Orman, Gradyan Artırma ve XGBoost algoritmaları için başarım ölçütleri

	Kesinlik	Duyarlılık	F1 Ölçütü
Rassal Orman	0.89	0.90	0.89

Gradyan Artırma	0.88	0.89	0.87
XGBoost	0.86	0.89	0.86

Rassal orman algoritması modelinin doğruluğu 0.90'dır. Gradyan artırma algoritması için model doğruluğu 0.89'dur. XGBoost algoritması için ise doğruluk değeri 0.88'dir.

Yapılan değerlendirme sonucu en iyi performans gösteren modelin Rassal Orman algoritması olduğu görülmüştür. Seçili algoritma kullanılarak modelin doğru kategoride tahmin ettiği sis hadisesi için uydu görüntüleri kullanılarak analiz yapılmıştır.

# 3. UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE SİS ANALİZİ

Görüş mesafesini ciddi biçimde sınırlayan bir meteorolojik hadise olan sis, uçuş operasyonlarını ve güvenliğini doğrudan etkilemektedir. Bu etki, operasyon yoğunluğu daha yüksek olan havalimanlarında daha da belirgindir. MEVBİS üzerinden alınan İstanbul Havalimanı'nda Ocak 2019 – Ekim 2023 tarihleri arasında aylık sisli gün sayılarının dağılımı incelendiğinde, sis hadisesi en fazla Ocak ayında görülmüş, Eylül ayında ise sis hadisesi gözlemlenmemiştir (Şekil 5).



Şekil 5: İstanbul Havalimanı aylık ortalama sisli gün sayısı

Modelin tüm bu kategorilerde doğru tahmin yaptığı gün olarak 19 Şubat 2019 tarihi seçilmiştir (Şekil 6).

	Date	Actual	Prediction
2019-02-19	08:00:00	3.0	3
2019-02-19	03:00:00	1.0	1
2019-02-19	04:00:00	1.0	1

Şekil 6: Rassal Orman modelinin 19 Şubat 2019 için görüş tahminleri.

Modelin, görüşün 03:00 ve 04:00 Z'da 50-550 m aralığına düşeceğini ve 08:00 Z'da 1000-5000 m arasında olacağını doğru tahmin ettiği görülmüştür. Belirtilen günün sis analizi uydu görüntüleri aracılığı ile incelenmiştir.

# 3.1. Sis Hadisesinin Başlaması

Tablo 4: Sis Başlangıcı

# LTFM 190150Z 00000KT 6000 NSC 04/02 Q1024

# LTFM 190220Z 04004KT 0600 R35R/0400D R17L/0400D R34L/0750D R16R/0325D FG VV002 05/04 Q1024

# LTFM 190250Z 04005KT 0200 R35R/0300N R17L/0325N R34L/0300N R16R/0275N FG VV001 04/04 Q1024

19 Şubat 2019 gününe ait METAR gözlemleri incelendiğinde, sis oluşumunun 02:20 Z rasadı ile başladığı görülmektedir. MSG4 uydusuna ait gece sisi/alçak bulut ürününde, 00 Z'da İstanbul'un kuzeyi üzerinde mevcut olmayan sis hadisesinin (Şekil 7.a), 03 Z'da (Şekil 7.b) gelişen sis şeklinde görülebilmektedir.



Şekil 7: a: Gece Sisi ürünü 00Z, b: Gece Sisi ürünü 03Z sis oluşumu.

Gelişen sis, MSG4 uydusuna ait 24 saatlik bulut mikrofiziği ürününde de belirgin bir şekilde görülebilmektedir.(Şekil 8.a, 8.b)



Şekil 8: a: 24 saat bulut mikrofiziği ürününde 00Z uydu görüntüsü , b: 03Z sis oluşumu

# 3.2. Yoğun Sis

# Tablo 5: Yoğun Sis Hadisesi

# LTFM 190620Z 06008KT 050V120 0100 R35R/0275U R17L/0350N R34L/0350N R16R/0350D FG VV001 04/04 Q1025

LTFM 190650Z 07008KT 0100 R35R/0225N R17L/0350N R34L/0250N R16R/0450D FG VV001 04/04 Q1025

# LTFM 190720Z 06007KT 0200 R35R/0250U R17L/0900U R34L/0225N R16R/0700N FG VV001 05/05 Q1025

02:50Z – 07:50Z arasında 500 metre altı görüş koşulları ile yoğun sis gözlemlenmiştir. 06:00Z ve 07:00Z MSG4 uydusu VISHRV ürününde sis, belirgin olarak görülebilmektedir (Şekil 9.a, 9.b).



Şekil 9: a: MSG4 uydusu VISHRV ürününde 07:00Z görüntüsü, b: MSG4 uydusu VISHRV ürününde 08:00Z

3.3. Sisin Dağılması

# Tablo 6: Sisin Dağılması

# LTFM 190750Z 07007KT 0700 R35R/0900U R17L/P1500U R34L/0800U R16R/1300N BCFG BKN002 05/05 Q1025

LTFM 190820Z 07008KT 040V110 1200 R35R/1400N R17L/P1500U R34L/1300U R16R/1400U BCFG OVC003 05/05 Q1025

# LTFM 191020Z 07010KT 3500 1400SW R35R/P1500U R17L/P1500U R34L/1400U R16R/P1500U BR BKN003 05/04 Q1025

#### LTFM 191120Z 06008KT 7000 SCT005 07/05 Q1024

08:20Z itibari ile hakim rüyetin 1000 m üzerinde olduğu gözlemlenmekte ve sis dağılmaktadır. 11:20Z rasadında ise hakim rüyet 7000 m olarak verilmiş, görüş engelleyici hadiseler son bulmuştur. MSG4 uydusuna ait kanal 1 VIS06 ürününde alçak bulutların varlığı ve zaman içerisinde dağıması görülebilmektedir (Şekil 10.a, 10.b, 10.c, 10.d).



Şekil 10: Alçak bulutların varlığı ve dağılması a: 0700Z, b: 0900Z, c.1000Z, d.1100Z

# 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çok kısa bir zaman ve alan ölçeğinde sınır tabaka içerisinde gerçekleşen sis hadisesinin tahmini, sayısal hava tahmin modelleri için bile zorlayıcı olabilmektedir. Makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak, çalışma alanında ölçülmüş geçmiş veri ile modelleme yapılması ve tahminlerin geliştirilmesi mümkündür. Sis tahminini farklı makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak ele alan çalışmalar literatürde mevcuttur.

Bu çalışmada, İstanbul Havalimanı 35R pistine ait saatlik meteorolojik veri kullanılmış, görüş mesafesi tahmini kategorik bir değişken hale getirilerek, bu kategoriler üç makine öğrenmesi yöntemi (rassal orman, gradyan artırma ve XGBoost) ile tahmin edilmeye çalışılmış ve en iyi performans gösteren model başarım ölçütleri ile değerlendirilmiştir. Rassal Orman algoritması kullanılarak düşük görüş koşullarının kategorik olarak tahmin doğruluğunun yüzde 90 olduğu görülmüştür. Gelecekte sis tahmini tutarlılığının, daha uzun

vadeli veri setleri ile farklı pilot bölgelerde makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak iyileştirilebilme potansiyeli olduğu görülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- Rebollo J.J., Balakrishnan H., *Characterization and prediction of air traffic delays*, 2014.
- [2] Ahmed M.M., Abdel-Aty M., Lee J., Yu R., *Real-time assessment of fog-related crashes using airport weather data: a feasibility analysis*, 2014.
- [3] WMO *Manual on codes, international codes.*, Technical report, World Meteorological Organization, 2011.
- [4] https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojisozlugu.aspx?, Meteoroloji Sözlüğü.MGM, Son Kontrol: 03.11.2023.
- [5] Fabbian D, De-Dear R, Lellyett S., *Application of artificial neural network forecasts* to predict fog at Canberra International Airport, 2007.
- [6] Colabone RO, Ferrari A, da Silva-Vecchia F, Bruno-Tech A., *Application of artificial neural networks for fog forecast*, 2015.
- [7] https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/machine-learning-explained, *Machine Learning, Explained*, Son Kontrol: 03.11.2023.
- [8] https://www.datacamp.com/blog/supervised-machine-learning, Supervised Machine Learning, Son Kontrol: 03.11.2023.
- [9] Camizuli E., Carranza, E. J., *Exploratory data analysis (EDA)*. In SAS for Advanced Analytics: A Practical Guide., 2018.
- [10] Castillo-Botón C., Casillas-Pérez D., Casanova-Mateo C., Ghimire S., Cerro-Prada,
  E., Gutierrez P. A., Deo R. C., & Salcedo-Sanz S., *Machine learning regression and classification methods for fog events prediction*, 2022.

[11] Shankar A., Sahana B.C., Early warning of low visibility using the ensembling of machine learning approaches for aviation services at Jay Prakash Narayan International (JPNI) Airport Patna, 2023.

[12] Chan J. Y.-L., Leow S. M.-H., Bea K. T., Cheng, W. K., Phoong S. W., Hong Z.-W., Chen, Y.-L., *Mitigating the Multicollinearity Problem and Its Machine Learning Approach: A Review*, 2023.

[13] Yavuz S., Deveci M., İstatistiksel Normalizasyon Tekniklerinin Yapay Sinir Ağı Performansına Etkisi, 2013.

[14] Pramasani D., Shi Y., Suo K., *Outlier Prediction Using Random Forest Classifier*,2021.

[15] Dinç S., Aygun, R., Evaluation of Hyperspectral Image Classification Using Random Forest and Fukunaga-Koontz Transform, 2013.

[16] https://towardsdatascience.com/gradient-boosting-classification-explainedthrough-python-60cc980eeb3d, Gradient Boosting Classification Explained Through Python, Son Kontrol: 03.11.2023.

[17] Yeşilyurt S.N., Dalkiliç H., *Xgboost ve Gradient Boost Machine ile Günlük Nehir Akımı Tahmini*, 2021.

[18] Alan, A. & Karabatak, M., Veri Seti - Sınıflandırma İlişkisinde Performansa Etki Eden Faktörlerin Değerlendirilmesi., 2020.

# Karmaşık Topoğrafya Üzerinde Uydu Tabanlı Yağış Tahmini Hatalarının Düzeltmesi İçin Ağaç Tabanlı Makine Öğrenme Algoritmalarının Değerlendirilmesi

Gökhan Sevinç Jeoloji Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi gsevinc@metu.edu.tr

Çağdaş Sağır Jeoloji Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi csagir@metu.edu.tr

Orhan Karaman Jeoloji Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi karaman.orhan@metu.edu.tr

Koray K. Yılmaz Jeoloji Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi yilmazk@metu.edu.tr

M. Tuğrul Yılmaz İnşaat Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi tuyilmaz@metu.edu.tr

İsmail Yücel İnşaat Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi iyucel@metu.edu.tr

# ÖZET

Güvenilir yağış tahminleri her hidrolojik çalışma için hayati önem taşır. Yağışın yüksek mekânsal ve zamansal değişkenliğinin meteoroloji istasyonları kullanılarak karmaşık arazide temsil edilmesi zordur. Türkiye'nin coğrafi değişkenlikleri, topoğrafya, orografi, kara-deniz dağılımı ve yüksek Anadolu yarımadası gibi faktörler iklimi güçlü bir şekilde kontrol eder ve sonuçta oldukça değişken iklim rejimlerine yol açar. Bu çalışmanın amacı, karmaşık topoğrafya ve iklim rejimlerinde uydu tabanlı IMERG yağış tahminlerinin hata düzeltmesi için ağaç tabanlı Makine Öğrenme Algoritmalarını (Random Forest ve XGBoost) değerlendirmektir. Ağaç tabanlı algoritmalarında bulunan hiper-parametreler K-fold çapraz doğrulama ile belirlenmiştir. Makine öğrenme modellerinin şeffaflığını ve yorumlanabilirliğini artırmak için SHAPLEY değerlerinden yararlanılmıştır. Karadeniz sahilinden Akdeniz sahiline 600 km genişliğindeki Kuzey-Güney doğrultusunda bir bölgeyi kapsayan 301 kalite kontrol edilmiş meteoroloji istasyonu (244 eğitim için ve 57 test için) kullanılmıştır. Seçilen açıklayıcı değişkenler günlük IMERG yağış tahminleri, sıvı yağış olasılığı, iklim bölgeleri, bakı, yükseklik, denize uzaklık, etkili arazi yüksekliği ve boylamdan oluşmaktadır. Sonuçlar, hem Random Forest hem de XGBoost algoritmalarının yağış tahminlerini önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir. Random Forest Modeli daha iyi korelasyonlar sağlarken, XGBoost Modeli yağış dağılımını düzeltme konusunda daha iyi performans göstermektedir. Her iki model de hata düzeltme konusunda yüksek performans göstermekte olup benzer Kling-Gupta performansına sahiptir. SHAPLEY değerlerinin analizi, IMERG ürününün, etkili arazi yüksekliğinin ve yüksekliğin yağış düzeltme işleminde en önemli değişkenler olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler – Yağış, uydu tabanlı yağış tahmini, hata düzeltme, ağaç tabanlı makine öğrenme algoritmaları

## 1. GİRİŞ

Güvenilir yağış tahminleri herhangi bir hidrolojik çalışma için çok önemlidir. Topografya, çevresel parametreler ve yağış yoğunluğu arasındaki çok faktörlü ilişki nedeniyle doğru yağış tahmini zorlu bir iştir [1]. Bu çalışmada uydu tabanlı yağış verilerinin hatalarının düzeltilmesi amaçlanmaktadır. Yağış tahmininin yüksek doğruluk ve yüksek çözünürlükle alınması hidrolojik, bölgesel, meteorolojik ve diğer uygulamalar için kritik öneme sahiptir [2]. Çevresel parametreler ve yağışın karmaşık ilişkisini anlamada ağaç tabanlı makine öğrenme algoritmalarına güvenilmiştir. Yersel yağış istasyonları her yerde yeterli düzeyde mevcut değildir. Yağışın mekânsal dağılımını temsil etmek, özellikle karmaşık arazilerde yağış tahmini için önemlidir [1]. Mevcut kısıtlı sayıdaki yersel yağış ölçümlerini kullanarak çalışma alanının tümünde mevcut olan uydu bazlı yağış ürünlerinin hatalarının giderilmesi ve böylece mekânsal yağış dağılımının temsil edilmesi bu çalışmanın amaçları arasında yer almaktadır. Yağış ölçümleri genellikle belirli konumlarda noktasal ölçekte yüksek doğruluk sağlayan yağışölçerlerle yapılmaktadır [3]. Ağaç tabanlı makine öğrenmesi algoritmaları yardımıyla bu yüksek doğruluk oranına sahip noktasal ölçümlerin tüm alana yayılması amaçlanmaktadır. Kullanılan parametrelerin yağış tahmini üzerindeki etkisini görmek amacıyla tahminlerden sonra Shapley değerleri ve grafikleri incelenmiştir.

#### 2. ÇALIŞMA ALANI



Şekil 21: Çalışma Alanı

Çalışma alanı Karadeniz, Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerinin bir kısmını kapsamakta olup karmaşık bir topografya tarafından kontrol edilen farklı iklim sınıflarına sahiptir (Şekil 1). Çalışma alanı içerisinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından işletilen ve kalite kontrolünden geçmiş 301 adet yağış ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlardan 244 adedi modelin eğitimi amaçlı (train) kullanılmış olup geriye kalan 54 adedi ile model sonuçları incelenmiştir (test). Çalışma alanı Şekil 1' de gösterilmiştir.

# 3. VERİ SETLERİ

#### 3.1 Yağışölçer Gözlem Verisi

Çalışmada kullanılan 2015-2020 yılları arası yağışölçer günlük gözlem verisi Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır. Kalite kontrollü 301 yağmur göstergesi kullanılmıştır (Şekil 1).

# 3.2 IMERG Uydu Tabanlı Yağış Verisi

Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM (IMERG), GPM ve diğer uydu gözlemlerini kullanan ve NASA tarafından geliştirilen bir algoritmadır. Bu algoritmanın mekânsal çözünürlüğü 0.1<sup>0</sup>x 0.1<sup>0</sup>

zamansal çözünürlüğü ise 30 dakikadır. Bu çalışmada 2015-2020 yılları arası IMERGV06B-LATE verisi kullanılmıştır. Ayrıca IMERG veri seti içerisinde yer alan yağışın sıvı olma olasılığı (Probability of Liquid Precipitation-PLP) günlük verisi de modellerde kullanılmıştır.

#### 3.3 Topografya

Topografya özelliklerinin elde edilmesinde Avrupa Birliği Copernicus Servisi ürünü olan EU-DEM sayısal yükseklik verisi kullanılmıştır. EU-DEM V1.1 yatayda 25 metre ve düşeyde 5 metre çözünürlüğünde olan sayısal yükseklik modelidir (https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eudem). Bu veri seti kullanılarak PRISM yönteminde [4] belirtilen kıyıya mesafe (Dist\_Coast), Etkin Arazi Yüksekliği (ETH) ve facet değerleri elde edilmiştir. Kıyıya mesafe verisi elde edilirken kıyıların çizgisel verisi oluşturulmuştur. Kıyıya mesafeyi bulmak için öklid uzaklığı aracı kıyı çizgisel verisi ve DEM verisiyle birlikte kullanılmıştır. ArcGIS'te bulunan focal istatistik aracı yardımı ile DEM verisinden etkin arazi yüksekliği verisi elde edilmiştir. Her bir pikselin bakısı (aspect) DEM verisi kullanılarak elde edilmiştir. Kuzey, Kuzey Doğu, Doğu, Güney Doğu, Güney, Güney Batı, Batı ve Kuzey Batı yönleri için sırasıyla 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 değerleri atanmıştır. Son olarak, bakı verisi kullanılarak PRISM yaklaşımında belirtilen 15 kural uygulanmış ve böylece facet veri seti üretilmiştir [4].

#### 3.4 İyigün İklim Sınıflandırması

İyigün ve diğerleri (2013) [5] 244 meteoroloji istasyonundan elde ettikleri hava sıcaklığı, yağış ve bağıl nem serilerinin hiyerarşik kümelenmesine göre Türkiye'de 12 iklim bölgesi belirlemiştir. Şekil 1'de sayılarla gösterilen alanlar İyigün iklim sınıflarını temsil etmektedir.

#### 4. YÖNTEM

Topografya ve çevresel faktörlerin yağış üzerindeki etkisi anlamak ve bunlar yardımıyla uydu tabanlı yağış verisinin hatalarını düzeltmek üzere ağaç tabanlı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Kullanılan algoritmalar Random Forest ve XGBoost algoritmalarıdır. Bu algoritmalar yardımıyla uydu tabanlı yağış ürünü olan IMERGLate verisinin hataları düzeltilmiştir. Bu düzeltme için 2015-2020 yılları arasında günlük yağış modelleri oluşturulmuştur. Makine öğrenme modellerinin şeffaflığı ve yorumlanabilirliğini artırmak ve hesaplama mantığını ve modellerin sapma düzeltmesini kontrol eden faktörleri anlamak için Shapley değerlerinden faydalanılmıştır.

Modellerde kullanılan özellikler İyigün iklim bölgesi, facet, yükseklik (Elev), kıyıya mesafe (Dist\_Coast), etkin arazi yüksekliği (ETH), boylam (Long), enlem (Lat), IMERG yağış (IMERG) ve yağışın sıvı olma ihtimali (PLP) verileridir (Tablo 1). Kullanılan verilerden facet ve İyigün iklim bölgesi kategorik verilerdir. Bu veriler pandas kütüphanesinden get\_dummies() yöntemi yardımıyla sayısal verilere dönüştürülmüştür. Dummy değişken, kategorik değişkenin belirli bir değeri alıp almadığını göstermekte kullanılır.

Özellikler													
Statik	Dinamik												
İyigün İklim Bölgesi (Iyigün)	IMERG Yağış verisi (IMERG)												
Facet	IMERG Yağışın Sıvı Olma Olasılığı (PLP) verisi												
Yükseklik (Elev)													
K1y1ya Mesafe (Dist_Coast)													
Etkin Arazi Yüksekliği (ETH)													
Boylam (Long)													
Enlem (Lat)													

Tablo 8. Modellerde Kullanılan Özellikler (Features). Özelliklerin kısaltmaları parantez içinde verilmistir.

Özellikler modelde kullanılmadan önce aralarındaki benzerliği anlamak amacıyla korelasyon matrisi hazırlanmıştır. Statik veriler için korelasyon katsayısı hep aynı iken dinamik veriler için bu günlük olarak değişmektedir. Şekil 2'de 16-11-2018 tarihli günün korelasyon katsayıları verilmiştir. Bu korelasyon matrisinde günün kış seçilmesinin nedeni yağışın sıvı olma ihtimalinin de korelasyonunu öğrenebilmektir. Korelasyonlarda mutlak olarak 0.8 veya daha fazla olan yağışın sıvı olma ihtimalini içermeyen veri ikilisi bulunmamaktadır. Yağışın sıvı olma ihtimali (PLP) dinamik olup her modelde değiştiğinden korelasyon yüksekliği dikkate alınmamıştır.



Şekil 22: 16-11-2018 tarihli verisetleri için korelasyon matrisi

Bu çalışmada etkin ve popüler makine öğrenmesi algoritmaları olan Random Forest ve XGBoost algoritmalarından faydalanılmıştır. Random Forest için ağaçlarının sırasının hiçbir farkı yoktur. Karar ağaçları (decision tree) birbirlerinden bağımsız eğitilir ve bootstrapping yöntemini kullanır. Her ağaç verilen eğitim setinin belirli bir kısmıyla eğitilir, bazı ağaçlar bazı örnekleri hiç görmezken bazıları aynı örneği birden çok kez görebilir. Ağaçlar tamamlandıktan sonra Random Forest her ağacın ortalama değerini alarak bir sonuç verir. Öte yandan XGBoost algoritması için ağaçların sırasının bir önemi vardır. XGBoost bir boosting algoritmasıdır ve her ağaç bir öncekinin hatalarından da öğrenmektedir. XGBoost bu yüzden büyük ve karmaşık özellikli veri setlerinde daha iyi performans vermektedir.

#### 5. SONUÇLAR

Modeller enlem özelliği dâhil edilerek ve dâhil edilmeyerek ayrı ayrı çalıştırılmış ve kaydedilmiştir. Bu sayede tek bir önemli özelliğin bile etkisinin istatistiksel skorlarda çok büyük bir farklılığa yol açmadığı gözlemlenmiştir. Tablo 2 enlemsiz sonuçları gösterirken Tablo 3 enlemli sonuçları göstermektedir. Gösterilen tüm shap grafikleri ve istatistikler 16-11-2018 tarihli güne aittir. Modellerin yağışlı günlerde iyi çalıştığı belirlendikten sonra bu modellerin çalışma prensiplerini anlamak ve her özelliğin modele etkisini saptamak amacıyla Shapley değerlerinden faydalanılmıştır (Şekil 3 ve Şekil 4)

Metric	IMERGLate	IMERGLate Corrected									
(Enlemsiz)	Original	Random Forest	XGBoost								
r2_score	0.473	0.82	0.832								
RMSE	3.495	2.044	1.974								
KGE	0.63	0.775	0.875								
r	0.711	0.914	0.927								
Alpha	0.857	0.793	1.094								
Beta	1.181	1.007	1.038								

Tablo	9٠	Test	V	erisi	İstatisti	kleri	(Enl	emsiz)
1 0010	1.	1631	V	erisi	isiansn	nieri	(Dm)	emsi <sub>2</sub> j

Tablo 3: Test Verisi İstatistikleri (Enlemli)

Metric	IMERGLate	IMERGLate Corrected									
(Enlemli)	Original	Random Forest	XGBoost								
r2_score	0.473	0.820	0.863								
RMSE	3.495	2.043	1.785								
KGE	0.630	0.786	0.921								
r	0.711	0.912	0.930								
Alpha	0.857	0.805	0.974								
Beta	1.181	1.005	0.973								



Şekil 23: Random Forest Eğitim Seti Shap Mutlak Ortalama Grafiği



Şekil 24: XGBoost Eğitim Seti Shap Mutlak Ortalama Grafiği

SHAP (SHapley Additive exPlanations) modele girdi olarak kullanılan özelliklerin model üzerinde nasıl bir etkisi olduğunu anlamak için kullanılan bir kütüphanedir. Bir özelliğin model tahmini üzerinde ne kadar etkin olduğunu anlamak için shap mutlak ortalama grafikleri kullanılabilir. Mutlak ortalama grafikleri özelliğin azaltıcı ya da arttırıcı etkisine bakmaktansa ne kadar etkili olduğunu inceler. Random Forest Algoritması için en önemli üç özellik sırasıyla IMERG yağış, Enlem ve Kıyıya olan uzaklık iken Xgboost için en önemli üç özellik IMERG, Enlem ve Etkin Arazi yüksekliği olarak görülmektedir. Bu grafikler dikkatlice incelendiğinde XGBoost algoritmasının IMERG uydu tabanlı yağış verisine daha çok güvendiği tespit edilmiştir (Şekil 3, Şekil 4).

Shap grafiklerinin en büyük avantajlarından biri de tahminleri tek tek inceleyebilmek olarak görülmektedir. Her bir özelliğin genel olarak etkisinin yanında tahmin başına etkileri de gözlenebilmektedir. Şekil 5'te sunulan kuvvet grafiklerinde kırmızı artışı mavi ise azalışı sembolize etmektedir. Özelliklerin yanında yazan sayılar o özelliğin bu örnekteki değerini gösterirken grafikte ne kadar alan kapladığı ise bu özelliğin teksini temsil etmektedir. Bir temel değerinin artışına veya azalışına göre bu grafiklerde etkiler okunabilmektedir. Random Forest modeli için bu değer 2.621 iken XGBoost için bu değer 2.618dir. Bu çalışmada temel değerleri ortalama yağışı temsil etmekte olup modelin bu değeri ne kadar değiştirdiği gözlemlenmektedir.

Shap Kuvvet grafikleri modellerin açıklanabilirlik ve yorumlanabilirliğini arttırmakta kullanılır. Model tahminin sonuçlarının nedenselliği öğrenmekte çok kullanışlı olan kuvvet grafikleri sonuçları görselleştirip basitleştirdiğinden de tercih edilmektedir. Şekil 5'de sunulan grafikler incelendiğinde XGBoost algoritmasının azaltma ve arttırma için IMERG uydu yağış verisine daha çok güvendiği bir kez daha gözlemlenmiştir.

Shap viyolin grafikleri yardımıyla modellerin hangi özellikleri önemsediği ve bu özelliklerin model tahminini nasıl etkilediği incelenmiştir. Test verisinden elde edilen sonuçlar Şekil 6'da gösterilmiştir. Random Forest genel olarak 8 özelliği göz önünde bulundurmaktadır. Bu özellikler IMERG yağış, Enlem, Kıyıya Mesafe, Etkin Arazi Yüksekliği, Yükseklik, Yağışın Sıvı Olma Olasılığı, Boylam ve 7. İyigün iklim bölgesidir. Bu parametrelerden en önemli görülen ikisi arasında olan IMERG yağış ve Enlem parametrelerinin genel olarak yağış tahminini düşürmeye yönelik rol oynadığı saptanmıştır. XGBoost algoritması 6 parametreyi önemsemekte olup bu parametreler sırasıyla IMERG yağış, Enlem, Etkin Arazi Yüksekliği, Kıyıya Mesafe, Yükseklik ve Boylamdır. Bu parametrelerden en önemli ikisi olarak gözlenen IMERG yağış ve Enlem bu modelde de yağış tahminin düşürecek bir rol oynamaktadır. Özelliklerin dağılımlarını ve etkilerini bu grafikler

yardımıyla gözlemleyip karşılaştırmak mümkündür. Bu grafiklerde bir özelliğin tahmin üzerindeki etkisi anlamak için viyolin genişliğine bakılır. Bu grafiklerin x ekseni shap değerlerini gösterdiğinden hangi değerde bir verinin yoğunlaştığını anlamak mümkündür.



Şekil 25: Shap Kuvvet Grafikleri

XGBoost algoritmasının en etkin 4 özelliğinin yığılmış kuvvet grafikleri Şekil 7'de gösterilmiş ve özelliklerin değer artış ve azalışlarında nasıl davrandıkları ve tahmini ne yönde etkiledikleri incelenmiştir. Bu grafiklerde x ekseni belirtilen özelliğin değeri iken y ekseni bu özelliğin temel değeri nasıl etkilediğini göstermektedir. Bu grafiklerin başlama noktası temel değer olup bu değerden artış veya azalışı göstermektedir. XGBoost modeli için IMERG yağış verisi 4mm/gün değerine kadar model tahminini azaltma eğilimi gösterirken daha yüksek değerlerde arttırma eğilimde bulunmaktadır. Bu artışlarda en fazla değeri 12mm/gün değerine yaklaşırken yapmaktadır.

Enlem değerinde en büyük değer artış olup 36.5-37 değerleri arasında gözlemlenmiştir. Etkin arazi yüksekliği verisi için 0-300m ve 1200m değerinden sonraki değerler için artış gözlenmiş olup 400-1200m arası için azalış tespit edilmiştir. Kıyıya mesafe özelliği için en büyük değer artış şeklinde olup kıyıya yakın yerlerde gözlemlenmiştir.



Şekil 6: Shap Viyolin Grafikleri (Test Verisi)



Şekil 7: Shap Yığılmış (Stacked) Kuvvet Grafikleri

Shap arısürüsü (beeswarm) grafikleri incelendiğinde (Şekil 8) hangi örneklerin model tahmini üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu anlaşılabilmektedir. Bu grafiklerde y ekseni mutlak katkısı büyük olandan küçük olana doğru yukardan aşağıya sıralı bir biçimde verilmektedir. Örneklerin değerleri kendi içinde sıralanmakta olup düşük değerler mavi tonlarında gösterilirken büyük değerler kırmızı tonlarında gösterilmektedir. Bu grafiklerin x eksenleri ise shap değerlerini göstermektedir. Model özelliklerinin hangi değerlerde kümelendiği de bu grafikler sayesinde anlaşılmaktadır. Modellerin her ikisinde de IMERG yağış değeri model tahminin düşürücü rol oynasa da XGBoost için Shap değeri -2, Random Forest için Shap değeri -1 dir. Yüksek değerlerde ise bu fark daha da artmaktadır; XGBoost +12 Shap değerine sahip IMERG yağış örnekleri içerse de, Shap değeri Random Forest modeli için en fazla +5 değerini almaktadır.



Şekil 8: Shap arısürüsü (beeswarm) Grafikleri (Eğitim veri seti)

#### KAYNAKLAR

- [1] Huang, Z., Derin, Y., Kirstetter, P. E., & Li, Y. (2022). Multigraph Convolutional Networks for Rainfall Estimation in Complex Terrain. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 19, 1-5.
- [2] Zhao, N. (2023). A Method for Merging Multi-Source Daily Satellite Precipitation Datasets and Gauge Observations over Poyang Lake Basin, China. Remote Sensing, 15(9), 2407. <u>https://doi.org/10.3390/rs15092407</u>.
- [3] Villarini, G., Mandapaka, P.V., Krajewski, W.F., Moore, R.J., 2008. *Rainfall and sampling uncertainties: a rain gauge perspective*. J. Geophys. Res.-Atmos. 113.
- [4] Daly, C., Halbleib, M., Smith, J.I., Gibson, W.P., Doggett, M.K., Taylor, G.H., Curtis, J. and Pasteris, P.P. (2008), *Physiographically sensitive mapping of climatological*

temperature and precipitation across the conterminous United States. Int. J. Climatol., 28: 2031-2064. <u>https://doi.org/10.1002/joc.1688</u>

[5] Iyigun, C., Türkeş, M., Batmaz, İ., Yozgatligil, C., Purutçuoğlu, V., Koç, E. K., & Öztürk, M. Z. (2013). Clustering current climate regions of Turkey by using a multivariate statistical method. Theoretical and applied climatology, 114, 95-106.

# Erzurum Havalimanı'nda Oraj Ve Sis Hadiselerinin Uzaktan Algılama İle Analizi

## Emine Şeyma ESGİN

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü Erzurum Meydan Meteoroloji Müdürlüğü Erzurum esgorur@mgm.gov.tr

Gülara UYSAL Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü Erzurum Meydan Meteoroloji Müdürlüğü Erzurum guysal@mgm.gov.tr

# ÖZET

Havacılık sektörü her geçen gün önemini artırmaktadır ve bununla birlikte meteorolojinin havacılık sektörü için önemi daha çok dikkat çekmektedir. Uçuş faaliyetleri için tehlikeli meteorolojik şartlar, maddi ve manevi kayıplara yol açmanın yanı sıra kaza ve kırımlara da neden olabilmektedir. Havacılık faaliyetleri için tehlike oluşturabilecek bazı meteorolojik koşullar; şiddetli rüzgar, sis, oraj, türbülans, alçak seviye bulutluluğu ve buzlanmadır. Sivil/Askeri statüde uluslararası bir havalimanı olan Erzurum Havalimanı incelendiğinde uçuşları en çok etkileyen meteorolojik olaylar arasında sis ve oraj hadiseleri örnek olarak gösterilebilir. Bu çalışmanın ilk aşamasında, 2017-2022 yıllarını kapsayan veriler incelenmiş, sisli ve orajlı günlerin aylık ve yıllık analizleri yapılmıştır. İkinci aşamada ise Erzurum Havalimanı üzerinde 08.01.2022 tarihinde etkili olmuş olan sis ve 03.03.2022 tarihinde meydana gelmiş olan kar yağışlı oraj hadiselerinin uzaktan algılama ürünleriyle vaka incelemeleri yapılmış ve bu analizlerde uzaktan algılama ürünleri ile kısa vadeli tahminlerin önemi vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler — uzaktan algılama; havacılık meteorolojisi; sis hadisesi; yağışlı oraj hadisesi.

## 1. GİRİŞ

Görüş engelleyici hadiseler, gökgürültülü fırtınalar ve kuvvetli rüzgar gibi meteorolojik olaylar insan hayatını ve faaliyetlerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu meteorolojik olayların oluşum mekanizmalarını anlamak, ileride bu olayların tahmin edilebilmesini ve verebileceği zararların önlenebilmesi veya azaltılabilmesi için erken uyarı sistemlerinin oluşturulmasını kolaylaştırmaktadır. Erken uyarı sistemleri için, kısa süreli doğru tahminlere olanak sağlayan uzaktan algılama ürünleri çok önemlidir [1]. Uzaktan algılama ürünleri ile, can ve mal kaybına yol açabilecek hadiseler öngörülebilmekte ve gerekli bilgilendirmeler yapılarak kurtarıcı önlemlerin alınması sağlanabilmektedir. Bu ürünler, meteorolojinin büyük önem arz ettiği havacılık sektörünün güvenli bir şekilde devam edebilmesi için de çok önemlidir.

Çalışılacak alan olarak Erzurum Havalimanı'na bakıldığında, havacılığı en çok etkileyen olayların başında sis ve oraj hadiseleri gelmektedir. Sis, yatay görüşü 1000 m'nin altına düşüren, yere yakın hava tabakasında yayılmış küçük su damlacıkları veya kristallerinden oluşan sistemdir [2]. Sis hadisesi, havacılık sektörü başta olmak üzere birçok alanda olumsuz etkiler göstermektedir. Sis hadisesinin uzaktan algılama ile tespitinde uydu görüntülerinden yararlanılmaktadır.

Oraj ise, cumulonimbus ve iyi gelişmiş cumulus bulutlarının yarattığı, gök gürültüsü, şimşek, hamleli yer rüzgarı, türbülans, kuvvetli yağmur sağanağı, dolu, buzlanma, orta veya kuvvetli dikey hareket ile karakterize edilen nispeten kısa süreli -yaklaşık 2 saat- lokal fırtınalardır [3]. Oraj hadisesinin tahmin edilebilmesi için öncelikle Cumulonimbus (Cb) bulutunun tespit edilmesi gerekmektedir. Cb bulutunun tespitinde radar ve uydu görüntülerinin yanında yıldırım tespit ve takip sistemleri de kullanılmaktadır.

Bu çalışmada ilk olarak, havalimanında gerçekleşmiş sis ve oraj hadiseleriyle ilgili 2017-2022 yıllarına ait veriler incelenmiştir. Bu incelemede sisli ve orajlı günlerin aylık, mevsimsel ve yıllık dağılımlarına bakılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümü ise vaka analizlerine ayrılmıştır. Öncelikle, 08 Ocak 2022 tarihinde havalimanında meydana gelmiş olan sis hadisesinin analizi yapılmıştır. Gece Sisi ve 24 Saat Bulut Fiziği RGB ürünleri ile sisin uzaktan algılama ile tespiti ve takibi sağlanmıştır. Daha sonra ise, 03 Mart 2022 tarihinde havalimanında meydana gelmiş olan kar yağışlı oraj hadisesinin analizi yapılmıştır. Orajın ve Cb bulutunun takibi uydu, radar görüntüleri ve yıldırım tespit sistemi ile gözlemlenmiştir.

# 2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ

Havacılık sektörü her geçen gün gelişmektedir ve ihtiyaç duyulan meteorolojik bilgi artmaktadır. Havalimanlarının konumları itibarıyla oluşan hadiseler değişebilmektedir ve bunların analizi, tahminlerin doğruluğu açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesi'nin en büyük ve en işlek havalimanlarından birisi olan Erzurum Havalimanı incelenmiştir. Erzurum Havalimanı Türkiye'nin 39.55 kuzey enlem ve 41.17 doğu boylam değerlerinde yer almaktadır ve 1757 metre (5764 fit) rakıma sahiptir. 3810 metre uzunluğunda, 08L/26R yönlü ana pisti ve 08R/26L yönlü emerjans pisti bulunmaktadır. Ana pistin aydınlatma kategorisi CAT-III/A'dır [4].



Şekil 1: Çalışmada incelenen Erzurum Havalimanı konumunun gösterimi.[5]

Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) 'ne göre kodu LTCE olan Erzurum Havalimanı, A Sınıfı ve uluslararası bir meydandır.

Bu çalışma için 2017-2022 yıllarına ait aylık sisli günler ve aylık orajlı günler verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Meteorolojik Veri Bilgi Sunum ve Satış Sayfası'ndan alınmıştır. Bu verilere göre sisli ve orajlı geçen günlerin yıllık ve mevsimsel analizleri yapılmıştır. Çalışmada; uzaktan algılama ile analiz yapmak için kullanılan veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün uzaktan algılama ürünleri arşivinden alınan uydu, radar ve yıldırım tespit sisteminin görüntüleridir. Bu görüntüler ile sis hadisesi için 08.01.2022 günü, oraj hadisesi için 03.03.2022 günü detaylı bir şekilde incelenmiştir.

# 3. BULGU VE DEĞERLENDİRMELER

# 3.1. Sisli Günlerin Aylık ve Yıllık Analizleri

İlk olarak, Erzurum Havalimanı'nda 2017 ve 2022 yılları arasında rasat edilmiş sis hadisesinin aylık dağılımları ortaya konulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2: Erzurum Havalimanı'ndaki sisli günlerin aylık dağılımı.

Şekil 2'de görüldüğü üzere, sisli günler daha çok Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında meydana gelmiştir.



Şekil 3: Erzurum Havalimanı'ndaki sisli günlerin mevsimsel dağılımı.

Şekil 3 incelendiğinde sisli günlerin kış aylarında daha fazla gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 2 ile kıyaslandığında, sis hadisesinin kış ayları içerisinden Aralık ve Ocak aylarında daha çok görüldüğü söylenebilir. Kış aylarında alanın tamamı yoğun ve kalın bir kar tabakası ile örtüldüğü için çevre yükseltilerden gelen bu çökelme olayına ilave olarak vadi tabanından oldukça ani biçimde sıcaklık kayıplarına neden olan radyasyon kayıpları ortaya çıkmaktadır. Bu durum kar yağışı sonrasında, güneş radyasyonunun taze kar yüzeyinden atmosfer dışına kaçarak yer yüzeyinin soğumaya başlamasına neden olur. Bu ani ve şiddetli soğuma hava kütlesi içerisindeki nemin yoğunlaşmasına ve buhar olarak görünür hale gelmesini sağlar [6]. Sis hadisesinin kış aylarında devamlı ve daha fazla görülmesi bu şekilde açıklanabilmektedir.



Şekil 4: Erzurum Havalimanı'ndaki sisli günlerin yıllık dağılımı.

Yukarıdaki grafikte Erzurum Havalimanı'ndaki sisli günlerin yıllık dağılımı (2017-2022) incelenmiştir. Sisli günlerin en fazla 2018 yılında görüldüğü, 2020 yılında ise en az gerçekleştiği söylenebilmektedir.

# 3.2. Orajlı Günlerin Aylık ve Yıllık Analizleri

Bu aşamada ilk olarak, Erzurum Havalimanı'nda 2017 ve 2022 yılları arasında rasat edilmiş oraj hadisesinin aylık dağılımları ortaya konulmuştur (Şekil 5).



Şekil 5: Erzurum Havalimanı'ndaki orajlı günlerin aylık dağılımı.

Şekil 5'e göre, orajlı günlerin en fazla nisan, mayıs, haziran aylarında gerçekleştiği söylenebilmektedir. Aralık ve ocak aylarında ise nadir olarak gerçekleştiği söylenebilir.



Şekil 6: Erzurum Havalimanı'ndaki orajlı günlerin mevsimsel dağılımı.

Erzurum Havalimanı'nda orajlı günlerin mevsimsel olarak dağılımı incelendiğinde genellikle ilkbahar ve yaz aylarında gerçekleştiği görülürken, yaz ve ilkbahar aylarının ardından sonbaharın takip ettiği söylenebilmektedir.



Şekil 7: Erzurum Havalimanı'ndaki orajlı günlerin yıllık dağılımı.

Şekil 7'de Erzurum Havalimanı'ndaki orajlı günlerin yıllık dağılımı incelenmiştir. 2018 yılında orajlı günlerin en fazla gerçekleştiği görülmektedir. En az ise 2017 yılında gerçekleşmiştir.

# 3.3. 08.01.2022 Sis Hadisesinin Vaka Analizi

Çalışmanın ikinci aşamasında sis ve oraj hadisesi için vaka analizleri yapılmıştır. İlk olarak, 08 Ocak 2022 tarihinde havalimanında gözlemlenen sis hadisesi incelenmiştir.

#### Metar Defter : 17096

#### Ocak 2022

Tari	Tarih: 8.1.2022																												
			RÚ	İZGAF	ł		RÜ	YET		HALI	İHAZIR I	AVA		1	BUI	LUT	2	. BUI	UT	3	. BU	LUT	UT 4. BULUT				SICAKLIK		
Tipi	GMT	Yön	Hiz	Hamle	Salınım	Hakim	Min.	Yön	Dikine	1. Grup	2. Grup	3. Grup	Т. Кр.	Кар.	Cins	Yük.	Kap.	Cins	Yük.	Кар.	Cins	Yük.	Kap.	Cins	Yük.	Kuru	Islak	İşba	
M	0020	VRB	2			2000				BR			5							5	Ac	10000				-12,3	-12,6	-13,5	
M	0050	VRB	1		<u> </u>	2000		<u> </u>		BR			2				<u> </u>			2	Ac	9000				-13,8	-14,1	-15,1	
M	0120	VRD	- 4	<u> </u>	<u> </u>	2000				BK			2							- 2	PC	9000				-13,2	-13,4	-14,1	
M	0150	VKD	- 4	<u> </u>	<u> </u>	2000				DK			U 0													-14,0	-14,0	-15,2	
M	0220	VRD	1	<u> </u>		2000		<u> </u>		BK			0				-			<u> </u>	$\left  \right $					-12,0	-12,9	-13,0	
M	0250	VRD		<u> </u>		2000		-		BDK			0				-	$\vdash$		<u> </u>	$\left  \right $			$\vdash$		-12,3	-12,0	-13,4	
M	0320	VRB	1	<u> </u>		2500		-		RP		<u> </u>	0				-				$\left  \right $					-11.8	-11.8	-13.0	
M	0420	VRB	1			2500		-		BR			0				-			<u> </u>	$\left  \right $					-11.7	-12.0	-12.9	
M	0450	290			<u> </u>	1400		-		BR		<u> </u>	2	2	9	200		$\vdash$			$\left  \right $					-11.4	-11.6	-12.2	
s	0503	280	3			700	300	E	200	FZFG			9	-							$\left  \right $					-11.4	-11.6	-12.3	
s	0510	VRB	3			250		-	200	FZFG			9								$\vdash$			$\square$		-11.2	-11.1	-12.1	
М	0520	VRB	3			300	250	E	200	FZFG			9								$\vdash$					-11,0	-10,9	-11,9	
М	0550	280	2			250			200	FZFG			9													-10,4	-10,3	-11,2	
S	0615	VRB	1			700	350	SE	200	FZFG			9													-9,6	-9,4	-10,4	
М	0620	VRB	1			700	350	SE	200	FZFG			9													-9,6	-9,6	-10,4	
М	0650	VRB	1			900	450	SE	200	FZFG			9													-9,5	-9,4	-10,3	
М	0720	VRB	1			900	450	SE	200	FZFG			9													-9,1	-9,1	-9,9	
М	0750	000	0			900	450	SE	200	FZFG			9													-8,5	-8,5	-9,2	
М	0820	VRB	1			900			200	FZFG			9													-8,3	-8,3	-9,0	
М	0850	VRB	2			900	600	SW	200	FZFG			9													-8,2	-8,1	-8,9	
S	0908	VRB	2			1600				BR			8	2	St	300	5	Sc	2500	8	As	7000				-7,9	-8,0	-8,6	
М	0920	VRB	2			2000				BR			8	2	St	300	5	Sc	2500	8	As	7000				-7,9	-7,9	-8,7	
М	0950	130	3		060V180	2000				BR			8	2	St	300	5	Sc	2500	8	As	7000				-7,8	-7,8	-8,5	
М	1020	VRB	1			2500				BR			8	2	St	300	5	Sc	2500	8	As	7000				-7,0	-7,0	-7,7	
М	1050	VRB	2			3500				BR			8	2	St	400	5	Sc	2500	8	As	7000				-7,2	-7,3	-7,9	
М	1120	VRB	1			4000				BR			7	2	St	400	5	Sc	2500	7	Ac	7000				-6,3	-6,5	-6,9	
М	1150	060	- 4		030V090	4000				BR			7	2	St	400	5	Sc	2500	7	Ac	7000				-6,7	-6,7	-7,4	
M	1220	040	3		340V090	2500				BR	1	1	7	2	St	400	5	Sc	2500	7	Ac	7000				-7,0	-6,9	-7,7	
м	1250	110	3		070V130	2000				BR			8	2	St	300	5	Sc	2500	8	As	7000				-7,3	-7,3	-8,0	
Μ	1320	000	0			1800	800	SE		BCFG			8	2	St	300	5	Sc	2500	8	As	7000				-7,2	-7,1	-7,9	
M	1350	VRB	2	<u> </u>	<u> </u>	1200	600	SE	100	BCFG			8	2	St	200	5	Sc	2500	8	As	7000				-7,4	-7,3	-8,1	
M	1420	100	3		060V130	300	200	SE	100	FZFG		<u> </u>	9				-							$\vdash$		-8,0	-8,0	-8,7	
м	1450	130	3		100V160	300	150	SW	100	FZFG			9													-8,4	-8,3	-9,1	
S	1510	VRB	1			250	150	SE	100	FZFG			9													-8,6	-8,6	-9,3	
M	1520	VRB	2	<u> </u>	<u> </u>	300	150	SW	100	FZFG			9				<u> </u>				$\vdash$			$\vdash$		-8,7	-8,5	-9,4	
M	1620	VRB	2		<u> </u>	300	150	SE	100	FZFG		<u> </u>	9				-									-8,9	-8,9	-9,6	
м	1650	VRB	1			300	150	SE	100	FZFG			9													-9,2	-9,1	-10,0	
S	1700	VRB	1			300	200	SW	100	FZFG			9													-9,1	-9,0	-9,9	
S	1704	VRB	2	<u> </u>	<u> </u>	300	200	SW	100	FZFG			9				<u> </u>				$\vdash$					-9,3	-9,1	-10,1	
M	1720	000	- 4		-	300	200	SW	100	FZFG			9				-	$\left  \right $								-9,5	-9,4	-10,5	
М	1820	VRB	1			300	200	SE	100	FZFG			9													-9,9	-9,9	-10,7	
М	1850	VRB	2			300	200	SE	100	FZFG			9													-10,2	-10,1	-11,1	
M	1920	VRB	2	<u> </u>	<u> </u>	300	200	SE	100	FZFG			9				<u> </u>									-10,7	-10,6	-11,6	
M	2020	000		<u> </u>	<u> </u>	300	200	SE	100	FZFG			9				<u> </u>				$\vdash$			$\vdash$		-10,7	-10,6	-11,0	
M	2050	VRB	2		L	300	200	SE	100	FZFG			9								$\vdash$			$\vdash$		-10,8	-10,8	-11,7	
М	2120	000	0			200			100	FZFG			9													-11,2	-11,1	-12,1	
M	2150	VRB	1			200			100	FZFG			9								$\vdash$			$\square$		-11,0	-10,9	-11,9	
M	2220	VRB	1		<u> </u>	200		-	100	FZFG FZFG			9				-				$\vdash$					-11,4	-11,3	-12,5	
M	2320	VRB	1	<u> </u>	<u> </u>	200			100	FZFG		<u> </u>	9								$\vdash$			$\vdash$		-12,1	-12,1	-13,2	
М	2350	000	0		1	200			100	FZEG			9													-12.2	-12.2	-13.3	

Şekil 8: 08.01.2022 tarihli Erzurum Havalimanı METAR rasatları.

METAR rasatlarına bakıldığında havalimanında sabah saatlerinden itibaren görüş düşüklüğü olduğu görülmektedir. Pus olarak başlayan hadise güneşin doğumuyla donan sise dönüşmüş, havanın ısınmasıyla birlikte tekrar pus olmuştur. Gün içerisinde görüş engelleyici hadise pus devam etmiş, güneşin batışı ile hızlı bir şekilde donan sise dönüşmüştür. Sis oluşumunu destekleyen atmosferin durumu SkewT logP diyagramı ile analiz edilmiştir.



Şekil 9: Erzurum ilinin 08.01.2022 tarihli 00Z ve 12Z SkewT logP diyagramları.



Şekil 10: Erzurum ilinin 09.01.2022 tarihli 00Z SkewT logP diyagramı.

Diyagramlara bakıldığında 8 Ocak 2022 sabah saatlerinden itibaren yer seviyesinin nemli ve sıcaklık terselmesinin olduğu görülmektedir. 12Z diyagramına göre, havanın öğle saatlerinde ısınmasıyla birlikte yer seviyesindeki enverziyonun dağılmaktadır. 9 Ocak 2022 00Z diyagramına bakıldığında ise enverziyonun önceki günden daha güçlü olduğu anlaşılmaktadır. Gün içerisinde dağılmayan görüş engelleyici hadisenin, gece radyasyon kaybı ile derinleşebileceği anlaşılmaktadır.

Sis hadisesinin uzaktan algılama ile takibi, uydu görüntüleri ile mümkündür. Alçak seviyede oluştuğu için radar ile tespit edilememektedir. Farklı uydu kanallarının kırmızı, mavi ve yeşil renklere atanması ile birleştirilen RGB görüntülerinden Gece Sisi ürünü, sisin tespit edilmesinde ve takibinde kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 11: 11:30Z ve 16:30Z saatleri arası 24 Saat Bulut Fiziği ürünü görüntüleri.

Şekil 11, 8 Ocak 2022'de Erzurum civarında saat 11.30-14.30Z' de sis görünmektedir. Açık yeşil renkli alanlar sisi göstermektedir. Sis gece zamanı IR 3.9 – IR 10.8 fark görüntüsünden tespit edilmektedir.



Şekil 12: 14:00Z ve 23:00Z saatleri arası Gece Sisi ürünü görüntüleri.

Sis, SEVIRI cihazının çok spektral kanal yetenekleriyle tespit edilebilen diğer bir unsurdur. Sis geceye ait klasik kızılötesi görüntülerde, çoğu zaman neredeyse görünmezdir. Fakat yukarıdaki uydu görüntüleri incelendiğinde 14.00Z ve 23.00Z arasında Erzurum üzerindeki yoğun sisi (açık yeşil), IR 3.9 ile IR 10.8 arasındaki farktan faydalanarak gece olmasına rağmen gösterebilmektedir [7].

8 Ocak 2022 tarihindeki Metar rasatları incelendiğinde 05.03Z 400 metre FZFG ile başlayıp 09.08Z'ya kadar sis olarak devam ettiği ardından 14.08Z'ya kadar pusa döndüğü ve 14.08Z itibari ile gün boyu sis olarak devam ettiği Metar rasatları ile uydu görüntülerinin uyumlu olduğu da söylenebilmektedir.

## 3.4. 03.03.2022 Kar Yağışlı Oraj Hadisesinin Vaka Analizi

03 Mart 2022 tarihinde Erzurum Havalimanı'nda gerçekleşmiş olan kar yağışlı oraj hadisesi, çalışmanın bu aşamasında incelenmiştir.

Description to Man	S	0739	20	0	15	28	170V240	10000				-RA			7	5	Sc	2000			- 7	Ac	7000			8,1	4,7	1,3
Document Map	Μ	0750	20	0 :	17			10000							7	5	Sc	2000			- 7	Ac	7000			8,0	4,9	1,2
MotarTum A	М	0820	VR	В	8	18		10000							7	5	Sc	2000			7	Ac	7000			7,3	4,9	1,2
	S	0846	36	0 :	19		310V040	10000							7	5	Sc	2000			7	Ac	7000			6,6	4,4	2,3
220301	М	0850	34	0	18		310V020	10000							7	5	Sc	2000			7	Ac	7000			6,9	4,7	2,6
	S	0915	5 05	0 :	15		010V070	10000							7	5	Cu	2000			7	Ac	7000			6,1	3,8	1,4
220302	м	0920	08 0	0	12	22	040V110	10000							7	5	Cu	2000			7	Ac	7000			6,3	3,8	1,6
	Μ	0950	04	0	10		010V100	10000							7	5	Cu	2000			- 7	Ac	7000			8,4	4,9	2,2
220303	М	1020	VR.	B	10			10000							5	5	Cu	2000			5	Ac	7000			9,2	5,3	0,7
220304	М	1050	18	.0	13		140V200	10000							5	3	Cu	3500			5	Ac	7000			9,6	5,0	0,8
220304	М	1120	18	0	15		140V210	10000							5	3	Cu	3500			5	Ac	7000			9,3	4,8	0,2
220305	М	1150	18	.0 ;	22	38		10000							5	3	Cu	3500			5	Ac	7000			8,6	4,5	0,6
220000	М	1220	17	0 7	21	- 39		10000							5	3	Cu	3500			5	Ac	7000			8,3	4,4	0,1
220306	м	1250	17	0	17	29	140V210	10000							5	3	Cu	3500			5	Ac	7000			8,6	4,1	-0,4
	S	1314	17	0	19		140V210	10000							7	5	Cu	2500			7	Ac	7000			7,4	3,3	-1,3
220307	М	1320	19	0	18		150V210	10000							7	5	Cu	2500			7	Ac	7000			7,3	3,3	-1,1
	М	1350	20	.0	13		160V240	10000				-TSRA			7	2	Cb	2500	5 Cu	3000						6,9	3,3	-0,8
220308	S	1402	2 18	0 2	26	44	150V220	6000				-TSRA			7	2	Cb	2500	5 Cu	3000						4,4	2,6	1,3
220200	S	1408	3 20	0 7	22	44	160V250	1700	600	W		-TSSNRA	BCFG		7	2	Cb	2500	5 Cu	3000						3,4	2,4	1,5
220309	S	1418	3 23	0 7	13	27	190V250	1100				-SHSN	BR		7	2	Cb	2500	5 Cu	3000						0,9	0,7	0,5
220310	M	1420	23	0	11		180V250	1600				-SHSN	BR		7	2	Cb	2500	5 Cu	3000						0,8	0,6	0,4
	M	1450	23	0	6		170V300	1600				-SHSN	BR		7	2	Сь	2500	5 Qu	3000				$ \rightarrow$		0,5	0,5	0,5
220311	м	1520	24	0	4			2600				-SHSN	BR		7	5	Cu	2500			7	Ac	7000	-+		0,4	0,3	0,4
	M	1550	VR	8	1			7000				-SHSN			7	5	Cu	2500			7	Ac	7000	$\rightarrow$	_	0,3	0,2	0,3
220312	S	1605	VR	8	2			10000							7	5	Cu	2500			7	Ac	7000	$\rightarrow$	_	0,4	0,4	0,4
220212	M	1620	VR	8	2			10000							7	5	Cu	2500			7	Ac	7000		_	0,4	0,4	0,4
220313	M	1650	VR	4	1			/000							/	5	Cu	2500	+		- 1	Ac	/000	$\rightarrow$	_	0,3	0,3	0,3
220314	M	1720	VR	8	2			10000				<b>C1</b>			7	5	Sc	2500			7	Ac	7000	$\rightarrow$	_	0,4	0,4	0,4
220011	M	1/50	21	-	6	_	1807240	4800				-5N	BK		/	5	- 20	2500			-	AC	/000	_	_	0,6	0,3	0,0
220315	L.	1805	23	-	6	_	170V260	7000			<u> </u>					5	50	2500			-4	Ac	7000		_	0,6	0,1	-0,4
	M	1820	21 VD	-	4	_	1/0/250	10000			<u> </u>					2	50	2500			-	AC	7000	-+	-	0,4	0,0	-0,4
220316	M	1050		-	-	_		10000								2	- XC	2500	+			AC	7000	_		0,8	-0,1	-1,1
	M	1920		-	4	_		10000							/	5		2500				AC	7000		-	0,5	-0,2	-0,9
220317	M	1950		-	4	_		10000			<u> </u>					2	50	2500				AC	7000	-+	-	1,1	-0,4	-2,0
220218	M	2020		-	0	_		10000								2		2500				Ac	7000		-	0,0	-0,5	-1,1
220310	- M	2050		-	-	_		10000								2		2500				AL	7000		-	0,2	-0,4	-0,5
220319	M	2120		-	2	_	200//260	10000			<u> </u>				7	2	20	2500				Ac	7000	_	-	0,7	-0,6	-2/4
	H M	2130	24	1	4	_	2007200	10000							7	5	5	2500	-		- 7	Ac.	7000	-+	-	0,0	-0,0	-2,0
220320	M	2220	20	<u>+</u>	10	22		4000			<u> </u>	_SN	BI SN		7	2	- 50	2500			-	Ac	7000	-		0,0	-0,0	-3,0
	M	2230	20	1	20			4000				-30	BLON			5		2500	+			Ac	7000	-+	-	-2.2	-7.9	-2,2
220321	M	2320	27	1	19	-		4000			<u> </u>	-50	BLON		7	2	~	2500	+		- 7	Ac	7000	+	-	-2,2	-2,0	-3,/
	L 14	2000	1 27	<u> </u>				4000			L	-50	DEDIN	L		2	~	2000			1	<b>~</b>	7000			-210	-312	- 41

Şekil 13: 03.03.2023 tarihli Erzurum Havalimanı METAR rasatları.

Meydanda yapılan METAR rasatlarına bakıldığında 13.50Z'da başlayan gök gürültülü sağanak yağışın hava sıcaklığını hızlı bir şekilde düşürdüğü, 14.08Z'da karla karışık yağmurlu oraja döndüğü ve 14.18Z'da sağanak kar olarak devam ettiği görülmektedir.



Şekil 14: Erzurum ilinin 03.03.2022 tarihli 00Z ve 12Z SkewT logP diyagramları.

Şekil 14'deki diyagramlar incelendiğinde, bakılan günün 00Z Ravinsonde rasadında Most Unstable CAPE (En Kararsız Konvektif Yeterlikli Potansiyel Enerji) değerinin 794.5 J/kg olması hava parselinin yeterli yüksekliğe ulaşabilirse konvektif özellik kazanabileceğini göstermektedir. Konvektif aktivitenin oluşabileceği atmosfer şartlarının mevcut olduğu söylenebilmektedir. 12Z rasadında ise yine CAPE değeri 0'ın üzerinde, 224.8 J/kg'dır. Öğle saatlerinde havanın ısınması ile konvektif aktivitenin olacağı bu diyagramlardan anlaşılmaktadır.





Şekil 15: 12.30Z ve 15.00Z saatleri arası Konvektif Fırtınalar ve Gece Sisi ürünlerinin görüntüleri.

Uydu görüntülerine bakılmaya Konvektif Fırtınalar ürünü ile başlanmıştır. 12.30Z görüntüsünden, Erzurum üzerindeki bulutların konvektif özellikli bulutlar olduğu görülebilmektedir. Bazı noktalarda uydu görüntüsündeki renkler açık turuncu bir renkte gözükmektedir. Bu noktalardaki bulut tepe yüksekliklerinin diğer yerdekilerden daha fazla olduğu söylenebilmektedir. Bir hat boyunca uzanan bulutların kuzeydoğuya doğru hareketi görüntülerden belli olmaktadır. Havanın kararmasıyla birlikte, görünür kanalla birlikte çalışan Konvektif Fırtınalar ürünü görüntüsü anlaşılır olmadığı için 15.00Z görüntüsüne Gece Sisi ürünü eklenmiştir. Bu görüntü de yine Erzurum'un üzerindeki bulutların kalın, yüksek, konvektif bulutlar olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 16: 12.30Z ve 15.00Z saatleri arası 24 Saat Bulut Fiziği ürünü görüntüleri.

Görünür kanaldan etkilenmemek için 24 Saat Bulut Fiziği ürününe de bakılmıştır. Bu ürünün görüntülerinden de soğuk, kalın ve yüksek seviye bulutların Erzurum üzerinden hareketi görülebilmektedir.


Şekil 17: 13.30Z ve 14.54Z saatleri arası Erzurum radarı MAX ürünü görüntüleri.

Cb bulutlarının daha kolay tespiti için hava parseli boyunca maksimum reflektiviteyi gösteren MAX ürünü kullanılmıştır. Görüntüler incelendiğinde Cb bulutları ile özdeşleşmiş yüksek reflektivite değerleri bulunmamakla birlikte yerel sarı renkli (37-42 dbZ) ekoların oluştuğu ve elektriksel aktiviteye bu bulutların neden olduğu anlaşılmaktadır. Erzurum Havalimanı üzerine doğru hareket eden bu sistem enerjisini kaybetmeden Erzurum üzerinde oraj hadisesine neden olmuştur.



Şekil 18: 13.00Z ve 16.00Z arası Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi görüntüsü.

Şekil 18'deki Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi'nden alınan görüntüde havalimanı sorumluluk sahasında yıldırım aktivitesi gözükmemektedir. Fakat oraj hadisesi hem Metar hem Speci rasatlarında birçok kez rasat edilmiştir. Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi'nin havalimanındaki oraj hadisesini tespit etmekte yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır. Bu durumda, yıldırım tespit edip yayımlayan başka kaynakların görüntülerine başvurulmuştur. Bulunan arşiv görüntüleri incelendiğinde güneyden kuzeye bir hat boyunca yıldırım aktivitesinin devam ettiği anlaşılmaktadır.



Şekil 19: Blizortung.org arşivinden tespit edilmiş yıldırım görüntüleri [8].

FCTT70 LTCT 031040 LTCT 031040Z 0312/0321 29012KT 9000 -SHRA BKN035 BKN070 BECMG 0312/0314 SCT035 BKN080 PROB30 TEMPO 0315/0318 -RA = FCTT70 LTCO 031040 LTCO 031040Z 0312/0321 VRB02KT 1300 BCFG FEW003 BKN020 BKN070 BECMG 0312/0314 2000 BR TEMPO 0312/0316 -RA TEMPO 0318/0321 1200 -SNRA BCFG = FTTT70 LTCE 031040 LTCE 031040Z 0312/0412 18015KT 9999 SCT035 BKN070 BEC/MG 0312/0314 BKN025 BKN070 TEMPO 0312/0316 07015KT -SHRA BECMG 0316/0318 SCT035 BKN070 BECMG 0319/0321 BKN020 BKN070 BEC/MG 0323/0401 25012KT TEMPO 0323/0403 2000 -SN BLSN TEMPO 0403/0407 4000 -SN BLSN = FCTT70 LTCF 031040 LTCF 031040Z 0312/0321 18014KT 9999 BKN020 BKN070 TEMPO 0312/0316 -RA TEMPO 0317/0321 4000 -SNRA BR = ECTT70 LTCT 031340 LTCT 0313407 0315/0324 29009KT 9999 SCT035 BKN070 PROB30 TEMPO 0318/0321 -SHRA = FCTT70 LTCF 031340 LTCF 031340Z 0315/0324 20015KT 9999 SCT035 BEC/MG 0315/0317 BKN020 BKN070 TEMPO 0318/0321 - SNRA TEMPO 0321/0324 - SNRA = FCTT70 LTCO 031340 LTCO 031340Z 0315/0324 VRB02KT 6000 BKN020 BKN070 BECMG 0315/0317 22012KT TEMPO 0317/0321 -SNRA TEMPO 0321/0324 2000 -SN BLSN = FTTT70 LTCE 031040 AAA LTCE 031343Z 0313/0412 18015KT 9999 SCT035 BKN070 BECMG 0313/0314 BKN025 BKN070 TEMPO 0313/0317 27015KT -TSRA FEW025CB BKN030 BEC/MG 0317/0318 SCT035 BKN070 BECMG 0319/0321 BKN020 BKN070 BECMG 0323/0401 25012KT TEMPO 0323/0403 2000 -SN BLSN TEMPO 0403/0407 4000 -SN BLSN = FTTT70 LTCE 031040 CCA LTCE 031040Z 0312/0412 18015KT 9999 SCT035 BKN070 BECMG 0313/0314 BKN025 BKN070 TEMPO 0313/0317 23020G35KT -TSRA FEW025CB BKN030 BECMG 0317/0318 SCT035 BKN070 BECMG 0319/0321 BKN020 BKN070 BECMG 0323/0401 25012KT TEMPO 0323/0403 2000 -SN BLSN TEMPO 0403/0407 4000 -SN BLSN = FTTT70 LTCE 031040 AAA LTCE 031531Z 0315/0412 VRB02KT 9999 BKN025 BKN070 TEMPO 0315/0319 2000 -SHSN BECMG 0323/0401 26012KT 4500 -SN BLSN TEMPO 0401/0405 2000 BECMG 0407/0409 9999 NSW BKN035 BKN070 =

### Şekil 20: 3 Mart 2022 günü yayımlanmış TAF raporları

Şekil 20'de Meydan Müdürlüğümüzde yayımlanmış TAF raporları görülmektedir. Bu raporlara ve Şekil metar rasatlarına bakıldığında, hava sıcaklığı ve uzaktan algılama ürünleri takip edilip konvektif aktivitenin başladığı anlaşıldığında bulutun önce stratokümülüsten kümülüse, daha sonra Cb'ye dönüştüğü görülmüştür. Cb bulutu ve beraberinde getirdiği hadise ve rüzgar ile TAF raporunda gerekli değişimler yapılmış, sivil ve askeri havacılık güvenliğine zarar gelmemesi için uydu ve radar ürünleri sürekli takip edilmeye devam edilmiştir.

### **4. SONUÇLAR**

Çalışmanın ilk aşamasında 2017-2022 yılları arasındaki dönem için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan orajlı ve sisli günlerin zamansal dağılımları incelenmiştir. Ortaya çıkan sonuçlara göre, Erzurum Havalimanı yıllık dağılımda genel olarak artan veya azalan bir eğilimde olduğu söylenememekle birlikte aylık orajlı gün sayıları 2021 yılında fark edilir bir artış göstermiştir fakat bu da 2022 yılında tekrar azalmaya gitmiştir.

Ortaya çıkan bir diğer sonuç ise Erzurum havalimanı için yapılan mevsimsel dağılımlarla ortaya çıkmaktadır. Erzurum Havalimanında en fazla ilkbahar aylarında (Mart-Nisan-Mayıs) orajlı gün

olduğu görülmektedir. Kış aylarında ise konvektif aktivitelerin sebebiyet verdiği oraj hadiselerinin yaşanmadığı görülmektedir. Erzurum ili kış aylarında kararlı bir atmosfer yapısı göstermekte olduğu söylenebilmektedir.

Erzurum Havalimanı'ndaki sisli günlerin aylık dağılımı incelendiğinde Aralık, Ocak ve Şubat aylarında diğer aylardan daha fazla gerçekleştiği görülmüştür. Kış aylarında yerdeki kar tabakasıyla nemini koruyan yüzeyden hızlı radyasyon kaybı ile ani soğuma gerçekleşmektedir. Bu yüzden sis hadisesinin oluşmasına uygun koşulların fazla olduğu anlaşılmaktadır. Yıllık dağılıma bakıldığında düzenli bir trendi olmadığı fakat 2018 yılının en çok sis gözlenen yıl olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlar dahilinde çalışmanın bundan sonraki aşamasında 8 Ocak 2022 ve 3 Mart 2022 günleri meteorolojik açıdan incelenmiştir.

8 Ocak 2022 tarihi için günlük analizde ilk olarak hava analizinde en çok kullanılan yöntemlerden biri olan SkewT logP diyagramlarına bakılmıştır. Erzurum ili için oluşturulmuş diyagramlara bakıldığında 8 Ocak 2022 sabah saatlerinden itibaren yer seviyesinin nemli ve sıcaklık terselmesinin olduğu görülmektedir. Gün içerisinde dağılmayan görüş engelleyici hadisenin, gece radyasyon kaybı ile derinleşebileceği anlaşılmaktadır. Sis hadisesinin uzaktan algılama ile takibi, uydu görüntüleri ile mümkündür. Bu analizde MSG uydularının RGB Birleşik Görüntüleri'nden Gece Mikrofiziği ve Gece Sisi ürünleri kullanılmıştır. Uydu ürünleri incelendiğinde Erzurum havalimanı üzerinde görünen sis ile rasatların birbirine uyumlu olduğu gözlemlenebilmektedir.

3 Mart 2022 tarihi için yine ilk olarak Skew-T logP diyagramına bakılmıştır. Diyagramlarda CAPE değerlerinin sıfırın üzerinde olduğu ve konvektif aktivite beklenebileceği görülmektedir. Gün içerisinde oraj hadisesinin gerçekleştiği zaman aralığındaki uydu ve radar görüntüleri incelendiğinde uydu görüntülerinin konveksiyonu desteklediği, radar görüntülerinin ise yüksek reflektivite göstermediği görülmektedir. Bu yüzden uzaktan algılama ürünlerinin birbirleriyle ve yıldırım tespit sistemi ile desteklenmeleri gerektiği söylenebilir.

Havayolu ulaşımının değeri her geçen gün daha da artmakta ve ulaşımın güvenliğini sağlamak daha önemli hale gelmektedir. Şiddetli meteorolojik olaylar havaalanlarında aksamalara neden olabilmektedir. Bu yüzden meteorolojik tahminlerin doğruluğu dikkat çekmektedir. Konvektif sistemlerin tahmininin zorluğundan dolayı uydu ve radar ürünlerinden yardım alıp tahmin yapmak ve zamanında kullanıcıları bilgilendirmek gerekmektedir. Çalışmada, uydu ve radar ürünleri kullanılarak sis ve orajın tespiti ve analizinde bu ürünlerin önemi vurgulanmaya çalışılmıştır. Söz konusu olan uzaktan algılama ürünlerini etkili ve verimli kullanmak, şiddetli meteoroloji olayların zararlarını en aza indirmek için önem arz etmektedir.

### Teşekkür

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve ilgili kurumda bu verilerin sağlanmasına katkıda bulunan tüm çalışanlara teşekkür ederiz.

### KAYNAKLAR

- [1]Arca, D., Afet Yönetiminde Coğrafi Bilgi Sistemi ve Uzaktan Algılama, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi 2/2, 53-61, 2012.
- [2] Havacılık Meteorolojisi Kurs Notları, 2012, TC. Orman ve Su işleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Antalya
- [3] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. "Meteoroloji Sözlüğü". Erişim 02.11.2023. https://www.mgm.gov.tr/
- [4] Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü. "Erzurum Havalimanı Teknik Bilgiler ve Kolaylıklar". Erişim 02.11.2023. https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Havalimani/Erzurum/AnaSayfa.aspx
- [5] Google. Google Maps. Erişim 02.11.2023
- [6] **Toy, D. D. S.,** "Erzurum Havalimanının Havacılık Meteorolojisi Açısından Değerlendirilmesi Raporu", Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı, 2018
- [7] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. "MSG Uydu Görüntüleri ve Yorumlama." Erişim 02.11.2023 https://www.mgm.gov.tr/
- [8] Blitzortung.org. Historical Maps. Erişim 02.11.2023

# Türkiye'de Büyük Orman Yangınları ve Uydu-Model Verileri Kullanımı

Gülten Çamalan

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteorolojik Afetler Şube Müdürlüğü Ankara gcamalan@mgm.gov.tr

İbrahim Çamalan Meteoroloji Genel Müdürlüğü Havacılık Meteorolojisi Şube Müdürlüğü Ankara icamalan@mgm.gov.tr

# ÖZET

Türkiye'de 2005-2022 yılları arasında çıkan büyük orman yangınları, yangınlarda model-uydu verileri kullanımı ile yangınların büyümesindeki sorunlar ve çözümler değerlendirilmiştir. Çalışmada; OGM orman yangın kayıtları, yangın öncesi erken uyarı sağlayan MEUS model ürünleri ve yangınları tespit etme ve takip etmede faydalanılan NASA-Aqua uydusu MODIS sensör verileri kullanılmıştır. 18 yıllık dönemde, toplam 43639 adet orman yangınında 303248 hektarlık ormanlık alan zarar görmüştür. Bu dönemde 100 hektar ve üzeri toplam 245 adet büyük orman yangını çıkmış ve bu yangınlarda toplam 235535 hektarlık ormanlık alan zarar görmüştür. Bu dönemde 100 hektar ve üzeri toplam 245 adet büyük orman yangını çıkmış ve bu yangınlarda toplam 235535 hektarlık ormanlık alan zarar görmüştür. Büyük yangınların tüm yangınlar içindeki sayısal oranı %1 iken yanan alansal oranı %78 dir. 2021 yılı, ülkede çıkan büyük orman yangınlarıyla mücadelenin zor gerçekleştiği bir yıl olmuştur. 2021 yılında yanan alanların %97 sini büyük yangınlar oluşturmaktadır. 2021 yılı yangınlarında yanan alanın toplam %74'ü Antalya ve Muğla Orman Bölge Müdürlüğü bünyesindeki ormanlık alanlarda ve %98'i Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleşmiştir. Orman yangınlarında erken, başarılı ve etkili bir mücadelede; yangın risk azaltım çalışmaları yapılması, erken uyarı ve yangın davranış modellerinin geliştirilmesi, yangın algılama ve izlemelerde uzaktan algılama teknolojilerinin kullanımı oldukça önemlidir.

Anahtar Kelimeler — Büyük Orman Yangınları, MEUS Modeli, Uydu Verileri.

# 1. GİRİŞ

Orman yangınları Türkiye ormanlarının sürekliliğini tehlikeye sokan en önemli etkenlerden biridir. Bir bölgede yangın çıkma olasılığını ve yangın davranış özelliğini belirleyen en önemli unsurlar, bölgenin iklimsel ve coğrafi özellikleridir. Türkiye' nin içinde bulunduğu Akdeniz havzası Dünyada yangın riskinin en yüksek olduğu bölgelerden biridir ve iklim değişikliğine bağlı olarak bu bölgede büyük yangınların etkisi giderek artmaktadır [1]. Özellikle Ege ve Akdeniz Bölgeleri yaz aylarında yoğun bir yangın tehtidi alltındadır. Yangın sezonunda özellikle bu bölgeler olumsuz arazi şartları, iklim (yangınlar açısından uygun meteorolojik koşulların bulunması), bitki örtüsü (yangına karşı hassas türlerden oluşması-Kızılçam) ve yoğun nüfus hareketliliği gibi özelliklerin etkisiyle orman yangınlarıyla yakın etkileşim içerisindedir [2-3].

Türkiye'de orman yangınlarının %78'i 400 metre yüksekliğe kadar olan ormanlık alanlarda çıkmakta ve çoğu insan faaliyetleri sonucu oluşmaktadır. Yangın çıkan alanların özellikle Ege ve Akdeniz bölgelerinde olması ve bu bölgelerde; nüfus yoğunluğunun ve göçün fazla olması, turizim alanlarının, değerli arazilerin ve kadastro sorunu olan yerler olması sebebiyle yangınların nedenleri olarak görülmektedir [4]. Oman yangın riski; yanıcı madde yüküne ve özelliğine, topografyaya ve hava şartlarına bağlıdır. Hava şartları heran değişiklik gösterdiğinden yangın riskinde dikkatli takip edilmesi gereken bir durumdur. Hava şartları ile ilgili olarak, küçük bir yangının büyük bir yangına dönüşme olasılığı esas olarak maksimum sıcaklığa, nispi nemin düşük olmasına, yağış olmamasına ve rüzgar hız ve yönüne bağlıdır. Meteorolojik faktörler aynı zamanda yanıcı maddenin sıcaklığı ve nem içeriğini etkilediğinden yangın tehlikesini artırıcı ya da azaltıcı yönde rol oynar. Yangın mevsiminden hemen önce alınan yağışların olası yangın riskini azalttığı, önceki yıllarda bol miktarda alınan yağışın biyokütle kullanılabilirliğini arttırdığı ve olası yangınların yoğunluğunu güçlendirdiği; kuraklıkların kısa vadede bitki örtüsünün nemini azaltarak yangın riskini arttırdığı, uzun vadede mevcut biyokütleyi azaltarak yangın riskinin azalmasına katkıda bulunduğu belirtilmektedir [5]. Akdeniz Bölgesinde son yıllarda yaşanan orman yangınlarının etkileri, iklim koşulları ve kırsal faaliyetlerin terk edilmesinden kaynaklı yakıt birikiminin artması nedeniyle insanların artan bir yangın riski ile karşı karşıya olduğunu göstermektedir [6]. Türkiye' de orman yangın sayılarının son yıllarda artışındaki en önemli nedenlerin sırasıyla %54.5'la orman içi ve bitişiğindeki nüfus hareketliliğinin artışı, %50 ile turizm ve rekreasyonel taleplerin artışı, %36.4 ile hava koşullarındaki ciddi dalgalanmalar, sıcaklıkların artışı, yağışların azalması ve orta/uzun süreli kuraklıklar, %31.8 ile toplumun orman yangınlarına yönelik bilinç düzeyinin yeterli olmaması,

bahçe ve sera artıklarının temizliği ve anız yakma, enerji nakil hatlarının yıpranmıs olması ve tamirbakımlarının yeterince yapılmaması, %27.3 ile terör ve %13.6 ile yangınların geçmiş yıllara göre daha fazla kayıt altına alınması olduğu belirtilmektedir [7]. 28 Temmuz 2021 tarihinde Manavgat da yaşanan büyük orman yangınında, yangın koşullarının hazırlanmasında bölgedeki sinoptik ve yerel hava şartları meteorolojik gözlemlerle ve MEUS model çıktıları ile incelenmiştir. Yapılan analiz sonucu; vağıs azlığı-yasanan kuraklıklar, ülkevi etkileyen Basra alçak basınç sistemi nedeniyle Türkiye'nin iç kesimlerinde hakim olan Kuzey ve Kuzeydoğulu (karasal) esen rüzgarların Akdeniz bölgesi üzerinde yarattığı fön etkisi ve yaşanan ekstrem sıcaklıkların yangın oluşmasında önemli ölcüde etkili olduğu, meydana gelen yangınlarda belirli hava kosullarının büyük yangınların oluşmasında ne kadar elverişli olabileceği görülmüştür. Bu durum MEUS yangın tehlike haritalarında da yüksek riskli alanlar olarak tespit edilmistir. Ayrıca 2021 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında yaşanan büyük yangınların nedeninin sadece meteorolojik koşulların uygunluğuyla ilgili olmadığı, ülkenin farklı yerlerinde aynı anda çıkan yangınların yerleşim yerlerini ve bazı tesisleri tehdit etmesi nedeniyle söndürme çalışmalarında bu bölgelere öncelik verilmesi, OGM'nin elindeki hava filosunun, personel sayısının araç ve ekipmanların yetersizliği sebebiyle erken müdahalede geç kalınmasından kaynaklı olduğu belirtilmiştir [8].

Yangın davranışına mevcut meteorolojik gözlemlerin incelenmesi ile birlikte sinoptik durum analizi olanak sağlarken, uydular ile aktif yangınlar ve yangından etkilenen alanlar da tespit edilebilmektedir. 2021 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında, yaşanan kuraklık, düşük nem, rekor kıran sıcaklıklar nedeniyle İtalya, Cezayir, Yunanistan ve Türkiye dahil olmak üzere Akdeniz ülkelerinde 100 den fazla orman yangınının çıktığı ve 620.000 hektarlık ormanlık alanın zarar gördüğü belirtilmektedir [9]. İtalyadan Türkiyeye Doğu Akdeniz ülkelerini kapsayan bölgede iklim ve bitki sürekliliğinin orman yangınları üzerinde önemli faktörler olduğu, bitki örtüsü sürekliliğinin iki farklı rolü olduğu, yüksek yanıcılığa sahip yakıtların sürekliliği (iğne yapraklı -kızılçam) şiddetli yangın olaylarında sorumlu görülürken, yerel geniş yapraklı ormanların sürekliliği büyük orman yangınlarının yayılmasını sınırlayabilen bir role sahip olduğu belirtilmektedir [10].

Orman yangınlarının meydana getirdiği zararları önlemek veya en aza indirmek için orman yangınları ile etkili bir mücadele gereklidir. Orman yangınlarına zemin hazırlayan çevresel faktörlerin iyi belirlenmesi önemlidir. Farklı iklim ve bitki örtüsü, topoğrafik ve antropojenik koşulların orman yangını duyarlılığı, tehlike ve risk haritaları oluşturulmalıdır. Bu nedenle

içerisinde yapılandırılmış önleme ve risk azaltma stratejilerini içeren erken uyarı sistemlerine ihtiyaç vardır. Meteorolojik gözlem ve yangın davranış modelleme araçlarının birarada kullanımı, genellikle yerel halk üzerinde yıkıcı etkilere neden olan aşırı yangın davranışına katkıda bulunan koşulların değerlendirilmesine yardımcı olur ve birleşik yangın-atmosfer modellerinin doğrulanması için gerekli temeli sağlar [11]. Günümüzde yangının meteorolojik tehlikesini izlemek için farklı yöntem veya indeksler bulunmaktadır. Akdeniz Havzasında en çok kullanılan Fire Weather Index (FWI)' dir [3]. Türkiye'de Meteoroloji Genel Müdürlüğü bünyesinde orman yangınları için önceden tedbir alınabilmesine yönelik bir Orman Yangın Hava Durumu İndeksi çalışması olan Meteorolojik Erken Uyarı Sistemi (MEUS) bulunmaktadır.

Uzaktan algılama konusundaki teknolojilerin gelismesiyle beraber, orman yangınları ve yanan alanlar çeşitli uydular sayesinde takip edilebilmektedir. Orman yangınları ve etkilenen alanların uydu verileri ile analiz çalışmaları yeterli düzeyde olmasada bu konuda birtakım çalışmalar bulunmaktadır. 18 Ağustos 2019 tarihinde İzmir Karabağlar-Tırazlı köyünde meydan gelen orman yangınında, Orman Yangınları Meteorolojik Erken Uyarı Sistemi (MEUS) model çıktıları ile MSG uydusuna ait eview ve Ch4 IR3.9 kanal görüntüleri ile yangından etkilenen alanlar ve yangın sebebiyle atmosfere salınan dumanın etkileri izlenebilmiştir. Orman yangınlarına yönelik erken uyarı sağlayan MEUS çıktıları meteorolojik açıdan potansiyel yangın tehlike seviyesini tahmin etmektedir. Bunun yanında uydu verileri yangınları tespit etmede, aktif yangınları izlemede ve yangınlarda etkilenen alanları karakterize etmede önemli bir rol almaktadır [12]. 28 Temmuz - 12 Ağustos 2021 de Türkiye'de Ege ve Akdeniz Bölgesinde çıkan yangınların ilerleyişi, verdiği hasar ve yangın kaynaklı oluşan aerosollerin atmosferdeki değişimi uydu verileriyle izlenebilmiştir [13]. 20 Temmuz 2020 de Harran Üniversitesi Osmanbey kampüsü ve civarında meydana gelen yangında Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından işletilen Sentinel 2 uydu verilerini kullanarak bitki örtüsünün yangından ne kadar hasar aldığı ve bitki varlığının tahribat derecesi belirlenebilmiştir [14]. 2022 yılı eylül ayında Mersin ili Gülnar ilçesinde meydana gelen orman yangınında yanan alanın büyüklüğü Sentinel-2 uydu görüntüleri ile dNDVI, dSAVI ve dNBR indisleri kullanılarak tahmin edilmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır [15]. 6 Temmuz 2020 tarihinde Çanakkale ili Gelibolu ilçesinde meydana gelen orman yangını sonucunda yanan alanı Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI uydu görüntüleri ve uzaktan algılama indeksleri kullanılarak analiz edilmiştir [16].

### 2. METERYAL VE METOD

Çalışmada Orman Genel Müdürlüğü'nün 2005-2022 yılları arası yangın kayıtları, Orman Yangınları Meteorolojik Erken Uyarı Sistemi (MEUS) model çıktıları ve NASA Aqua uydusu MODIS sensörü verileri kullanılmıştır.

### 2.1 Meteorolojik Erken Uyarı Sistemi (MEUS)

Orman Yangınları Meteorolojik Erken Uyarı Sistemi (MEUS), Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından geliştirilmiş, yangın öncesi süreçte önceden tedbir alınabilmesine yönelik bir Orman Yangın Hava Durumu İndeksi çalışmasıdır. MEUS sistemi 4,5 km çözünürlüklü, 00 GMT Alaro sayısal hava tahmin model verilerini (2m maksimum sıcaklık, 2m ortalama nem ve 10m rüzgar vektör bileşenleri) kullanmaktadır. Veriler bakı analizine tabi tutularak rüzgarın yönüne göre fön etkisi hesaba katılmaktadır. Bu veriler kullanılarak Türkiye için gelecek üç günü kapsayan günlük ve saatlik Orman Yangın Tehlike Haritaları hazırlanmaktadır. Orman yangın tehlike haritalarının yanı sıra saatlik rüzgar hız- yön, sıcaklık ve nem haritaları da üretilmektedir. Tehlike oranları % olarak sınıflandırılıp Türkiye haritası üzerinde renklendirilmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, MEUS sistemi ile yangın tehlike haritaları, anlık ve ilerleyen saatlerdeki meterolojik tahmin ve uyarıları yangın birimine bildirerek orman yangınlarıyla mücadelede Orman Genel Müdürlüğü'ne destek vermektedir [4, 8, 12].

### 2.2 MODIS ve VIIRS Uydu Görüntüleri ile Aktif Yangınların Tespiti

Türkiye' nin de üyesi olduğu Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi (EFFIS) Avrupa ve Akdeniz bölgesindeki ormanların yangınlara karşı korunmasından sorumlu hizmetleri model ve uydu verileri ile destekler ve orman yangınları hakkında güncel ve güvenilir bilgileri temin eder. EFFIS, NASA Kaynak Yönetim Sistemi İçin Yangın Bilgileri (FIRMS) tarafından sağlanan aktif yangın verilerini kullanır. Aktif yangınlar, yangınlar tarafından üretilen termal anomalilere dayalıdır. Algoritmalar, potansiyel bir yangının sıcaklığını etrafındaki toprak örtüsünün sıcaklığıyla karşılaştırır; Sıcaklıktaki fark belirli bir eşiğin üstünde ise, potansiyel yangın aktif yangın veya "sıcak nokta" olarak onaylanır. Aktif yangınlarla ilgili bilgiler normalde günde 6 kez güncellenir ve MODIS / VIIRS görüntülerinin alınmasından sonraki 2-3 saat içinde EFFIS'te kullanılabilir hale gelir. Aktif yangınlar, NASA Terrra ve Aqua uyduları üzerindeki Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradiometresi (MODIS) cihazları ile NASA Suomi Ulusal Kutupsal Yörünge Ortaklığı (SNPP) ve NOAA-20 bünyesindeki Görünür Kızılötesi Görüntüleme Radyometre Paketi (VIIRS)'nde elde edilen ürünlerle izlenilmektedir. MODIS'in aktif yangın algılama pikselinin uzaysal çözünürlüğü 1 km ve zamansal çözünürlük günlüktür. VIIRS Sensör çözünürlüğü 375 m dir. VIIRS sensörleri MODIS'in gözden kaçırdığı daha küçük yangınları tespit etmede ve devam eden büyük yangınların sınırlarının belirlenmesinde daha etkilidir. EFFIS Hızlı Hasar Tespit Modülü (RDA); yangın mevsimi sırasında mekansal çözünürlüğü 250 m MODIS ve mekansal çözünürlüğü 20 m olan Sentinel-2 uydu görüntülerinden yanmış alanların haritalanmasını sağlar. EFFIS'te toplam yangın sayısının yalnızca bir kısmı haritalanmış olsa da haritalanan yangınların yaktığı alan Avrupa'da yanan toplam alanın yaklaşık %95'ini temsil etmektedir [17].

### **3. SONUÇLAR**

### 3.1. 2005-2022 Dönemi Çıkan Yangınların Analizi

Yapılan değerlendirmeler sonucunda; ülkede 2005-2022 yılları arası çıkan 43639 adet orman yangınında 303.248 hektarlık ormanlık alan zarar görmüştür. Yıllık yangın kayıtlarında sayısal bakımdan fazla bir değişiklik gözlenmezken, yanan alan bakımdan 2021 (%46), 2008 (%10) ve 2020 (%7) yıllarındaki artışlar dikkat çekmektedir. Çıkan yangınlarda; 2021 yılında 139503 hektar, 2020 yılında 20971 hektar ve 2008 yılında 29749 hektarlık bir ormanlık alan zarar görmüştür. Bu dönemde orman yangınların yangın sayısının % 83'ü, yanan alanın %96' sı yangın sezonunda (1 Mayıs-31 Ekim); yangın sayısının %41' i ve yanan alanın %81'i sadece Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleşmiştir. Yangın sayısı bakımından %22 ile ilk sırayı Ağustos ayı alırken, yanan alan bakımından %54 ile ilk sırayı Temmuz ayı almaktadır (şekil 1-2)



Şekil 1: Türkiye 2005-2022 dönemi orman yangınlarının yıllık dağılımı.



Şekil 2: Türkiye 2005-2022 dönemi orman yangınlarının aylık dağılımı.

### 3.2. 2005-2022 Dönemi Çıkan Büyük Yangınların Analizi

Ülkede 2005-2022 döneminde her yıl birden fazla büyük orman yangın kaydıyla karşılaşılmaktadır. Bu dönemde 100 hektar ve üzeri toplam 245 adet büyük orman yangını çıkmış ve bu yangınlarda toplam 235535 hektarlık ormanlık alan zarar görmüştür. Büyük yangınların tüm yangınlar içindeki sayısal oranı %1 iken yanan alansal oran %78 dir. Büyük yangınlarda; yangın sayısının %67'si yanan alanın %85'i Muğla, Antalya, İzmir Kahramanmaraş, Adana ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğü bünyesindeki ormanlık alanlarda, yangın sayısının %2'si yanan alanın %4'ü Doğa Koruma ve Milli Parklarda çıkmıştır. 2008 yılında yanan alanların %89'unu ve 2021 yılında yanan alanların %97 sini çıkan büyük yangınlar oluşturmaktadır. 2008 yılında; 100-500 hektar arası 12 yangın, 500-1000 hektar arası 3 yangın, 1000-10.000 hektar arası 3 yangın ve 10.000 hektar ve üzeri 1 yangın olmak üzere toplam 19 adet büyük yangın rapor edilmiştir. 2021 yılında; 100-500 hektar arası 23 yangın, 500-1000 hektar arası 7 yangın, 1000-10.000 hektar arası 18 yangın ve 10.000 hektar ve üzeri 3 yangın olmak üzere toplam 51 adet büyük yangın rapor edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1: 2005-2022 Dönemi Çıkan Büyük Yangınların Yıllık ve Orman Bölge Müdürlük Dağılımları

	Yangın Sayısı	Yanan Alan (Ha)	Büyük yangın Sayısı	Büyük Yangın Alanı (Ha)	Büyük Yangın Alanı %		Yan	gın sayı	SI	Bölge	Büyük Yangın Sayısı	%	Büyük yangın Yanan Alan	%
						100- 500 Ha	500- 1000 Ha	1000- 10.000 Ha	10.000 Ha ve üzeri					
2005	1530	2821	5	1418	50%	5				Muŭla	41	17%	55283	24%
2006	2227	7762	10	5093	66%	9	1			Balikesir	8	3%	3094	1%
2007	2829	11664	26	6587	56%	24	2			İzmir	29	12%	16823	7%
2008	2135	29749	19	26344	89%	12	3	3	1	Antalya	38	16%	85473	36%
2009	1793	4679	5	2036	44%	4		1		Ankara	3		1145	
2010	1861	3317	3	997	30%	3				Adana	18	7%	12622	5%
2011	1954	3612	4	763	21%	4				Bolu	3		576	
2012	2450	10454	20	6250	60%	17	3			Kütahya	9	4%	2524	
2013	3755	11456	18	6334	55%	16		2		Bursa	10	4%	1674	
2014	2149	3117	3	801	26%	2	1			Adapazarı	2		335	
2015	2150	3219	3	583	18%	3				K.Maraş	23	9%	11356	5%
2016	3188	9156	10	3970	43%	8	2			Denizli	8	3%	2151	1%
2017	2411	11993	18	7912	66%	14	3	1		Mersin	14	6%	19265	8%
2018	2167	5644	6	1593	28%	5	1			Amasya	4	2%	785	
2019	2688	11332	9	5890	52%	8	1			İstanbul	2		254	
2020	3399	20971	21	14672	70%	12	5	4		Trabzon	3		378	
2021	2793	139503	51	134685	97%	23	7	18	3	Canakkale	9	4%	4195	2%
2022	2160	12799	14	9607	75%	10	2	2		Éskişehir	1		171	
											5	2%	9814	4%
										Flazič	3	2 /0	2201	
										Frzurum	2		358	
										Isnarta	3		1937	
										Kastamonu	4	2%	2036	
										Sanliurfa	2	270	252	
										Zonguldak	1		835	
plan	n 4363	9 303248	B 245	235535										

(Not: 2013-2022 döneminde Orman Bölge Müdürlüğü işletme ve şeflik sayılarında artışlar ve değişiklikler meydana gelmiştir.)

2008 ve 2021 yılları Türkiye'de çok sayıda büyük orman yangınının oluştuğu kurak koşullara sahip ve orman yangınlarıyla mücadelenin zor gerçekleştirildiği yıllar olarak karşımıza çıkmaktadır. SPEI-12 aylık kuraklık indis zamana bağlı değişim incelendiğinde ülkede; 2007-2008, 2013-2014; 2016-2018 ve 2020-2021 yıllarının kurak geçtiği, Temmuz ve Ağustos 2021 SPEI-12 aylık kuraklık haritasında ülkemizin Doğu ve Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu, Orta Karadeniz, Akdeniz ve Ege Bölgesinin iç kesimlerinin şiddetli ve aşırı kurak geçtiği görülmektedir (şekil 3-4).



Şekil 3: Türkiye geneli SPEI-12 aylık kuraklık indis zamana bağlı değişimi.



Şekil 4: Temmuz ve Ağustos 2021 SPEI-12 aylık kuraklık haritası.

### 3.3. 2021 Yılı Antalya ve Muğla Bölgesinde Çıkan Yangınlar ve Büyük Yangınların Analizi

2021 yılı, ülkede çıkan büyük orman yangınlarıyla mücadelenin zor gerçekleştiği bir yıl olmuştur. Yanan alanın %98'i Temmuz ve Ağustos aylarında çıkan yangınlarda zarar görmüştür. 2021 yılı yanan alanın toplam %74'ü Antalya ve Muğla Orman Bölge Müdürlüğü, toplam %20'si Mersin, Adana ve Doğa Koruma ve Milli Parklar bünyesindeki ormanlık alanlarda çıkan yangınlarda zarar görmüştür. Antalya (%43) ve Muğla (%31) Orman Bölge Müdürlüğü bünyesindeki ormanlık alanlarda çıkan yangınlarda yanan alan miktarı en yüksek seviyededir. 2021 yılında Antalya Orman Bölge Müdürlüğünde 278 yangında 60358 hektarlık, Muğla Orman Bölge Müdürlüğünde 364 yangında 43101 hektarlık bir ormanlık alan ve Doğa Koruma Milli Parklar Müdürlüğüne bağlı ormanlık alanlarda çıkan 36 yangında 9775 hektarlık alan zarar görmüştür (şekil 5).



Şekil 5: 2021 Yılı orman yangınları orman bölge müdürlükleri dağılımı.

Doğa Koruma Milli Parklar Genel Müdürlüğüne bağlı ormanlık alanlarda çıkan yangınlarda yanan alanın %93'ünü (9076 hektarlık kısmı) Muğla ili Marmaris İlçesine bağlı Muğla Milli Parklar İşletme Müdürlüğünde çıkan yangınlar oluşturmaktadır.

Bu yıl bu iki bölge Müdürlüğünde ve Marmaris Milli Parklar işletme şefliğinde çıkan yangınların %99'u büyük orman yangınları olarak kayıtlara geçmiştir. 2021 yılında Antalya Orman Bölge Müdürlüğü bünyesine bağlı işletme müdürlüklerinde çıkan yangınların yanan alanın %52' si Manavgat, %15'i Taşağıl, %14'ü Gündoğmuş, %9'u Alanya ve Akseki işletme müdürlüklerine ait ormanlarda gerçekleşmiştir. Aynı şekilde Muğla Orman Bölge Müdürlüğü bünyesine bağlı işletme müdürlüklerinde yanan alanın %31'i Milas, %25'i Köyceğiz, %13'ü Kavaklıdere, %11'i Muğla, %8'i Yatağan, %7'si Yılanlı işletme müdürlüklerine ait ormanlarda gerçekleşmiştir. Diğer işletme müdürlükleri %2 ve altında kalmıştır. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'nde 28 Temmuz / 3 Ağustos 2021 tarihleri arası 10 büyük orman yangını çıkmış ve toplam 59964 hektarlık bir ormanlık alan zarar görmüştür. 28 Temmuz -2 Ağustos 2021 tarihleri arası Antalya Manavgat ilçesinin farklı noktalarında başlayan ve Manavgat büyük yangını olarak nitelendirilen yangınlarda toplam 40.000 hektarlık bir ormanlık alan yanmıştır (Tablo 2). Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'nde 29 Temmuz / 7 Ağustos 2021 tarihleri arasında çıkan 17 büyük yangında toplam 42509 hektarlık ve 29 Temmuz 2021 tarihleri arası İçıkan 17 büyük yangında toplam 42509 hektarlık ve 29 Temmuz

Marmaris Milli Parklar işletme şefliğinde çıkan 1 büyük yangında 9052 hektarlık bir ormanlık alan zarar görmüştür (Tablo 3).

2021 Yılı Yangınlar				Büyül	k Yangınlar				
İşletme Müdürlüğü	Yangın Sayısı	Yanan Alan (Ha)	Yanan Alan %	İşletme Müdürlüğü	İşletme Şefliği	İlçe	tarih	Yanan Alan (Ha)	Yanan Alan %
Antalya	21	14		Akseki	Beloluk	Akseki	28.07.2021	4447	7%
Manavgat	35	31116	52%	Manavgat	Şelale	Manavgat	28.07.2021	4181	7%
Serik	35	18		Taşağıl	Çardak	Manavgat	28.07.2021	2387	4%
Taşağıl	21	8990	15%	Gündoğmuş	Eskibağ	Gündoğmuş	29.07.2021	8667	14%
Gündoğmuş	7	8667	14%	Manavgat	Manavgat	Manavgat	29.07.2021	26903	45%
Alanya	36	5701	9%	Alanya	Bayır	Alanya	30.07.2021	5637	9%
Kumluca	16	3		Gazipaşa	Gazipaşa	Gazipaşa	30.07.2021	246	0%
Finike	10	4		Akseki	Gökçebel	Akseki	31.07.2021	515	1%
Gazipaşa	17	258		Taşağıl	Kargihan	Manavgat	02.08.2021	6571	11%
Konyaaltı	26	54		Akseki	Eynif	İbradı	03.08.2021	410	1%
Kaş	26	117							
Korkuteli	5	5							
Elmalı	2	0							
Akseki	21	5409	9%						
Toplam	278	60358		Topla	m		10	59964	99%

Tablo 2: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü İşletme ve Şefliklerinde 2021 yılı çıkan yangınların ve büyük yangınların dağılımları

# Tablo 3: Muğla Orman Bölge Müdürlüğü İşletme ve Şefliklerinde 2021 yılı çıkan yangınların ve büyük yangınların dağılımı

	2021 Yılı Yaı	ngınlar				Büyük Yang	ınlar				
Bölge	İşletme Müdürlüğü	Yang Sayıs	n Yanan Alan (H	Yanan a) Alan %	Bölge	lşletme Müdürlüğü	İşletme Şefliği	İlçe	Tarih	Yanan Alan (Ha)	Yanan Alan %
DKMPGM	Muğla	9	9076	93%	DKMPGM	Muğla MP	Marmaris MP	Marmaris	29.07.2021	9052	99%
Muğla	Aydın	23	894	2%	Muğla	Köyceğiz	Köyceğiz	Köyceğiz	29.07.2021	10737	25%
Muğla	Dalaman	23	135		Muğla	Milas	Karacahisar	Milas	31.07.2021	12764	30%
Muğla	Fethiye	23	18		Muğla	Seydikemer	Eşan	Seydikemer	01.08.2021	294	1%
Muğla	Kavaklıdere	12	5529	13%	Muğla	Kavaklıdere	Menteşeçayı	Kavaklıdere	02.08.2021	5512	13%
Muğla	Köyceğiz	31	10746	25%	Muğla	Seydikemer	Kemer	Seydikemer	02.08.2021	298	1%
Muğla	Marmaris	18	5		Muğla	Milas	Gürçamlar	Milas	03.08.2021	155	
Muğla	Milas	45	13197	31%	Muğla	Nazilli	Bozbey	Bozdoğan	03.08.2021	244	1%
Muğla	Muğla	34	4856	11%	Muğla	Nazilli	Karacasu	Karacasu	03.08.2021	324	1%
Muğla	Nazilli	52	701	2%	Muğla	Yılanlı	Kızılkaya	Menteşe	03.08.2021	122	
Muğla	Seydikemer	45	634	1%	Muğla	Yılanlı	Muratlar	Menteşe	03.08.2021	147	
Muğla	Yatağan	26	3448	8%	Muğla	Muğla	Muğla	Menteşe	04.08.2021	4852	11%
Muğla	Yılanlı	32	2938	7%	Muğla	Yılanlı	Şenyayla	Menteşe	04.08.2021	2523	6%
					Muğla	Yatağan	Menteşeçayı	Yatağan	04.08.2021	2087	5%
					Muğla	Aydın	Akçaova	Çine	06.08.2021	864	2%
					Muğla	Dalaman	Dalaman	Dalaman	06.10.2021	128	
					Muğla	Yatağan	Turgut	Yatağan	06.08.2021	1358	3%
					Muğla	Yılanlı	Boyalı	Menteşe	07.08.2021	100	
Muğla	Toplam		364	43101		Toplam			17	42509	99%
DKMPGM	Toplam		9	9076		Toplam			1	9052	
	Genel Topla	m	373	52177		Genel Topla	m		18	51561	

Muğla Orman Bölge Müdürlüğü sınırları dahilindeki ormanlık alanlarda çıkan yangınlar özellikle otellere, yerleşim yerlerine ve termik santrallerine yakın olması sebebiyle yangınların öncelikle buralara sıçramaması ve emniyetinin sağlanmasına verilmiş olup akabinde orman yangınlarını söndürmeye yönelik mücadeleye devam edilmiştir. Antalya Bölgesi çıkan yangınlarda Manavgat ve Gündoğmuş ilçe merkezlerini tehdit edecek boyutta bir yangın afeti yaşanmıştır. 43 mahalle tamamen, 16 mahalle kısmen yanmış, maalesef sekiz şehit ve onlarca yaralı olmuştur. Telef olan küçükbaş ve büyükbaş hayvan sayısı tespit edilememiştir [18].

2021 yılı yangın sezonunda en yüksek hava sıcaklık rekorları Mayıs ayında gerçekleşmiştir. Haziran ve Temmuz aylarında da çeşitli merkezlerde rekorlar kırılırken büyük yangınların devam ettiği 1-6 Ağustos tarihleri arasında özellikle Ege ve Akdeniz bölgelerinde başta Köyceğiz (46.1°C) olmak üzere Dalaman (45.5°C) ve Marmaris (45.5°C) istasyonlarında yüksek sıcaklık rekorları kırılmıştır (Nazilli 45.3°C, Aydın 45.1 °C, Antalya 44.8°C, Milas 44.5°C, Manisa 44.5°C, Ödemiş 44.3°C, Fethiye 44.0°C, Manavgat 43.9°C, Finike 43.3 Fethiye 44.0°C, Kale-Demre 43.4°C, Gazipaşa 40.2°C). Özellikle bu bölgelerde 2021 yılı Ağustos ayında en yüksek maksimum sıcaklık pozitif anomali rekoru ilk sırada 2.5°C ile Marmaris ikinci sırada 1.8°C ile Köyceğiz ve Bergama istasyonunda gerçekleşmiştir. 2021 yılı yangın sezonunda yaşanan ekstrem sıcaklıklar, yağış azlığı-yaşanan kuraklıklar, ülkeyi etkileyen Basra alçak basınç sistemi nedeniyle Türkiye'nin iç kesimlerinde hakim olan Kuzey ve Kuzeydoğulu (karasal) esen rüzgarların Akdeniz bölgesi üzerinde yarattığı fön etkisi havadaki nispi nemi ve yanıcı maddelerin (gerek diri örtü ve gerekse ölü örtünün) nem miktarını azaltarak yangın tehlikesini son derece arttırmış ve yangın oluşmasında etkili olmuştur [8].

### 3.4. Model ve Uydu Görüntüleri ile Yangınların Tespiti ve İzlenmesi

Sayısal hava tahmin model verileri ile çalışan MEUS modeli Türkiye için orman yangınının oluşabileceği riskli bölgeleri tahmin etmektedir. OGM yangın birimi yetkilileri MEUS yangın tehlike haritalarını takip ederek yangın öncesi tedbirleri ve hazırlıkları almaktadır. 28 Temmuz 2021 tarihinde öncelikle Manavgat ta başlayan orman yangını bölgede yaşanan yüksek sıcaklık, düşük nem ve kuvvetli kuzeyli rüzgarlar nedeniyle orman yangın oluşum ve kontrol altına alma riskinin yüksek olduğunu 26 Temmuz 2021 tarihinde üretilen D+3 ve 28 Temmuz 2021 D+1 MEUS model çıktılarında yüksek riskli olarak öngörmüştür (şekil 6).



Şekil 6: 26 Temmuz 2021 D+3 ve 28 Temmuz 2021 D+1 MEUS Model Çıktıları

Türkiye'de 2021 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında çıkan orman yangınlarının alansal ve zamansal seyri NASA Aqua uydusu MODIS sensörü 7-2-1 bantları ile elde edilen düzeltilmiş yansıma verileri kullanılarak görüntülenmiştir [19]. 2021 yılı büyük yangınlardan ilki 15 Temmuz da Mersin Aydıncık'ta başlamış ve 17 Temmuzda kontrol altına alınmıştır. Bu yangında 6397 hektarlık bir alan zarar görmüştür. 28 Temmuz 2021 tarihinde Manavgat'ta, 29 Temmuz 2021 tarihinde Marmaris, Köyceğiz ve 31 Temmuz 2021 tarihinde Milas'ta başlayan yangınlar silsilesi büyük yangınlara dönüşmüştür. 29 Temmuz 2021 tarihli uydu görüntüsünden Manavgat yangınının büyüdüğü, Antalya Alanya-Gündoğmuş, Adana Kozan-Kadirli, farklı noktalardan Mersin Silifke ve Muğla Marmaris ve Köyceğiz yangınlarının başladığı izlenebilmektedir. Uydu görüntülerinden; 31 Temmuz 5 Ağustos tarihleri arası Bodrum, Milas, Kavaklıdere, Seydikemer, Yatağan ve Menteşe ilçelerinde çıkan yangınlar izlenebilmektedir. 6-13 Ağustos 2021 tarihleri arası bölgede bulutlanma söz konusudur. 14 Ağustos 2021 uydu görüntüsünden İzmir Karaburun da çıkan ve 347 hektarlık bir ormanlık alanın zarar gördüğü yangın izlenebilmektedir. Antalya ve yöresi yangınlar 7 Ağustos 2021 tarihinde kontrol altına alınırken Muğla ve yöresi yangınlar 14 Ağustos 2021 de kontrol altına alınmıştır. 16 Ağustos 2021 uydu görüntülerinden Akdeniz Bölgesinde çıkan yangınlarda yanan alanlar izlenebilmektedir. Uydu verilerinden elde edilen görüntülerde duman hareketleri ve yanan alanlar oldukça belirgin izlenebilmektedir (şekil 7).







Şekil 7: 15 Temmuz/ 16 Ağustos 2021 Aqua MODIS düzeltilmiş yansıma veri görüntüleri.

2021 yılı EFFIS raporlarında; Türkiye'de 612 yangından kaynaklı toplam yanan alanın 206.013 hektar olduğu, bunun Avrupa, Orta Doğu ve Kuzey Afrika'da kaydedilen en yüksek miktar olduğu bildirilmektedir. Türkiye'de 500 hektar ve üzeri 17 yangın, 1 000 hektar üzeri 16 yangın ve 10 000 hektar üzeri 5 yangın rapor edildiği belirtilmektedir [4].

Özellikle 2021 yılı orman yangınlarının büyümesinde ve kontrol altına alınmasındaki sorunların başında; iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden olan kuraklığın yanıcı madde yükünün nem içeriğini ciddi oranda azaltması, olağanüstü hava koşullarındaki artış, uygun yanıcı madde varlığının ve sürekliliğinin artması, orman içi ve bitişiğindeki nüfus hareketliliğinin ve turizm faaliyetlerinin fazlalığı, toplumun orman yangınlarına yönelik bilinç düzeyinin yeterli olmaması, ülkenin farklı yerlerinde aynı anda birden fazla çıkan yangınlara hava sistemlerinin ve yangın işçi sayısının yetersizliğinden kaynaklı erken müdahalenin zamanında yapılamaması nedeniyle kontrolden çıkıp büyüyen yangınlarda yangın araç ve işçilerin sevk ve idaresinde etkinlik sağlanamamıştır.

Yangın öncesi potansiyel yangın risk tahmininin yapılması, alınacak lojistik tedbirler ve yangınla mücadele etkinliği açısından oldukça önemlidir. Zira orman yangınlarında erken müdahale mücadelenin en önemli ayağını oluşturmaktadır. Bu konuda Türkiye MGM bünyesinde operasyonel olarak çalıştırılan ve paylaşılan MEUS yangın tehlike haritaları, anlık ve ilerleyen saatlerdeki meterolojik tahmin ve uyarılar ile orman yangınlarıyla mücadelede OGM'ye büyük destek vermektedir [4,8]. Teknolojinin gelişmesiyle beraber son yıllarda orman yangınların izlenmesi ve yanan alanların tespitinde uydu ve insansız hava araçlarından (IHA) yararlanılmaktadır. Bununla beraber ülkemiz için içerisinde iklim ve bitki örtüsü, topoğrafik ve antropojenik koşulların yapılandırıldığı önleme ve risk azaltma stratejilerini de içeren erken uyarı sistemleri ve yangın davranış modellerine ihtiyaç duyulmaktadır.

### KAYNAKLAR

- [1] Ruffault J.,Curt T.,Moron V.,Trigo R.M.,Mouillot F.,Koutsias N.,Belhadj-Khedher C.,Increased likelihood of heat-induced large wildfires in the Mediterranean Basin.,Sci. Rep. 2020
- [2] Ganteaume A., Barbero R., Jappiot M., Maillé E., Understanding future changes to fires in southern Europe and their impacts on the wildland-urban interface, Journal of Safety Science and Resilience, Volume 2, Issue 1, March 2021, Pages 20-29
- [3] Moreno M., Bertolín C., Arlanzón D., Ortiz P., Ortiz R., Climate change, large fires, and cultural landscapes in the mediterranean basin: An analysis in southern Spain, Heliyon, 2023 el6941
- [4] Ersoz H.M, Songür M., Yılmaz A., 2021. Country report for The Turkey, in San-Miguel -Ayanz etal. (Eds), Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2021, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, doi:10.2760/34094, JRC130846.
- [5] Probert J.R., Parr C.L., Holdo R.M, Anderson T.M., Archibald S., Mustaphi C.J.C., Dobson A.P., Donaldson J.E., Hopcraft G.C., Hempson G.P., Morrison T.A., Beale C.M., Anthropogenic modifications to fire regimes in the wider Serengeti-Mara ecosystem, Global Change Biology. 2019; 25: 3406-3423.
- [6] Ascoli D., Moris J., Marchetti M., Sallustio L., Land use change towards forests and wooded land correlates with large and frequent wildfires in Italy. Annals of Silvicultural Research ,2021,46(2), 177–188. doi:10.12899/asr-2264.
- [7] Avcı M., Korkmaz M., Türkiye'de orman yangını sorunu: Güncel bazı konular üzerine değerlendirmeler, Türkiye Ormancılık Dergisi,2021, 22(3): 229-240.

- [8] Çamalan, G., Akıl, S. & Pekin, M. A. (2023). Using Meteorological Early Warning System (MEUS) and Meteorological Indices for Assessment of Manavgat Forest Fires Occurred in Turkiye July-August 2021. European Journal of Forest Engineering, 9 (1), 10-25. DOI: 10.33904/ejfe.128807.
- [9] Eberle C., Roa O.H., Mediterranean wildfires Technical Report,2021/2022 (https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/interconnectedrisks/reports/2022/Casestudies/TR\_220808\_MediterraneanWildfires.pdf)
- [10] Trucchia A., Meschi G., Fiorucci P., Provenzale A., Tonini M., Pernice U., Wildfire hazard mapping in the eastern Mediterranean landscape, International Journal of Wildland Fire, 2023,32(3), doi:10.1071/WF22138
- [11] Lagouvardos K., Kotroni V., Giannaros T.M., Dafis S., Meteorological Conditions Conducive to the Rapid Spread of the Deadly Wildfire in Eastern Attica, Greece, American Meteorological Society 2019;2137-2145
- [12] Oğuz K., Oğuz E., Çamalan G., 2021, İzmir-Tırazlı Orman Yangınının Uydu ve Model Verileri ile Analizi, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Sayı 4(1): 1-12 (2021), Orcid: 0000-0001-5305-6145
- [13] Tuygun G.T, İşsever G., Elbir T., 2023, Türkiye'de 2021 Yılında Yaşanan Büyük Orman Yangınlarında Yanan Orman Alanlarının ve Yangın Kaynaklı Atmosferik Aerosollerin Uydular ile İzlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 25(74), 351-369
- [14] Polat N., Kaya Y., 2021 Çok Bantlı Uydu Görüntüleriyle Orman Yangınlarında Hasar Tespiti, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 23(1): 172-181, DOI: 10.24011/barofd.837507
- [15] Yüksel K., 2022, Yanan Orman Alanı Tespitinde Farklı Uzaktan Algılama İndislerinin Değerlendirilmesi: 2022 Yılı Mersin (Gülnar) Orman Yangını Örneği, Journal of Architecture, Engineering & Fine Arts (ArtGRID), 4(2), 160-171, ORCID:0000-0001-9660-5028
- [16] Yılmaz B., Demirel M., Balçık F.B., 2022, Yanmış Alanların Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI ile Tespiti ve Analizi: Çanakkale/Gelibolu Orman Yangını, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 2022; 8(1): 76-86, DOI: 10.21324/dacd.941456
- [17] https://effis.jrc.ec.europa.eu/about-effis/technical-background/active-fire-detection Son Kontrol: 30.10.2023

- [18] Günşen, H.B, Özer, Ş., Çobanoğlu, A., 2023. Orman yangınlarıyla mücadelede risk ve kriz yönetiminin önemi. Şu eserde: Kavgacı, A., Başaran, M. (Editörler) Orman Yangınları. Türkiye Ormancılar Derneği Yayını, s. 158-171, Ankara.
- [19] https://worldview.earthdata.nasa.gov/?v=29.669080420201592,36.0257715047693,32.7510
  0399865271,37.44209667868986&l=Reference\_Labels\_15m,Reference\_Features\_15m(opa city=0.42),Coastlines\_15m(opacity=0.47),MODIS\_Aqua\_CorrectedReflectance\_Bands721,
  MODIS\_Aqua\_CorrectedReflectance\_TrueColor&lg=true&t=2021-07-27-T00%3A00%3A00Z
  Son Kontrol:30.10.2023

# **Doppler SODAR Performansı ve Elde Edilen Verilerin İstatiksel Değerlendirmesi**

Doç. Dr. Haldun Karan

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi İklim Değişikliği ve Sürdürülebilirlik BY Kocaeli haldun.karan@tubitak.gov.tr

### Muhammet Mert Çırak

İTÜ, Uçak ve Uzay Bil. Fak. Meteoroloji Müh. Böl. İstanbul mmertcrak@gmail.com

### ÖZET

Doppler SODAR gibi yer-konuşlu uzaktan algılama cihazları, atmosferin kinematik ve dinamik yapısı hakkında değerli bilgiler vermekte, gerek zamansal ve gerekse yersel yüksek çözünürlükte sağladıkları bilgiler sonucunda daha güvenilir analiz ve model tahminleri elde edilebilmektedir. Bu çalışmada, görece az maliyetli, bakımı nispeten kolay olan mini Doppler SODAR cihazının performansına yönelik analizler yapılmış, 30 m ve 60 m yükseklik seviyelerinde elde edilen rüzgar şiddeti verileri, yakınında konuşlu bir ölçüm direğinden elde edilen noktasal verilerle karşılaştırılması ve detaylı analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, SODAR verilerinde olabilecek veri eksikliklerinin veya hatalı verilerin giderilmesine yönelik istatistiksel yöntemlerin uygulanabilirliği incelenmiştir. 29 Mart-29 Temmuz 2016 tarihleri arasında dört aylık, 10'ar dakikadan oluşan SODAR verileri, rüzgar şiddetlerine göre "zayıf – 2 ms<sup>-1</sup> 'den az", "orta – 6 ms<sup>-1</sup> 'den az" ve "kuvvetli – 6 ms<sup>-1</sup> 'den fazla" şeklinde üç sınıfa ayrılmış ve her bir kategoride SODAR ve kule gözlemleri arasındaki istatistiksel parametreler hesaplanarak SODAR verilerinin performansına yönelik analizler yapılmıştır.

Dört aylık periyotta, 13.206 adet SODAR ölçümü gerçekleşmiş olup bunların "zayıf", "orta" ve "kuvvetli" rüzgar kategorilerinde oluşma sayıları sırasıyla 1.800, 8.107 ve 3.299 olarak hesaplanmıştır. SODAR verileri ile kule verileri arasında ilişki incelendiğinde 30 m ve 60 m yükseklikler için korelasyon katsayılarının sırasıyla 0,69 ve 0,73 olduğu tespit edilmiştir. SODAR ve kule veri setlerine yönelik zaman serileri, standart sapmalar, ortalama, minimum ve maksimum rüzgar şiddetleri, dağılım grafikleri, 1., 2. ve 3.medyan çeyrekleri, ve veri setleri arasında farklı rüzgar şiddeti sınıflandırması koşullarında korelasyon ilişkileri gibi istatistiksel özellikler incelenerek detaylı analizlere yer verilmiştir. Analizler neticesinde SODAR verilerinin noktasal verilerle uyumlu olduğu, farklı yükseklik verileri arasındaki güçlü korelasyondan hareketle kayıp veya hatalı verilerin yeteri doğrulukta üretilebildiği bu çalışmada gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler – SODAR, Doppler, Rüzgâr, Atmosfer Sınır Tabakası, İstatistiksel Analiz, Uzaktan Algılama.

# 1. GİRİŞ

Doppler özelliği bulunan RADAR, SODAR, LİDAR ve benzeri aktif uzaktan algılama sistemleri yoluyla ölçülen radyal rüzgâr gibi değişkenler, ölçümü yapılan ortam hacmindeki (ışın hüzmehacmi) ortalamaları (Doppler spektrum) ifade ederler. Bu nedenden dolayı, noktasal ölcümlerden önemli bir şekilde ayrılırlar. Bununla birlikte, uzaktan algılama ile elde edilen verilerin anlamlılığı veya güvenirliliğinin test edilmesinde noktasal veriler çok önem taşımaktadır. Bu çalışmada kullanılan 3.6 kHz merkezi frekansta (yaklaşık 9,5 cm dalga boyu) çalışan mini-Doppler SODAR (SOnic Detection And Ranging) cihazına ait teknik özelliklere, kurulum ve çalıştırılma stratejilerine, yüksekliklere göre ölçüm yoğunlukları ve ölçümler arası ilişki analizleri hakkında bilgilere, Sezen ve arkadaslarının yaptığı calısmada yer verilmiştir [1]. İstanbul Terkos saha çalışmasında SODAR ayarları, ölçüm periyodu 10 dakika (her 10 dakikada yüksekliğe bağlı rüzgar ölçümleri olup bundan sonra ölçüm profili olarak ifade edilecektir), en düşük ölçüm seviyesi 30 m ve takip eden her bir yükseklik ölçüm aralığı 30 m olacak şekilde seçilmiş olup 4 aylık ölçüm periyodunda atmosfer şartlarına bağlı olarak 630 m seviyelerine kadar ölçümlere rastlanmıştır. Bu çalışmanın başlıca amaçları, 29 Mart - 29 Temmuz 2016 tarihleri arasında gerçekleşen SODAR ölçümlerinin analiz edilerek SODAR cihazının performansını ortay koymak, aynı yüksekliklere karşılık gelen SODAR ve kule ölçümleri arasındaki uyum ve ilişkiyi tespit etmek ve SODAR verilerinde olabilecek eksik veya hatalı verilerin giderilmesine yönelik lineer model uygulamalarını test etmektir.

## 2. LİTERATÜR

Doppler SODAR sistemleri, atmosferdeki türbülans paketçikleri tarafından yansıtılan akustik atımlardaki şiddet ve frekans farkından hareketle (Doppler frekansı), sistemin donanımına ve atmosfer koşullarına bağlı olarak üç boyutlu rüzgar ve türbülans yapısını, birkaç yüz metre düşey mesafelere kadar ölçebilirler. Atmosferin kinematik ve termodinamik düşey yapısının tespitinin önemli olduğu hava kalitesi, hava kirliliği taşınım ve dağılımı, rüzgâr enerji potansiyeli ve tahminleri, türbün yer seçimi, rüzgâr kayması, güvenli uçuş iniş-kalkışları, meteorolojik afet ve kimyasal-tehlikeli gazların yayılımı ve erken uyarı sistemleri, cephe geçişleri, yer-seviyesi konverjansları, konveksiyonel yağış mekanizmaları, kara-deniz ve benzeri termal sirkülasyonlar

gibi birçok alanda SODAR sistemleri oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. SODAR ve benzeri uzaktan algılamalı sistemlerinin kule gözlemlerine göre aşağıda listelendiği gibi birçok avantajı bulunmaktadır:

• SODAR sistemleri, kule gözlemlerine göre çok daha kolay ve hızlı kurulabilmekte, istenmesi durumunda hızlıca başka yerlere taşınılabilmektedir,

• Yere çok yakın seviyelerden itibaren 500-700 m'lere kadar veri temin edilebilmekte, düşey ve zamansal olarak yüksek çözünürlükte veri sağlanabilmekte,

• Görece düşük kurulum ve işletme maliyetleri,

• Kulelerin oluşturabileceği çevresel riskler.

Bununla birlikte, SODAR sistemlerinin bazı dezavantajları da söz konusu:

• Belli atmosfer şartları altında ölçümlerin sınırlı kalması (özellikle şiddetli yağışlar ve çok kuru atmosfer şartları ile çok yoğun arka-plan çevresel gürültüler),

• SODAR sistemleri belli bir zaman aralığında bir ışın hüzmesi içindeki ortalama rüzgâr hız ve yönünü vermektedir. Dolayısıyla ölçüm periyodu süresinde oluşabilecek ani rüzgâr atımlarını (rüzgâr gust) yakalayamayabilirler. Kule üzerindeki noktasal ölçümlerin en önemli avantajı rüzgârlardaki ani değişimi saptayabilmeleridir,

• Ground clutter (zemin/topoğrafya etkisi/girişimi); SODAR tarafından gönderilen enerjinin yakınındaki binalar, ağaçlar, telefon direkleri gibi cisimler tarafından geri yansıtılması (ikincil side-lobe enerji).

Atmosfer Sınır Tabakasında (AST) rüzgâr yapıları anlık ve mekânsal olarak ani değişiklikler gösterebilmektedir. Hava kalitesi modellerinde meteoroloji ile ilgili en hassas verilerin AST'a ait veriler olduğu göz önünde bulundurulacak olursa AST ölçümlerinin ne kadar önemli olduğu anlaşılabilir. Doppler SODAR, RADAR, LİDAR benzeri aktif uzaktan algılama sistemleri atmosferin kinematik ve termodinamik yapısı hakkında yüksek zamansal ve yersel çözünürlükte önemli bilgiler sağlamaktadırlar. Bu tür ölçüm sistemleri, kritik yüksekliklere ait verilerin sürekli ve yüksek çözünürlükte ölçülmesinde, düşey hızların doğrudan elde edilebilmesinde, AST kalınlık ve yükseklik bilgilerinin elde edilmesinde, türbülans özelliklerinin ortaya konmasında ve atmosferin kararlılık yapısının tespit edilmesinde eşsiz veri kaynağıdırlar. Sezen ve arkadaşlarının [1] yaptığı bir çalışmada, bu çalışmada kullanılan mini-Doppler SODAR cihazından sağlanan yaklaşık bir

vıllık verilerin istatistiksel analizini yapılmış, veri eksikliğinin giderilmesine ve havalimanlarında konuşlandırılması durumunda sağlayacağı faydalar tartışılmıştır. Draxler [2], hava kirletici taşınımlarının yönünün belirlenmesinde en fazla etkinin düşük seviyelerdeki rüzgârlardan geldiğini belirtmektedir. Regmi ve arkadaşları [3] bir çalışmasında, yüksek miktarlarda gözlenen NO2 ve SO2 değerlerinin, atmosferin yere yakın kısmında oluşan kararlılık yapısının ve buna da iki farklı hava hareketlerinin bölgevi etkilemesinin neden olduğunu SODAR cihazını kullanarak tespit etmiştir. Atmosfer karışım tabakasının yüksekliğinin kent ve civarındaki hava kirleticilerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada [4] SODAR, Ceilometer ve RASS (sıcaklık profili) sistemleriyle karısım tabakası yüksekliği belirlenmis, PM10, PM2.5, CO ve NOx kirleticilerine ait konsantrasyonlardaki zamanla değişimler SODAR verileriyle ilişkilendirilerek atmosferin kararlılık yapısının ve enverziyonun kirleticilerin düseydeki dağılımını sınırlandırdıkları ve bu sekilde yere yakın seviyelerde kirletici konsantrasyonlarını tetikledikleri gösterilmiştir. Kirletici taşınım/dağılım modelleri karışım yüksekliği, kararlılık indeksi, dağılım katsayısı gibi meteorolojik girdilere ihtiyaç duyarlar. SODAR rüzgar yönü ve şiddeti, türbülans ile ilave ölçüm sistemleriyle hesaplanan statik ve dinamik kararlılık katsayıları yardımıyla kirletici taşınım/dağılım model tahminlerinin daha güvenilir ve doğruya yakın olduğu gösterilmiştir [5-6]. Melas ve arkadaşlarının [6] yaptıkları hava kalitesi çalışmasında, SODAR verileri, diagnostik modellerle kuple edilerek AST rüzgâr yapıları ve AST parametreleri saptanmıştır.

Wilczak ve arkadaşlarının [7] yaptıkları bir çalışmada orta-ölçekte rüzgâr vorteksleri, deniz-kara meltemleri gibi termal rüzgâr yapılarını Doppler SODAR ve RADAR yardımıyla detaylı olarak incelemişlerdir. Barthelmie ve diğerleri [8], rüzgâr türbün-arkası akım karakteristiklerinin belirlenmesinde SODAR ve kule ölçümlerini analiz etmişlerdir. Baumann ve Piringer [9], iki yıllık SODAR verileriyle AST'ın özelliklerini araştırmışlar ve SODAR rüzgâr verilerini diagnostik bir acil müdahale modelinde kullanmışlardır. Lokoshchenko [10], AST yüksekliklerini, kararlılık özelliklerini, türbülans yapısını ve enverziyon yüksekliklerini 10 yıllık SODAR verileri yardımıyla ortaya çıkarmıştır. Yirmi yıllık sodar verilerinin doğrulanması çalışmalarının bir özetinin sunulduğu bir çalışmada [11], SODAR gözlemlerinin AST ortalama rüzgâr şiddeti ve yönlerini doğru bir şekilde sağladığı sonucuna varılmıştır. Kumar [12], atmosferde mekanik yollarla oluşan türbülansın ve özelliklerinin Doppler SODAR yardımıyla saptanabildiğini göstermiştir. NCEP/NCAR analiz rüzgarlarının karmaşık bir topoğrafya üzerinde NARL (The US, National Atmospheric Research Laboratory) Doppler SODAR ölçümleriyle karşılaştırma çalışmasında [13], 1000 mb seviyesindeki analiz verilerinin dağ-vadi ve dağ dalgaları (mountain waves) gibi karmaşık topoğrafyanın

tetiklediği sirkülasyonlardan fazlaca etkilenebileceğini, ve dolayısıyla SODAR verilerinin kritik veriler sağladığına işaret etmiştir. Kümülüs bulutlarının oluşumu ve atmosfer karışım tabakasındaki termallerle ilişkileri konulu bir başka çalışmada [14], SODAR verileri, türbülans ve akı hesaplamalarında kullanılmıştır. SODAR, rüzgar-profil radarları ve yukarı atmosfer verilerinin asimile edildiği bir başka çalışmada [15] hava kalitesi modellerinin performansı incelenmiş, asimilasyon yoluyla daha doğru düşey sıcaklık ve yer-seviyesi rüzgar yapısının elde edildiği, asimilasyon tekniğinin model hatalarında ciddi oranda azaltımlara neden olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada ticari bir ürün olan REMTECH PA0 sistemi Doppler SODAR performansı ele alınmıştır (https://remtechinc.com/wp-content/uploads/PA-0.pdf). Sistemin yatay rüzgar hız aralığı ve doğruluğu sırasıyla 0-30 ms ve 0.2 ms veya 6 ms rüzgarlar için %3, düşey hız ölçüm aralığı ve doğruluğu ise sırasıyla -4 ms +4 ms ve 5 cm'dir.



Şekil 1: SODAR ve kule düşey ölçüm yapısı şematik gösterimi ile 29 Mart – 29 Temmuz 2016 tarihlerinde SODAR rüzgar hızlarına ait ölçüm periyodu, ölçüm yükseklik bilgileri ve sayısı. T: Ölçüm aralığı,  $h_{min}$ : En düşük ölçüm yüksekliği,  $\Delta h$ : Ölçümler arası yükseklik seviyeleri, nL: Düşey seviye sayısı,  $h_{top}$ : En yüksek ölçüm seviyesi, Nprof: Ölçüm periyodu sayıs, NTGs: Toplam grid sayısı (zaman-yükseklik düzlemindeki grid sayısı = nL X NProf). SODAR cihazı kule'den yaklaşık 10 m daha alçak seviyede yer almaktadır. Kule rüzgâr hızlarının ölçüldüğü seviyeler 20m, 40m, 65m ve 80 m.

### 3. DATA ve METODOLOJİ

Çalışmada, MİLRES projesi (<u>https://mam.tubitak.gov.tr/tr/haber/milli-ruzgar-enerji-sistemleri-gelistirilmesi-projesi-tanitildi</u>) kapsamında İstanbul Terkos'da kurulan meteorolojik gözlem kulesi (41.3031°K, 28.6618°D) rüzgâr verileri ile TÜBİTAK 112Y319 No'lu proje kapsamında tedarik edilen ve 41.3051°K, 28.6608°D koordinatlarında kurulan mini-SODAR rüzgâr ölçümleri kullanılmıştır. SODAR ölçümlerinin doğrudan (noktasal) ölçümlerle olan uyumluluğu ve ilişkisinin ortaya çıkarılması amacıyla 29 Mart – 29 Temmuz 2016 tarihlerini kapsayan dönem içinde, 30 m,

60 m ve 90 m seviyelerindeki 10'ar dakikalık rüzgâr profilleri kullanılmıştır. Rüzgâr şiddetleri, zayıf, orta ve kuvvetli olmak üzere her iki gözlem sistemi için sınıflandırmaya tabi tutulmuş ve istatistiksel parametreler söz konusu rüzgâr hızı kategoriler için hesaplanmıştır.

Sekil 1. SODAR ve kule arasındaki düsev ölcüm sevivelerini ve dört avlık ölcüm perivodunda SODAR'a ait zamansal ve düsey ölcüm periyotlarını, toplam ölcüm aralığını, ölcüm profil sayısını göstermektedir. NTGs, iki boyutlu, zaman-yükseklik düzleminde teorik gözlem sayısını göstermekle birlikte cihazın kurulum avarları, atmosfer sartları ve ortam gürültü sevivesine bağlı olarak gerceklesen gözlem sayılarının toplam grid sayısından daha az olacağı bilinmektedir. Dört aylık ölçüm periyodu süresince gerçekleşen gözlem sayılarının teorik toplam grid sayısına olan oranı ve yükseklikle bu oranların ne şekilde değiştiği SODAR performansının belirlenmesinde dikkate alınan kriterlerden biri olmuştur. Bir diğer önemli ölçüt, kule gözlem verileriyle olan yakınlığın (uyumun) derecesidir. RADAR, SODAR ve LİDAR gibi aktif uzaktan algılama sistemlerinde belli bir seviyede ölçülen değişken (bu çalışma için rüzgâr şiddeti) aslında, gönderilen ışın atımlarının kapladığı ışın hüzmesi içinde kalan hacim içerisindeki ortalamayı ifade etmektedir. O nedenle, SODAR verilerinin noktasal verilerle bire bir örtüşmesi beklenmemelidir. Bu çalışmada, rüzgâr şiddetleri, zayıf (*KAT*1 < 2), orta ( $2 \le KAT2 \le 6$ ), ve kuvvetli (*KAT*3 > 6) olmak üzere üc kategoriye ayrılmış ve SODAR-Kule gözlemleri, her bir kategoride değerlendirmelere tabii tutulmustur. Farklı rüzgâr siddeti kategorileri altında, İki veri seti arasındaki iliskivi tespit etmekte. saçılım diyagramları (scattering diagram) ve regresyon analizlerinden, farkların karelerinin ortalamalarından (Root mean square errors RMSEs) faydalanılmış, histogram ve kutu analizleri (whiskerbox), standart sapmalar ile veri setlerine ait istatistiksel özellikler ortaya konmuştur.



Şekil 2: SODAR ölçüm seviyelerindeki aylık olarak eksik veri yüzdesi. Yeşil: %50, kırmızı: %75 dilimi göstermektedir.

SODAR ile kule arasında yaklaşık 230 m mesafe olup SODAR cihazı, kuleye nazaran yaklaşık 10 m daha düşük seviyede bulunmaktadır (Şekil 1). SODAR 1. ve 3. ölçüm seviyeleri ( $h_1$  ve  $h_3$ ) ile kule 1. ve 4. ölçüm seviyeleri ( $h_1$  ve  $h_4$ ) aynı yüksekliklere karşılık gelmektedir. Bu çalışmada, eksik veya hatalı olabilecek SODAR verilerinin üretilmesine yönelik iki durum tanımlanmış ve bir ve iki bağımsız değişkenden oluşan lineer regresyon modellerinin gözlenen verilere yakın veri üretip üretemediği test edilmiştir. Bu amaca yönelik olarak iki senaryo geliştirilmiştir. Birinci senaryoda, eksik SODAR verilerinin SODAR verileriyle tamamlanmasını, ikinci senaryoda ise eksik SODAR verilerinin kule gözlemleri yardımıyla üretilmesini içermektedir. Her iki durum için Mayıs ayı verileri kullanılarak lineer regresyon modelleri oluşturulmuş ve Temmuz ayı için modeller test edilmiştir.

### 4. SODAR ve KULE ÖLÇÜM ANALİZLERİ

### 4.1. Verilere Genel Bakış

Dört aylık ölçüm döneminde her 10 dakikada bir ölçüm profili gerçekleşmesi durumunda teorik olarak 14521 SODAR ölçüm profilinin ve her bir profilde 21 adet ölçüm seviyesinden hareketle toplamda teorik olarak 304941 adet verinin olması beklenirdi (Şekil 1). Bununla birlikte, bazı günlerde çeşitli nedenlerden dolayı SODAR cihazı ölçüm yapmamıştır (ör. 20 – 30 Nisan ve 20 – 26 Haziran). Ölçümlerin yapıldığı dönem dahilinde ölçüm profil sayısı 13206 olup maksimum ölçüm seviyesinin 600 m olduğundan hareketle teorik olarak toplam veri sayısı yaklaşık 264120'dir.

Şekil 2'de gösterildiği üzere yükseklik arttıkça SODAR ölçümlerinde önemli miktarda veri eksikliği görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere ölçüm periyodu boyunca yaklaşık 200 m'den aşağı seviyeler için eksik veri yüzdesi %20'nin altında kalmakta, 100 m yüksekliğe kadar olan üç seviyede (30, 60 ve 90 m) ise neredeyse hiç veri eksikliği bulunmamaktadır. Veri eksikliğinin 270 m seviyelerinde %50 ve altında kaldığı (yeşil ok) görülmektedir. 300 m yüksekliklere gelindiğinde veri kaybı %75'e (kırmızı ok) ve 500 m seviyelerinde %98'lere ulaşmakta olup 500 m'nin üstündeyse neredeyse hiç veri bulunmamaktadır. SODAR cihazının 270 m yüksekliklere kadar %50 veri eksiğiyle günlük yaklaşık 1000 veri sağlayabildiği tespit edilmiştir. Aylara göre bakıldığında en az eksik verinin Nisan ve onu takiben Temmuz ayında olduğu; 300 m ve aşağı seviyelerde bunu sırasıyla Haziran ve Mayıs aylarının takip ettiği görülebilir.

SODAR ve kule rüzgâr hızı zaman serileri, 30 m ve 60 m yükseklikleri için zayıf (yeşil), orta (mavi) ve kuvvetli (kırmızı) kategorilerde Şekil 3'te gösterilmektedir. Her iki yükseklikteki veri setlerinin zamanla olan dağılımları, artış ve azalış davranışları birbirleriyle büyük oranda benzeşim göstermekte olup gerek ortalamalar gerekse standart sapmalar her iki seviyede de birbirlerine çok yakın değerler almaktadır. Kule ortalamalarının KAT1 ve KAT3 sınıflandırmaları altında SODAR'a göre çok az bir miktar daha fazla olduğu (0.25-0.5 m/s) hesaplanmıştır. Histogram dağılımına bakıldığında (Şekil 4) SODAR 30 ve 60 m veri dağılımları kendi aralarında kuvvetli bir benzerlik göstermekle birlikte kule ölçümlerinin, 4-6 m/s arasındaki verilerin çok daha yoğun olduğu görülebilmektedir. SODAR (kule) 30 m ve 60 m seviyelerinde en fazla gözlenen değerlerin sırasıyla 2400 ile 4 m/s ve 2200 ile 5 m/s (2000 ile 4 m/s ve 1900 ile 4 ve 6 m/s) olduğu görülmektedir. Hem SODAR ve hem de kule gözlemleri için oluşum sıklıkları, 30 m için 5 m/s ve 60 m için 6 m/s değerlerinden itibaren ani bir şekilde 12 m/s değerlerine doğru düşüş göstermektedir. Tablo 1'de farklı rüzgar hız kategorilerinde SODAR ve kule veri setlerine ait 1., 2. ve 3. çeyrek (Quantiles) değerleri gösterleri gösterilmektedir. Her iki veri setine bakıldığında, medyan değerlerinin (2. çeyrek) her iki



Şekil 3: SODAR ve kule rüzgar şiddeti zaman serileri, ortalamalar ve standart sapmalar. Yeşil, zayıf rüzgarları (KAT1), mavi, orta şiddetli rüzgarları (KAT2) ve kırmızı, kuvvetli rüzgarları (KAT3) göstermektedir. a) SODAR 30 m, b) Kule 30 m, c) SODAR 60 m, d) Kule 60 m

seviyede de bir birlerine oldukça yakın oldukları görülmektedir. KAT2 için 30 m seviyesinde medyan değerleri, SODAR verilerinde 4.2 m/s, kule verilerinde ise 4.1 m/s, KAT3 için ise 7.1 m/s ve 7.3 m/s olarak gerçekleşmiştir. Söz konusu değerler 60 m yükseklikteki SODAR ve kule

verilerinde KAT2 altında 4.2 m/s, KAT3 altında ise SODAR için 7.4 m/s ve kule için 7.7 m/s şeklinde gerçekleşmiştir.



Şekil 4: 30 m ve 60 m seviyelerinde SODAR ve kule rüzgar hız dağılımları;c) ve f) oluşum sıklıkları. SODAR mavi ve kule siyah renkle gösterilmektedir.

### 4.2. Karşılaştırmalı Analizler

Hacimsel bir temsiliyete sahip SODAR verileri ile noktasal kule ölçümleri arasında hem 30 m ve hem de 60 m seviyelerinde güçlü bir korelasyonun olduğu regresyon eşitlikleriyle birlikte gösterilen saçılım diyagramlarında görülebilmektedir (Şekil 5). Lineer Pearson korelasyon katsayıları, 30 m ve 60 m seviyeleri için sırasıyla 0.69 ve 0.73 olarak hesaplanmıştır. Farklı hız kategorilerinde kule ölçümlerinin yüzde ve sayı olarak ne kadarının SODAR ölçümleriyle örtüştüğüne yönelik olarak bir yöntem geliştirilmiştir. Buna göre, her bir hız kategorilerinde kule ölçümlerinin SODAR ortalamalarından artı/eksi bir standart sapma farklarına kadar olan kule ölçümleri sayısı ve bu sayının toplam gözlem sayısına oranı hesap edilmiştir. Zayıf rüzgâr kategorisinde ise bir standart sapma farkı yerine ½ standart sapma farkı değerlendirmeye alınmıştır. Tablo 1, bu yöntemin çıktılarını özetlemektedir. SODAR 30 m (60 m) veri setinde KAT1, KAT2 ve KAT3 altında toplamda sırasıyla 1800, 8107 ve 3299 (1272, 7063 ve 5269) veri bulunmakta olup her bir kategoriye karşılık kule gözlem sayıları 30 m (60 m) için sırasıyla 1524, 7420 ve 4262 (881, 6610 ve 6113) şeklinde gerçekleşmiştir. Yine SODAR verilerinin ortalama değerleri ve standart sapmaları her bir kategori ve yükseklik (30 m ve 60 m) için hesaplanmıştır.



Şekil 5: Kule-SODAR rüzgar şiddeti dağılım grafiği ve regresyon eşitliği: a) 30 m ve b) 60 m seviyesi. R, lineer Pearson Korelasyon katsayısı

Kule gözlemlerinin, hesaplanan SODAR ortalamalarından bir standart sapma (zayıf kategorisi için  $\frac{1}{2}$ ) kadar alt ve üst limitleri dahilinde gerçekleşme sayıları ve yüzdeleri hesaplanmıştır. Buna göre, 30 m'de zayıf kategorisinde kule gözlemlerinin +-  $\frac{1}{2}\sigma$  ile yaklaşık %45'i, orta kategorisinde +-  $\sigma$  aralığında yaklaşık %57'si ve kuvvetli kategorisinde +-  $\sigma$  aralığında yaklaşık %66'sı SODAR verileriyle örtüşmektedir. Bu değerler, 60 m yükseklik verileri için sırasıyla %44, %60 ve %62 şeklinde gerçekleşmiştir.

Tablo 1: SODAR ve kuleye ait 30 m ve 60 m'deki ölçümlerin ilk %25 (1. Çeyrek), %50 (2. Çeyrek) ve %75 (3. Çeyrek) değerleri (medyan değerler), minimum ve maksimumlarla birlikte verilmiştir. Zayıf, orta ve kuvvetli rüzgar sınıflandırması altında, 30 m ve 60 m Sodar ölçümlerinin kule ölçümleriyle karşılaştırılması. N: Her bir kategori altında SODAR ölçüm sayısı;  $\bar{x}$ : ortalama değer;  $x_{altlim}$ :  $\bar{x}$ - $\sigma$ ;  $x_{üstlim}$ :  $\bar{x}$ + $\sigma$ ;  $\sigma$ : standart sapma; M: Her bir kategori altında kule ölçüm sayısı;  $M_{zone}$ :  $x_{altlim}$  ile  $x_{üstlim}$  arasında kalan kule ölçüm sayısı; %  $M_{zone}$ :  $M_{zone}$  'nun yüzde ifadesi. Zayıf kategorisi için  $M_{zone}$  ve % $M_{zone}$  hesaplamalarında  $\pm \sigma$  yerine  $\pm \sigma/2$  kullanılmıştır.

		SODAR	KULE	KULE (30 m)						
KATEGORİ	Min	Max	1.Çey	2.Çey	3.Çey	Min	Max	1. Çey	2.Çey	3.Çey
Zayıf (1)	0.04	2.0	0.92	1.30	1.68	1.0	2.0	1.26	1.52	1.75
Orta (2)	2.01	6.0	3.32	4.28	5.13	2.0	6.0	3.15	4.14	5.06
Kuvvetli (3)	6.01	14.49	6.49	7.10	7.96	6.0	15.77	6.58	7.32	8.34
	KULE 60 m									
Zayıf (1)	0.11	2.0	0.93	1.34	1.72	1.0	2.0	1.28	1.56	1.79

Orta (2)	2.01	6.0	3.32	4.25	5.20	2.0 €	5.0 3.24	4.21 5.08
Kuvvetli (3)	6.01	13.33	6.61	7.38	8.48	6.0 1	18.64 6.82	7.73 8.99
		SODAF	KULE (30	) m)				
KATEGORİ	N	$\bar{x}$	Xaltlim	Xüstlim	σ	М	M M <sub>zone</sub>	
Zayıf (1)	1800	1,26	1,03	1,50	0,47	1524	697	45,7
Orta (2)	8107	4,19	3,09	5,29	1,10	7420	4254	57,3
Kuvvetli (3)	3299	7,35	6,25	8,45	1,10	4262	2809	65,9
		SODAF	KULE (60	) m)				
Zayıf (1)	1272	1,29	1,05	1,53	0,47	881	389	44,2
Orta (2)	7063	4,2	3,07	5,33	1,13	6610	3951	59,8
Kuvvetli (3)	5269	7,65	6,38	8,92	1,27	6113	3816	62,4

# 5. SODAR VERİ EKSİKLİĞİNİN GİDERİLMESİ

SODAR cihazından kaynaklı yaşanan bazı teknik problemler, olumsuz çevresel ve atmosfer koşulları bazı gün ve zaman aralıklarında ölçüm eksikliklerine neden olabilmektedir. Eksik verilerin telafisi amacıyla Mayıs ayı verileri kullanılarak tek değişkenli ve iki-değişkenli lineer regresyon modelleri kurulmuş ve Temmuz ayında kurgusal olarak eksik bırakılan 60 m ve 90 m seviyeleri için sanal SODAR verileri üretilip test edilmiştir.

SODAR ölçümlerine ait Mayıs ayı *h*<sub>1</sub> seviyesi (30 m) (Şekil 1) verileri bağımsız ve *h*<sub>2</sub> verileri (60 m) bağımlı değişken olarak seçildiği tek-değişkenli regresyon modeli ve yine SODAR ölçümlerine ait Mayıs *h*<sub>1</sub> ve *h*<sub>3</sub> verilerinin (30 m ve 90 m) bağımsız değişkenler ve *h*<sub>2</sub> verilerinin (60 m) bağımlı değişken olduğu iki-değişkenli regresyon modeli oluşturulmuştur. Temmuz ayı için her iki model kullanılarak *h*<sub>2</sub> seviyesi (60 m) sanal SODAR verileri üretilmiştir. Sonuçlar Şekil 6'da gösterilmektedir. İki-seviye (iki değişkenli) lineer regresyon modeli tarafından üretilen sanal SODAR verilerinin tek-seviye (bir değişkenli) modele göre daha doğru veriler üreteceği hipotezi test edilmiştir. Benzer yaklaşımla, 90 m seviyesinde sanal SODAR verileri 1) sadece 60 m SODAR gözlemleri ve 2) hem 60 m ve hem de 30 m SODAR gözlemleri kullanılarak lineer regresyon modellerinin her iki durumda da yeteri doğrulukta veri üretip üretmediği test edilmiştir. Gerek SODAR 60 m verileri gerekse SODAR 90 m verilerinin üretilmesinde regresyon modelleri, Mayıs ayı SODAR verileriyle oluşturulmuş ve Temmuz ayı verileriyle test edilmiştir (Şekil 6). Ayrıca, SODAR 60 m ve 90 m yüksekliklerindeki eksik verilerin kule gözlemleri kullanılarak telafisi amacıyla benzer yaklaşım uygulanmıştır (Şekil 7).

Şekil 6a (Şekil 6d), Mayıs ayına ait SODAR 30 m ve 60 m verileri (60 m ve 90 m) arasındaki kuvvetli ilişkiyi göstermektedir. Seviyeler arasında korelasyon değerleri 30m-60m için (Şekil 6a)

0.95 ve 60m-90m icin (Sekil 6d) 0.98 olarak hesaplanmıştır. Farkların karelerinin ortalamaları (RMSE), 30m-60m için 1.04 iken 60m-90m ilişkisinde bu değerin daha da azalarak 0.67'e düştüğü görülmektedir. Her iki durum için de seviyeler arasındaki verilerin birbirleriyle ilişkisinin çok kuvvetli olduğu, görece olarak 60m-90m arası veriler arasında ilişkinin daha da kuvvetli olduğu tespit edilmiştir. Temmuz ayı için 60 m Sanal SODAR verilerinin tek-seviyenin ve iki-seviyenin dikkate alınarak üretildiği verilerle Temmuz SODAR gözlemleri arasındaki ilişki derecesi Şekil 6b ve 6c'de gösterilmektedir. Sadece 30 m SODAR verilerinin kullanıldığı durumda üretilen 60m sanal SODAR verileriyle gerçek (gözlenen) SODAR verileri arasında çok güçlü bir ilişkinin olduğu, hataların cok düsük kaldığı görülebilmektedir (R=0.97, RMSE=0.5). İki-seviye (30 m ve 90 m) verilerinin değerlendirmeye alınması durumunda ilişkinin daha da arttığı ve sanal SODAR ile gözlenen SODAR arasında farkların daha da düstüğü gözlenmistir (R=0.99 ve RMSE=0.2). SODAR 90 m sanal verilerin üretilmesine gelindiğinde (Sekil 6 e,f) tek-seviye bağımlı değişkeni (60 m verileri) ile üretilen 90 m sanal SODAR verilerinin gözlenen SODAR verileriyle arasındaki ilişkinin çok kuvvetli olduğu ve farkların çok küçük olduğu görülmektedir (R=0.99, RMSE=0.36). Söz konusu ilişki, iki-seviye (60 m ve 30 m) verileri kullanılması durumunda daha da kuvvetlendiği ve farkların daha da düştüğü tespit edilmiştir (R=0.99, RMSE=0.29).



Şekil 6: Eksik SODAR verilerinin mevcut SODAR verileri kullanılarak üretilmesi. a-c) 60 m ve d-f) 90 m ölçüm seviyeleri için üretilmiş (SANAL) SODAR verileriyle gerçek SODAR verileri arasındaki ilişki.
Eksik SODAR verilerinin giderilmesinde kule gözlemlerinin kullanılabilirliği, ne ölçüde etkili olduğu ve lineer regresyon modellerinin başarılı olup olmadığı da ayrıca test edilmiştir. SODAR 30 m ve 60 m seviyelerinde eksik verilerin giderilmesinde en yakın kule yükseklik verileri değerlendirmeye alınmıştır. Şekil 7a ve 7c, 30 m ve 60 m yüksekliklerine karşılık gelen SODAR ve kule verileri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Buna göre 30 m ve 60 m için korelasyon değerleri sırasıyla 0.60 ve 0.63 olmuştur. Her iki veri seti arasındaki farklar (RMSE) yaklaşık 1.9-2.0 civarında oluşmuştur. Mayıs ayı kule verileri regresyon modelleri için oluşturulduktan sonra Temmuz ayı için sanal SODAR verileri üretilmiş ve gerçek (gözlenen) SODAR verileriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 7b ve 7d). Sanal SODAR verilerinin gözlenen verilerle ilişkisi derecesi yaklaşık 0.75-0.78 civarında gerçekleşmiş, farkların (RMSE) ise 1.3-1.4 civarında olduğu görülmüştür.

#### 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada SODAR performansının belirlenmesinde önemli kriterlerden biri ölçüm sayısı ve bunların yükseklikle değişimidir. SODAR'ın çalıştığı günler dikkate alındığında elde edilen ölçüm



Şekil 7: Kule ölçümleri kullanılarak eksik SODAR verilerinin üretimi. a-b) 30 m ve c-d) 60 m'deki kule ölçümleri kullanılarak oluşturulan üretilmiş SODAR (SANAL) verileri ile gerçek SODAR verileri arasındaki ilişki.

sayılarının olabilecek maksimum (teorik) veri sayısına oranının yaklaşık %47 olduğu görülmüştür. 350 m - 600 m seviyelerinde verilerin çok az olması performans açısında olumsuz olarak değerlendirilse de SODAR cihazı, 100 m - 300 m seviyelerinde %50 oranında ve 30 m - 90 m seviyelerinde %100'e yakın oranda veri temin etmiş ve söz konusu seviyeler için orta ve yüksek performans göstermiştir. Bu da SODAR cihazının hava kalitesi, rüzgâr enerjisi gibi çalışmalarda kıymetli bir veri kaynağı olabileceğini göstermektedir. Atmosfer ve hava kalitesi modellerine

SODAR verilerinin asimilasyonu, model tahminlerinde önemli bir ivilestirme potansiveli sunmaktadır. Dört aylık ölçüm periyodunda 300 m ve altı yüksekliklerde her 20 dakikada bir rüzgâr profilinin mevcut olması verilerin saatlik veya 30 dakikalık aralıklarla modellere asimilasyonuna imkân vermektedir. Yer ile Atmosfer Sınır Tabakası (AST) arasında gerçekleşen ısı ve momentum transferi, türbülans şiddeti ve karakteristiği gibi fiziksel ve dinamik süreçlerin gün boyunca nasıl değiştiğine yönelik fiziksel süreclerin daha iyi anlaşılmaşı noktaşında SODAR (ve benzeri) cihazlar, çok kıymetli veri kaynağı olarak değerlendirilmelidir. SODAR tarafından gözlenen verilerin doğruluğu konusu ayrıca üzerinde detaylı bir şekilde çalışılması gereken bir araştırma konusu olmakla birlikte bu calısmada ikinci bir kriter olarak SODAR cihazının yakınında konuslu kule verileriyle olan uyum ve benzeşimi olmuştur. Aynı veya yaklaşık yükseklik seviyelerine karşılık gelen rüzgâr siddeti verileri karsılastırılmış, ortalama, standart sapma ve medyan değerlerinin birbirlerine yakın olduğu gösterilmiştir. Veri setleri arasındaki benzeşim veya yakınlık, farklı rüzgâr şiddeti kategorileri altında da incelenmiş olup veri setleri arasında iyiye yakın bir uyumun olduğu gösterilmiştir. Orta (kuvvetli) rüzgar kategorisinde 30 m yüksekliği için SODAR ortalamalarının bir standart sapma aşağı ve yukarı değer aralığına düşen kule ölçümlerinin aynı kategorideki toplam kule verilerine olan oranının %57 (%66) mertebelerinde olduğu, bu değerin 60 m yükseklik için %60 (%62) olduğu gösterilmiştir. Daha farklı bir şekilde söylenecek olursa, kule ölçümlerinin yaklaşık %60'ı SODAR ölçümlerinin bir standart sapma aralığında gerçekleşmiştir. İki veri seti arasındaki görece kuvvetli iliski regresyon analizlerinden elde edilen 0.70 civarındaki korelasyon değerlerinden de anlaşılabilmektedir. Son olarak, olası SODAR veri setlerindeki eksik verilerin giderilmesinde farklı yüksekliklerdeki SODAR verilerinin veya kule verilerinin kullanılmasının geçerliliği test edilmiştir. Basit tek ve iki değişkenli regresyon modelleri kurularak oluşturulan sanal SODAR verilerinin aynı zaman içinde gerçekleşen SODAR gözlemleriyle karşılaştırmaları yapılmıştır. SODAR verilerinin kullanılması sonucu oluşturulan sanal SODAR verilerinin gerçek SODAR verileriyle cok yüksek korelasyona sahip olduğu gösterilmiştir. Buna ek olarak, kule ölçümleri kullanılarak oluşturulan sanal SODAR verileri ile gerçek SODAR verileri arasında iyiye yakın bir korelasyonun sağlandığı görülmüştür.

#### KAYNAKLAR

[1] Sezen, I, E. T. Ozdemir, A. Deniz, Sodar Verilerinin İstatistiksel İncelenmesi, II. Meteorolojik Uzaktn Algılama Sempozyumu, 201-222, 2015

[2] Draxler, R. R., The Use of Global and Mesoscale Meteorological Model Data to Predict the Transport and Dispersion of Tracer Plumes over Washington, D.C., Weather and Forecasting, 383-394, 2006.

[3] Regmi, R. P., T. Kitada ve G. Kurata, Numerical Simulation of Late Wintertime Local Flows in Kathmandu Valley, Nepal: Implication for Air Pollution Transport, J. Appl. Meteo., 389-403, 2003.

[4] Schafer, K., S. Emeis, H. Hoffmann ve C. Jahn, Influence of mixing layer height upon air pollution in urban and sub-urban areas, Meteorl. Z. 647-658, 2006

[5] Gera, B. S., D. R. Pahwa, N. Saxena ve G. Singh, Sodar in Dispersion Modeling, Journal of Applied Meteorology, 1632-1636, 1996

[6] Melas, D., G. Abbate, D. Haralampopoulos, A. Kelesidis, Estimation of Meteorological Parameters for Air Quality Management: Coupling of Sodar Data with Simple Numerical Models, Journal of Applied Meteorology, 509-, 515, 2000

[7] Wilczak, J. M., W. F. Dabberdt ve R. A. Kropfli, Observations and Numerical Model Simulations of the Atmospheric Boundary Layer in the Santa Barbara Coastal Region, Journal of Applied Meteorology, 652-673, 1991

[8] Barthelmie, R. J., L. Folkerts, F. T. Ormel, P. Sanderhoff, P. J. Eecen, O. Stobbe ve N. M. Nielsen, Offshore Wind Turbine Wakes Measured by Sodar, Journal of Atmos. Oceanic Tech., 466-477, 2003

[9] Baumann K. ve M. Piringer, Two-Years of Boundary Layer Measurements with a Sodar – Statistics and Applications, Phys. Chem. Earth (B), 205-211, 2001

[10] Lokoshcenko, M. A., Long-Term Sodar Observations in Moscow and a New Approach to Potential Mixing Determination by Radiosonde Data, J. Atmos. Oceanic Tech., 1151-1162, 2002

[11] Crescenti, G. H., A look Back on Two Decades of Doppler Sodar Comparison Studies, BAMS, 651-673, 1997

[12] Kumar, M. S., V. K. Anandan, A. Kesarkar ve P. N. Reddy, Doppler SODAR Observations of the temperature structure parameter during monsoon season over a tropical rural station, Gadanki, J. Earth Syst. Sci, 65-72, 2011

[13] Kumar, M. S. ve V. K. Anandan, Comparision of the NCEP/NCAR Reanalysis II winds with those observed over a complex terrain in lower atmospheric boundary layer, GRL, 1-4, 2009

[14] Stull, R. B. ve E. W. Eloranta, Boundary Layer Experiment-1983, BAMS, 450-456, 1984

[15] Umeda, T. ve P. T. Martien, Evaluation of a Data Assimilation Technique for a Mesoscale Meteorological Model Used for Air Quality Modeling, J. Applied Meteor., 12-29, 2002

# Türkiye'de Uydu Ölçümlerinden Elde Edilen Toprak Nem İçeriği Verilerinin Değerlendirilmesi

#### Hüseyin İlhan

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 3. Bölge Müdürlüğü Yenişehir Meydan Meteoroloji Müdürlüğü Bursa hilhan@mgm.gov.tr

Hasan Hüseyin Kayan Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 3. Bölge Müdürlüğü Yenişehir Meydan Meteoroloji Müdürlüğü Bursa hhkayan@mgm.gov.tr

## ÖZET

Toprak yüzeyinden 2 m bitki kök derinliğine kadar olan toprak nem içeriği ölçümleri, tarımsal çalışmalarda, kuraklık analizinde, taşkın erken uyarı tahminlerinin hazırlanmasında önemli bir yere sahiptir. Uydu ölçüm verileri tabanlı NASA'nın karasal veri asimilasyon sistemleri ve simülasyon modellerinden yararlanarak Türkiye'de 1982-2023 dönemi toprak nem içeriği değerlendirmesi yapılmıştır. Genel olarak; son yıllarda toprak nem içeriğinin azaldığı, bu azalmanın yüzeyden derine doğru artış gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler — toprak nem içeriği; uydu; kuraklık; taşkın; NASA

## 1. GİRİŞ

Toprak nem içeriği veya toprak su içeriği, genel anlamda kuru toprağın birim kütle başına içerdiği su kütlesi veya birim hacmi başına içerdiği su hacmi olarak tanımlanmaktadır. Toprak nem içeriği, tarımsal sulama uygulamalarında, kuraklık gözlemlerinde, taşkın tahminlerinde, orman yangını tahminlerinde ve su kaynaklarının etkin kullanımı gibi alanlarda önemli bir yere sahiptir.

Türkiye; Anadolu Yakası, Güneydoğu Avrupa ve Asya'yı birbirine bağlayan büyük, kabaca dikdörtgen bir yarımadadır. Toprakları 36–42° Kuzey enlemleri ve 26–45° Doğu boylamları arasında yer alır [1]. Akdeniz, Karadeniz ve karasal iklimin görüldüğü Türkiye toprakları doğal bitki örtüsü bakımından da zenginlik gösterir. Ortalama yüksekliği 1131 m olan ülke, zengin tarım ve orman arazilerine sahiptir.

Bu çalışma ile ülke genelinde tarımsal faaliyetlerde, taşkın kontrol ve erken uyarı sistemlerinde, orman yangınları bakımından risk haritalarının oluşturulmasında büyük öneme sahip uydu verilerine dayalı modellerle belirlenmiş toprak nem içeriğinin değerlendirilmesine çalışılmıştır.

# 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Toprak nem içeriği bilgileri için "Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET) ve Land Data Assimilation System" kısaltması olan ve 0,1° çözünürlükte veri üreten FLDAS modelinden yararlanılmıştır [2,3].

FLDAS'ın amacı, FEWS NET karar desteği için kullanılan yüksek kaliteli arazi yüzeyi durumları ve akış alanları oluşturmak için gözlemsel veri kümelerini ve gelişmiş modelleme ve veri asimilasyon yöntemlerini kullanmaktır. FLDAS sistemleri, veri kıtlığı olan, gelişmekte olan ülkelerde gıda güvenliği değerlendirmesiyle ilişkili alanlar, veri akışları ve izleme ve tahmin gereksinimleriyle çalışacak şekilde uyarlanmış NASA (LIS: Land Information System) Arazi Bilgi Sisteminin özel örnekleridir. Şekil 1'de FLDAS modelinin çalışma prensibi [2], Şekil 2'de ise çalışma alanı olan Türkiye yükseklik haritası [4] olarak gösterilmiştir.



Şekil 1: FLDAS modelinin çalışma prensibi



## **3. SONUÇLAR**

## 3.1. Ortalama Toprak Nem İçeriğinin Çeşitli Derinliklerde Uzamsal Değerlendirilmesi

Uzun yıllar (1982-2023) toprak nemi ortalamalarına bakıldığında 00-10 cm toprak profilinde toprak su içeriğinin Doğu Karadeniz bölgesinde en yüksek, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadoluda en düşük olduğu görülmektedir (Şekil 3).



- Selected date range was 1982-Jan - 2023-Sep. Title reflects the date range of the granules that went into making this result. *Şekil 3: 00-10 cm toprak nem içeriği haritası* 

6. Diğer derinliklerdeki toprak nem içerikleri 10-40 cm, 40-100 cm, ve 100-200 cm için Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6'da gösterilmiştir. Haritalar incelendiğinde genel olarak Doğu Karadeniz bölgesinde en yüksek, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde en düşük seviyede olduğu anlaşılmaktadır.



Time Averaged Map of Soil moisture content (10 - 40 cm underground) monthly 0.1 deg. [FLDAS Model FLDAS\_NOAH01\_C\_GL\_M v001] m^3 m-3 over 1982-01-01 00:00:00Z - 2023-10-01 00:00:00Z, Shape Turkey

- Selected date range was 1982-Jan - 2023-Sep. Title reflects the date range of the granules that went into making this result.

Şekil 4: 10-40 cm toprak nem içeriği haritası



Time Averaged Map of Soil moisture content (40 - 100 cm underground) monthly 0.1 deg. [FLDAS Model FLDAS\_NOAH01\_C\_GL\_M v001] m^3 m-3 over 1982-01-01 00:00:00Z - 2023-10-01 00:00:00Z, Shape Turkey

- Selected date range was 1982-Jan - 2023-Sep. Title reflects the date range of the granules that went into making this result.

Şekil 5: 40-100 cm toprak nem içeriği haritası



Time Averaged Map of Soil moisture content (100 - 200 cm underground) monthly 0.1 deg. [FLDAS Model FLDAS\_NOAH01\_C\_GL\_M v001] m^3 m-3 over 1982-01-01 00:00:00Z - 2023-10-01 00:00:00Z, Shape Turkey

- Selected date range was 1982-Jan - 2023-Sep. Title reflects the date range of the granules that went into making this result.

Şekil 6: 100-200 cm toprak nem içeriği haritası

## 3.2. Toprak Nem İçeriklerinin Uzun Yıllara Göre Anomilerinin Değerlendirilmesi

Model ile üretilen 1982-2023 arası verilerin ortalamalarına göre son 10 yıla ait (2011-2020) ortalamalar karşılaştırılmış ve ortalamadan sapmaları incelenmiştir. Buna göre 00-10 cm derinlikte ülke genelinde sapmalar Şekil 7'de gösterilmiştir. Genel olarak aylık olarak 1,3 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> ün altında sapmalar gözlemlenmiş olup, önemli bir bölümde ise 0'a yakın ve 0'ın altında değerler görülmektedir.



- Selected date range was 2011-Jan - 2020-Dec. Title reflects the date range of the granules that went into making this result. *Şekil 7: 00-10 cm toprak nem içeriği anomali haritası (2011-2020)* 

Şekil 8'de ise 10-40 cm derinlikte toprak nem içeriği anomalilerine bakıldığında ise toprak nem içeriği bakımından azalma yönünde sapmaların artış gösterdiği, bazı bölgelerde 1,8 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>'den daha fazla sapmaların olduğu belirlenmiştir.

Time Averaged Map of Anomaly of Soil moisture content (10 - 40 cm underground) monthly 0.1 deg. [FLDAS Model FLDAS\_NOAH01\_C\_GL\_MA v001] m^3 m-3 over 2011-01-01 00:00:00Z - 2021-01-01 00:00:00Z, Shape Turkey



- Selected date range was 2011-Jan - 2020-Dec. Title reflects the date range of the granules that went into making this result. *Şekil 8: 10-40 cm toprak nem içeriği anomali haritası (2011-2020)* 

Bir sonraki 40-100 cm derinlikte toprak nemi içeriğini gösteren haritada ise bazı bölgelerde toprak nem içeriklerinde artış olmasına rağmen önemli bir bölgede ise azalış görülmektedir (Şekil 9).



- Selected date range was 2011-Jan - 2020-Dec. Title reflects the date range of the granules that went into making this result. *Şekil 9: 40-100 cm toprak nem içeriği anomali haritası (2011-2020)* 

Şekil 10'da 100-200 cm toprak profili nem içeriği haritası görülmektedir. Ülke genelinde son 10 (2011-2020) yıllık dönemde toprak nem içeriklerinde uzun yıllara göre daha geniş alanlarda azalma olduğu gözlemlenmekte olup daha küçük bölgelerde ise artışlar görülmektedir.

Time Averaged Map of Anomaly of Soil moisture content (100 - 200 cm underground) monthly 0.1 deg. [FLDAS Model FLDAS\_NOAH01\_C\_GL\_MA v001] m^3 m-3 over 2011-01-01 00:00:00Z - 2021-01-01 00:00:00Z, Shape Turkey



- Selected date range was 2011-Jan - 2020-Dec. Title reflects the date range of the granules that went into making this result. *Şekil10: 100-200 cm toprak nem içeriği anomali haritası (2011-2020)* 

# 4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışma ile 1982-2023 yılları arası Türkiye'de 00-10 cm, 10-40 cm, 40-100 cm, 100-200 cm derinliklerde toprak nem içerikleri uydu verilerine dayalı FLDAS modeli ile elde edilip 0,1° çözünürlüklü haritalar üzerinde gösterilmiştir. Toprak nem içeriğinin yüksek olduğu bölgelerde ve zamanlarda toprağın infiltrasyon hızı düşeceği için kuvvetli yağışlarda taşkın ve sel olma ihtimali artmaktadır. Özellikle doygun durumdaki bölgeler taşkın tahmini ve risk haritası çıkarılırken göz önünde tutulmalıdır.

Toprak nem içeriğinin düşük olduğu bölgelerde ise kuraklık riski artacak, tarımsal açıdan ise sulama gereksinimi artacaktır. Yine toprak nem içeriğinin düşük olduğu bölgelerde orman yangını riski de artacaktır.

Sonuç olarak uydu verileri ve yer veri asimilasyonuna dayalı modeller ile çeşitli derinliklerde toprak nem içerikleri saatlik, günlük ve aylık olarak belirlenebilmektedir. Bu çalışmada aylık veriler üzerinde durulmuştur. Elde edilen verilerin tarımsal faaliyetlerde, sel ve taşkın tahminlerinde, orman yangını tahminlerinde ve risk haritası oluşturulmasında kullanılması yerinde olacaktır. Bir sonraki çalışmada saatlik ve günlük verilerle daha ayrıntılı haritaların çıkarılması ve değerlendirilmesi yararlı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] https://tr.wikipedia.org, Türkiye Coğrafyası, Son Kontrol: 01.11.2023
- [2] FLDAS: Project Goals. https://ldas.gsfc.nasa.gov/index.php/fldas. Son Kontrol: 03.11.2023
- [3] Land Data Assimilation System (LDAS) https://ldas.gsfc.nasa.gov/FLDAS/ Son Kontrol: 03.11.2023
- [4] https://maps-turkey.com/maps-turkey-geography/turkey-elevation-map, Son Kontrol: 30.10.2023

# Radar Ürünleri Kullanarak Yağış Miktarının Belirlenmesinde Makine Öğrenimi Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

#### Hüseyin BULUT

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yazılım Geliştirme Şube Müdürlüğü Ankara hbulut@mgm.gov.tr

#### Volkan Cemalettin DARENDE

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yazılım Geliştirme Şube Müdürlüğü Ankara vdarende@mgm.gov.tr

#### İlker ALAN

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanlığı Ankara ialan@mgm.gov.tr

### Alper TÜFEK

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yazılım Geliştirme Şube Müdürlüğü Ankara atufek@mgm.gov.tr

#### Şemsettin KAYA

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yazılım Geliştirme Şube Müdürlüğü Ankara skaya@mgm.gov.tr

# ÖZET

Atmosferik olayların izlenmesi ve tahmin edilmesi özellikle kısa zaman aralığında ve yerel olarak geliştiklerinde oldukça zordur. Meteorolojik gözlem sistemleri ne kadar gelişmiş olsa da kurulum ve işletim maliyeti göz önüne alındığında istenen her noktanın gözlem değerlerini elde etmek oldukça zordur. Yağış verisinin doğruluğu, değişen iklim koşulları ve son yıllarda artan şiddetli hava olayları sebebiyle hayati önem taşımaktadır. Deterministik hava tahmini modelleri herhangi bir bölgede oluşabilecek yağış miktarı hakkında genel bir öngörüde bulunsa da, yerelde ve kısa sürede daha yıkıcı sonuçlarla karşılaşılabilmektedir. Bu çalışma, radar ürünleri kullanarak yağış ölçümü yapılamayan yerlerin saatlik yağış miktarını belirlemede makine öğrenimi yöntemlerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, İstanbul meteoroloji radarına ait PPI ürünlerinin 2022 yılı çıktıları ile belirlenen 30x30 km<sup>2</sup>'lik çalışma alanı içinde yer alan 11 adet meteoroloji gözlem istasyonunun saatlik yağış verileri kullanılmıştır. Bu kapsamda Python makine öğrenimi kütüphanelerinden faydalanılarak, son yıllarda araştırmacılar tarafından kullanılan en popüler denetimli topluluk öğrenimi yöntemlerinden Gradient-Boosted Trees ve Random Forests'in yağış miktarını belirlemedeki başarıları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; Gradient-Boosted Trees ve Random Forests metodları yağış miktarını belirlemede birbirine yakın sonuçlar vermekle birlikte Random Forests yönteminin daha başarılı olduğu görülmüştür. Çalışmanın kapsamının genişletilerek farklı coğrafi bölgelerde ve daha fazla veri ile yürütülmesi; yağış verisine ihtiyaç duyulan ve ölçümü yapılamayan yerler için oluşturulacak karar destek sistemlerine katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler – Yağış; radar ppi ürünleri; makine öğrenimi yöntemleri.

### 1. GİRİŞ

Radarlar meteoroloji alanında ilk kez 1950'li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır [1]. Radarların meteoroloji alanında kullanılmasıyla birlikte şiddetli yağışların önceden tespit edilebilmesinde büyük ilerleme kaydedilmiştir. Meteorolojik radarların uzaktan algılama sistemleri içindeki önemi pek çok çalışmada ortaya konmuştur. Meteorolojik hedefin konumunu, hızını, hareket yönünü belirlemenin yanında meteorolojik hadisenin tipini, şiddetini ve miktarını tespit etmede meteorolojik radarlar aktif rol oynamaktadır. Ülkemizde de meteorolojik radar ağı 2000'li yıllardan itibaren kurulmaya başlanmış, kısa vadeli hava tahmini (nowcasting), erken uyarı sistemleri ve birçok çalışma için veriler üretilmektedir [2]. Meteorolojik radarlar geniş ölçekteki yüksek çözünürlüklü meteorolojik gözlemlerin yapılabilmesi, nereye, ne zaman ve ne kadar yağış düşeceğine ilişkin bilgiler sağlamaktadır. Bunun yanında radarlar kuvvetli meteorolojik hadiselerin izlenmesi ve bu hadiseler sonucu oluşan doğal afetlerin sebep olduğu mal ve can kayıplarının azaltılması için bu afetler öncesinde tahmin ve erken uyarıların hazırlanmasına katkı sağlamaktadır.

Meteorolojik radarlar yağışı direkt olarak ölçmemektedir. Radar kapsama alanı içerisindeki herhangi bir noktaya düşen yağış miktarı veya belirli bir zaman aralığında gerçekleşen toplam yağış miktarı, ölçülen reflektivite parametresinden deneye dayalı bağıntılar vasıtasıyla hesaplanabilmektedir [3]. Radar teknolojisinde, performans ve sistem gereksinimleri göz önüne alındığında tercih edilen yöntem ve yaklaşımlar farklılık göstermektedir. Doppler etkisini referans

alarak geliştirilen radarlar doppler radarı olarak isimlendirilirler. Doppler etkisi, herhangi bir dalga üreteci nesnenin hareket etmesi sonucu algılanan frekans ile gerçek frekans arasındaki oluşan sapmadır. Bu sapmanın ölçülmesi sonucunda nesnenin hızı hesaplanmaktadır. Doppler etkisinden faydalanılarak geliştirilen doppler radarları, nesne konumu tespiti yapmasının yanında tespit edilen nesnenin hızını da hesaplamaktadır[4]. Ülkemizde de tercih edilen doppler radarlar ve bilgisayar teknolojisi yardımıyla hem hedefin konumu hem de eko yoğunluğunu renkli olarak görüntülemek mümkün olmaktadır. Doppler radarlarda bu yoğunluk seviyeleri yağış analizinde büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Ülkemiz sel ve taşkınlar açısından risk oranı oldukça yüksek olan bölgeler barındırmaktadır. Bunun temel sebebi bu bölgelerin topoğrafik yapısıdır. Üstelik bu bölgelerin fazlalığı, kurulum ve işletme maliyetleri de göz önüne alındığında her bölgede meteoroloji gözlem istasyonu bulunmamaktadır. Sel ve taşkınlar açısından riskli bölgelere düşecek yağış miktarının tespit edilebilmesi oldukça önem arz etmektedir. Dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi ülkemizde de bu yağışlar sonucunda oluşabilecek olayları önceden tahmin edebilecek erken uyarı sistemlerini geliştirmek amacıyla meteoroloji radarları kullanılmaktadır. Meteorolojik radarların genel kullanım amacı günlük hayata yönelik kısa vadeli hava tahmin ve uyarı sistemlerine katkı sağlamak olsa da elde edilen radar ürünlerine ait veriler çeşitli çalışmalarda girdi olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışma, radar ürünleri kullanarak yağış ölçümü yapılamayan yerlerin veya yağış verisi eksik meteoroloji gözlem istasyonlarının yağış verisini tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada Gradient-Boosted Trees ve Random Forests makine öğrenimi yöntemlerinin yağış miktarını belirlemedeki başarıları değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM



## 2.1. Çalışma Alanı

Şekil 26: Çalışma Alanı 443

Çalışma alanı olarak İstanbul boğazı çevresindeki merkez ilçeler ile ve Avrupa yakasının kuzey ilçelerini içeren 30x30 km<sup>2</sup>'lik bir bölge seçilmiştir. Çalışma alanı 1x1 km'lik gridlere bölünmüştür (Şekil 1).

# 2.2. Yağış Verisi

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Eğitim İst.	Test İst.
17059	Sarıyer/Kumköy-Kilyos	41,2505	29,0384	*	
17061	Sarıyer	41,1464	29,0502	*	
17603	Fatih/İst.Den.Bil.Ens.	41,0155	28,9601	*	
17814	Güngören/Davutpaşa	41,0266	28,8853	*	
18101	Eyüp	41,1028	28,9242	*	
18396	Beykoz	41,1417	29,0739	*	
18401	Şişli	41,0547	28,9683		*
18402	Arnavutköy	41,2203	28,7075		*
18404	Üsküdar	41,0328	29,0464		*
18980	Sarıyer/İtü Maslak	41,0999	29,0251	*	

# Tablo 1: Çalışmada kullanılan eğitim ve test istasyonları

Belirlenen 30x30 km<sup>2</sup>'lik çalışma alanı içinde yer alan 11 adet meteoroloji gözlem istasyonunun saatlik yağış verileri kullanılmıştır (Tablo 1).



# 2.3. Radar Verisi

Şekil 27: İstanbul Radarı Kapsama Alanı

İstanbul meteoroloji radarına ait PPI ürünlerinin 2022 yılı verileri kullanılmıştır (Şekil 2). Radar verileri 6 dakikalık periyotlarda olmak üzere her saat için 10 adet üretilmiştir. Eğitim verisi için 10

adet veri seti bulunan saatler belirlenmiş ve bu saatler içindeki her radar ürünü için bölünmüş gridlere ait en yüksek ve en düşük dBz değerleri oluşturulmuştur.

## 2.4. Makine Öğrenimi Yöntemleri

Bu çalışmada Python makine öğrenimi kütüphanelerinden faydalanılmış ve en popüler denetimli topluluk öğrenimi yöntemlerinden Gradient-Boosted Trees (GBT) ve Random Forests (RF) tercih edilmiştir.

#### 2.4.1. Gradient-Boosted Trees (GBT)

Gradyan artırmalı ağaç yaklaşımı, 1999 yılında Friedman tarafından geliştirilmiştir. GBT, "Gradient descent" ve "boosting" kelimelerinin bir araya gelmesi ile oluşan bir karar ağacı algoritmasıdır. GBT, aynı zamanda güçlü tahmine dayalı modellerin oluşturulabildiği bir topluluk öğrenme yöntemidir. GBT algoritmaları, bilinen bir dizi bireysel regresyon ağacının birleştirilmesiyle elde edilir. Bu yöntem, modeli diğer artırma yöntemleri gibi aşamalar halinde meydana getirir ancak bu aşamalarda türevlenebilir rastgele bir fonksiyonu optimize ederek genelleştirir (Flores ve Keith, 2019).

#### 2.4.2. Random Forests (RF)

Breiman tarafından 2001 yılında geliştirilen Rastgele Orman modeli, farklı regresyon ağaçlarından oluşan tahmin edicilerin gelişmiş bir birleşimidir. RF birden fazla ağacın tahminini birleştirerek her ağacın kararsızlık sorununu azaltan bir yol izlemektedir (Wang ve ark., 2018). Veri setinden farklı alt kümeler oluşturulmakta ve sonra bu alt kümeler, karar ağacı topluluğundaki her bir karar ağacı tarafından eğitilmektedir. Her bir düğümde rastgele olarak seçilen değişkenler arasından en iyisi kullanılarak her bir düğüm dallara ayrılmaktadır. Her düğümü bölmek için rastgele bir özellik seçimi kullanılarak ağaçlar geliştirilir. Geliştirilen ağaçlar daha fazla bölünme mümkün olmayana kadar büyütülür ve budanmaz (Archer ve Kimes, 2008). RF, sınıflandırma ve regresyon tahminlerinde yüksek performans gösteren bir tahmin modelidir.

#### 2.5. Model Değerlendirmesi

Makine öğrenmesi yöntemlerinin tercih edildiği modelleme çalışmalarında tahmin performanslarının karşılaştırılması için çeşitli model değerlendirme ölçütleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada modellerin performansını değerlendirmek için ortalama kare hata (Mean Square Error-MSE), kök ortalama kare hata (Root Mean Square Error - RMSE) ve R-kare (Predictive Coefficient Of Determination –  $R^2$ ) performans ölçütleri kullanılmıştır. MSE; bir veri kümesindeki tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki ortalama kare farkını ifade eden bir ölçüttür. RMSE ise bir veri kümesindeki tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki ortalama kare farkının

karekökünü ifade eden bir ölçüttür. MSE ve RMSE ne kadar düşükse, model bir veri kümesine o kadar iyi uymaktadır. Bir modelin bir veri kümesine ne kadar uyduğunu değerlendirirken, yanıt değişkeniyle aynı birimlerde ölçüldüğü için RMSE daha sık kullanılır. RMSE, bir makine öğrenmesi modelinin tahmin değeri ile gerçek değerleri arasındaki farkların ölçüsü olup gözlenen değer ile gerçek değer arasındaki sapmayı belirlemek için kullanılır. Değerlendirme yapılırken en düşük RMSE değerine sahip model "en iyi" model olarak seçilir. Çünkü bu model, veri setinden gerçek değerlere en yakın tahminler yapan modeldir. R<sup>2</sup>, bağımsız değişken tarafından açıklanabilen bağımlı değişkendeki varyans oranını belirleyen bir regresyon modeli ölçütüdür.

RMSE, MSE ve R<sup>2</sup>'nin hesaplama formülleri,

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} (y_i - \hat{y}_i)^2}$$
$$MSE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} (y_i - \hat{y}_i)^2$$
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{m} (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^{m} (y_i - \overline{y}_i)^2}$$

dir. Burada *yi*, i zaman noktalarındaki verilerin gerçek değeri, *yî* zaman noktalarındaki verilerin tahmin edilen değeridir ve yi örneklemin ortalama değeridir, m ise örneklemin toplam sayısıdır. Bu çalışmada kullanılan her iki model için de parametre değerleri olarak varsayılan değerler kullanılmıştır. Eğitim veri seti gridlere ait en yüksek ve en düşük radar dBz değerleri ile grid içerisinde bulunan istasyona ait saatlik yağış verisinden oluşmaktadır. Yağış verileri bağımlı, radar verileri ise bağımsız değişkenlerdir.

#### **3.SONUÇLAR**

Gradient-Boosted Trees (GBT) ve Random Forests (RF) denetimli topluluk öğrenimi yöntemlerine ait istatistiki sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

İstasyon No	18401		18402		18404	
Model	GBT	RF	GBT	RF	GBT	RF
MSE	0,173	0,184	0,175	0,166	0,144	0,117
RMSE	0,415	0,428	0,418	0,407	0,379	0,342
<b>R</b> <sup>2</sup>	0,537	0,508	0,528	0,553	0,477	0,509

1. Tablo 2: Kullanılan yöntemlere ait istatistiki sonuçlar

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; Gradient-Boosted Trees ve Random Forests metodları yağış miktarını belirlemede birbirine yakın sonuçlar vermekle birlikte Random Forests yönteminin daha başarılı olduğu görülmüştür.



Şekil 3: Gradient-Boosted Trees (GBT) ve Random Forest (RF) modellerine ait R<sup>2</sup> değerleri

Şekil 3'teki test istasyonlarına ait iki modelin karşılaştırılmasında da görüldüğü üzere R<sup>2</sup> değerleri bakımından her iki model birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Bu durum modellerin performansını değerlendirme açısından daha fazla veriye (çok yıllık yağış ve radar verisi, daha fazla test istasyonu) ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Çalışmanın kapsamının genişletilerek farklı coğrafi bölgelerde ve daha fazla veri (eğim, bakı, alan vb. coğrafi özellikleri içeren) ile yürütülmesi; yağış verisine ihtiyaç duyulan ve ölçümü yapılamayan yerler için oluşturulacak karar destek sistemlerine katkı sağlayacaktır.

#### KAYNAKLAR

- [1] http://www.mgm.gov.tr, Meteoroloji Radarlari, Son Kontrol: 01.11.2023.
- [2] http://www.mgm.gov.tr, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Radar Şebekesi, Son Kontrol: 01.11.2023.
- [3] http://www.mgm.gov.tr, *Meteorolojik Radarların Kullanım Amacı ve Alanları*, Son Kontrol: 01.11.2023.
- [4] Archer, K. J. ve Kimes, R., *Empirical characterization of random forest variable importance measures*. Computational Statistics & Data Analysis, 52(4), 2249–2260, 2008.
- [5] Erdoğan M., Yıldız. O., Evrişimli Sinir Ağı Kullanarak Dengesiz Doppler Radar Verisinde Hedef Tespiti, Journal of Polytechnic, Erken Görünüm (1-1), Ankara, 2023.
- [6] Flores V., Keith B., Gradient Boosted Trees Predictive Models for Surface Roughness in High-Speed Milling in the Steel and Aluminum Metalworking Industry. Complexity, 2019, 1–15.
- [7] Wang Z., Wang Y., Zeng R., Srinivasan R. S., Ahrentzen S., Random Forest based hourly building energy prediction. Energy and Buildings, 171, 11–25, 2018.

# Yüksek Çözünürlüklü Uydu-Temelli Deniz Yüzeyi Sıcaklık Ürünleri Aracılığıyla WRF-Hidro Taşkın Simülasyonlarının İyileştirilmesi

**İsmail Yücel** Orta Doğu Teknik Üniversitesi

İnşaat Mühendisliği Bölümü Ankara iyucel@metu.edu.tr

Berina Kılıcarslan Stevens Institute Of Technology NJ, Amerika bkilicar@stevens.edu

Eren Düzenli Barcelona Supercomputing Center Barcelena, İspanya eren.duzenli@bsc.es

**M. Tuğrul Yılmaz** Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ankara tuyilmaz@metu.edu.tr

# ÖZET

Bu çalışma da, WRF/WRF-Hydro model sistemi içinde yüksek mekansal çözünürlüklü uzaktan algılama-temelli deniz yüzeyi sıcaklığı (DYS) verilerinin (GHRSST, Medspiration and NCEP-SST) kullanılması ile Doğu Karadeniz, Batı Karadeniz, ve Akdeniz Bölgelerinde meydana gelen şiddetli taşkın olayları simüle edilmiş ve bu verilerin simülasyonlardaki başarısı araştırılmıştır. Uzaktan algılama temelli DYS verilerinin model performansındaki başarısı, WRF başlangıç ve sınır koşulları için kullanılan daha kaba çözünürlüklü ERA5 ve GFS temelli DYS verilerinin kullanılmasıyla oluşan taşkın simülasyon performansları ile karşılaştırılmıştır. Yüksek çözünürlüklü DYS ürünleri (GHRSST and Medspiration) tüm bölgelerde taşkın hidrograflarında önemli iyileştirmeler göstermiştir. Detaylı DYS kullanımı ile elde edilen iyileştirilmiş WRF yağış simülasyonları sonucu oluşan GHRSST and Medspiration hidrografları, gözlem yağışı ile simüle edilen hidrograftan daha iyi performans göstermiştir.

Anahtar Kelimeler — deniz yüzey sıcaklığı, taşkın, WRF-Hydro

# 1. GİRİŞ

Isınan iklim, atmosfere olan ortama su buharı girişinin artmasına neden olur ve sonuç olarak yağış olaylarının şiddet ve yoğunluğunu tetikler [1-2]. Sel olaylarının etkisi değişen iklimle birlikte zamanla daha da kötüleşmektedir [3]. Bu yüzden doğru taşkın tahmini birçok operasyonel uygulama için önemlidir. Yoğun yağış olaylarının mekansal dağılımlarının ve bunların hidrolojik tepkilerinin doğru tahminleri, doğru bir taşkın tahmin sisteminin en önemli unsurları arasındadır [4-6]. Atmosferik ve hidrolojik modelleri birleştiren hidrometeorolojik modelleme sistemleri taşkın tahmini uygulamalarında yaygınca kullanılmaya başlanmıştır [7].

Sayısal hava tahmin (SHT) modelinin ve başlangıç ve sınır koşullarını sağlayan girdi verilerinin seçimi kısa vadeli tahminlerin doğruluğu üzerinde derin bir etkiye sahiptir; dolayısıyla, daha iyi operasyonel taşkın tahminleri, SHT'ye dayalı meteorolojik tahminlerin iyileştirilmesini gerektirir [8,9]. Özellikle ekstrem hava olaylarının SHT ler ile tahminlerinde deniz yüzey sıcaklıkları (DYS) önemli bir etkiye sahiptir [10]. DYS öncelikle atmosferin alt sınırındaki ısıyı ve su akışını etkiler; dolayısıyla DYS değişkenlikleri ile konvektif ekstrem olaylar arasında anlamlı bir ilişki vardır. SHT'nin atmosferik sınır tabakasına yüksek doğrulukta DYS girişi sağlamak, doğru yağış modellemesi için çok önemlidir. Yağıştaki iyileştirmeler yoluyla WRF-Hydro yüzey akış tahminlerinde çeşitli DYS kaynaklarının mekansal-zamansal çözünürlüğünün etkisini araştıran pek fazla çalışma literatürde yoktur. Üç tarafı denizlerle çevrili ve bölgenin en karmaşık topoğrafyasından birine sahip olan Türkiye, meteorolojik, hidrolojik ve topoğrafik etkilerden kaynaklanan önemli potansiyel sel tehditleriyle karşı karşıya olan birçok lokasyona sahiptir. Türkiye'nin Doğu Karadeniz (EBS) ve Akdeniz (MED) bölgeleri taşkın riski açısından en hassas bölgeler arasında yer almaktadır. EBS ve MED bölgelerinde yüksek çözünürlüklü SHT modelleri aracılığıyla taşkınların tahmin edilmesi kritik öneme sahiptir. Özellikle, bu bölgelerde DYS'daki kademeli bir artış, kıyı bölgelerinde aşırı konvektif yağışların aniden artmasına neden olabilmektedir.

Buna göre, bu çalışmanın temel amacı (1) farklı çözünürlüklerdeki DYS ürünlerinin MED ve EBS kıyı bölgelerindeki havzalarda önemli taşkınlara neden olan aşırı yağış simülasyonları üzerindeki

etkisini değerlendirmek, (2) Uygun bir kalibrasyondan sonra WRF-Hydro kullanılarak elde edilen fırtına hidrograflarının doğruluğu üzerinde farklı çözünürlüklerde temsil edilen DYS ürünlerinin etkisini değerlendirmek, (3) DYS duyarlılığının, sırasıyla nemli ve yarı kurak iklimlerle temsil edilen EBS ve MED gibi farklı coğrafi bölgeler üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu çalışmada, WRF-Hydro simülasyonları, farklı SST ürünleri (GHRSST, Medspiration, NCEP ve ERA5/GFS) ile güncellenen başlangıç ve alt sınır koşulları aracılığıyla oluşturulan WRF modeli meteorolojik girdileri ile yapılmıştır. Hem SST güdümlü WRF yağış hem de WRF-Hydro akış simülasyonları, 24 Ağustos 2015'te EBS üzerinde ve 16 Aralık 2018'de MED bölgelerinde meydana gelen iki yıkıcı sel olayı için yer istasyonu tabanlı gözlemlerle doğrulanmıştır.

#### 2. VERİ VE METHOD

#### 2.1 Çalışma Alanı ve Olay Tanımı

Bu çalışma, farklı iklim ile karakterize edilen EBS ve MED bölgelerinin havzalarında meydana gelen DYS kaynaklı iki şiddetli yağış olayının neden olduğu taşkınlara odaklanmıştır. EBS ve MED bölgelerini kapsayan iç içe geçmiş 3 km'lik WRF alanları (d02), seçilen havzalar ve kanal ağları, hem meteorolojik hem de akarsu ölçüm istasyonlarının yerleri Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Çalışma alanının konumu.

EBS bölgesinde 24 Ağustos 2015 tarihinde saatlik en yüksek yağış miktarı Artvin-Arhavi'de 32,4 mm olarak kaydedilirken, 24 saatte toplam 135 mm yağış meydana geldi. Öte yandan 16 Aralık

2018 tarihinde meydana gelen MED olayı için Antalya-Ovacık istasyonunda saatlik en yüksek yağış 53,1 mm olarak kaydedilirken, günlük toplam yağış miktarı ise 651,7 mm olarak gerçekleşti. Bu olay Türkiye'de ölçülen en yüksek yağış rekoru olarak kayıtlara geçmiştir. Yaz mevsiminde EBS bölgesi üzerinde meydana gelen olay için yağış sistemi tipik bir orta ölçekli konvektif özellik gösterirken, kış mevsimi boyunca MED bölgesi üzerinde meydana gelen olay için sinoptik bir sistem baskındır.

#### 2.2 WRF Modeli

Bu çalışmada, seçilen şiddetli yağış olayları için WRF-Hydro modelinin meteorolojik zorlama verilerini yeniden üretmek amacıyla NCAR tarafından geliştirilen Advanced Research WRF modeli versiyon 4.0 [11] kullanılmıştır. Şekil 1'de gösterildiği gibi, dış alan (d01) için 9 km ve iç alan (d02) için 3 km olarak belirlenen uzaysal çözünürlükle iki yönlü nest modeli konfigürasyonu uygulanmıştır. WRF ile iki farklı simülasyon türü gerçekleştirilmiştir: model başlangıç adımında tanımlanan ve model simülasyonu boyunca değişmeden kalan ERA5 ve GFS'den (sırasıyla EBS ve MED bölgeleri için) çıkarılan DYS değerleri sabit olarak kullanılır ve simülasyonlar sırasında ERA5 ve GFS modeli SST değerlerinin günlük olarak güncellenmesini sağlayan başka ikinci bir simülasyon (yani, zaman değişkenli SST seçeneği). Zamanla değişmeyen ERA5 ve GFS SST'lere ek olarak, bu çalışmada duyarlılık analizi için diğer üç zaman değişkenli harici SST veri seti kullanılmıştır: (1) Medspirasyon Seviyesi 4 Ultra Yüksek Çözünürlük Temel Deniz Yüzeyi Sıcaklığı [12]; (2) Yüksek Çözünürlüklü Deniz Yüzeyi Sıcaklığı Seviye 4 UltraYüksek Çözünürlük Grubu (GHRSST); (3) Ulusal Çevresel Tahmin Merkezleri (NCEP), Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından temsil edilen Gerçek Zamanlı, Küresel, Deniz Yüzeyi Sıcaklığı (RTG SST HR). Bu ürünler (Medspiration, GHRSST ve NCEP) yüksek uzaysal çözünürlüğe sahiptir (sırasıyla 0,022, 0,01 ve 0,083) ve günlük olarak sağlanmaktadır. Bundan sonra bu çalışmada kullanılan SST ürünleri Medspiration, GHRSST, NCEP, ERA5 ve GFS olarak anılacaktır. Her bir çalışma bölgesi üzerinde bu SST ürünleri kullanılarak çalıştırılan WRF modelinin simülasyon periyotlarına ilişkin bilgiler Tablo 1'de verilmektedir.

	Meteorolojik Girdiler		Model Simülasyon		
			Süreleri		
Region	SST	Initial and		End Date	
	Products	Boundary	Start Date		
		Conditions			
	ERA5				
EDC	GHR	ERA5	08/17/2015	08/27/2015	
EDS	Medspiration	Reanalysis	08/17/2013		
	NCEP				
	GFS				
MED	GHR	GFS	12/10/2019	12/20/2018	
MED	Medspiration	Forecast	12/10/2018		
	NCEP				

Tablo 1: Çalışmada kullanılan DYS ürünleri ve WRF modeli simülasyon süreleri.

#### 2.3 WRF-Hydro Modeli

Bu çalışma, WRF modelinin 3 km'lik iç içe etki alanı (d02) üzerinde ayrıştırılmış bir şekilde yapılandırılmış WRF-Hydro modelini (versiyon 5.1.1) kullanır. Model konfigürasyonu için arazi yüzeyi modeli (LSM) olarak Noah-Multi Parameterization (Noah-MP) seçilmiştir. Model fiziği seçeneklerinde, yüzey kara ve yer altı öteleme modülleri tüm model alanları için etkinleştirilirken, kanal öteleme modülü yalnızca çalışma havzaları içinde etkinleştirilmiştir. Arazi yüzeyi sütunu için nem durumları hesaplandıktan sonra LSM gridi, her iki çalışma bölgesi için de 250 m çözünürlüklü yüksek çözünürlüklü öteleme gridlerine ayrılır. Kalibre edilmiş WRF-Hydro modeli, EBS ve MED bölgeleri üzerinden DYS olay simülasyonları için doğrulanmıştır. Bu aşamada, WRF-Hydro modeli, zamanla değişmeyen ERA5 ve GFS DYS'ler ve Medspiration, GHRSST ve NCEP gibi zamanla değişen diğer üç harici DYS ürünü kullanılarak oluşturulan meteorolojik girdi veri kümeleri tarafından çalıştırılmıştır. Ek olarak bu DYS olayları, WRF'den türetilen yağışların gözlemlenen yağışlarla değiştirildiği meteorolojik zorlama verileriyle de simüle edilmiştir.

#### 3. SONUÇLAR

#### 3.1. DYS Ürün Değerlendirmesi

GFS ve ERA5 ürünleri, GHRSST (1,1 km), Medspiration (2,2 km) ve NCEP ürünlerinden (9 km) daha kaba uzaysal (25 km) çözünürlüğe sahiptir. Bu çalışmada GHRSST, Medspiration ve NCEP ürünleri günlük zamansal çözünürlüklere sahip olacak şekilde seçilirken, GFS ve ERA5 DYS ürünleri olay simülasyonları sırasında sabit olarak kalmıştır. Bu ürünlerin mekansal ortalamalı zaman serileri Şekil 2'te gösterilmiştir. Genel olarak, sabit ERA5 ve GFS dışındaki tüm ürünler, özellikle MED bölgesi üzerinde zamansal olarak birbirleriyle tutarlıdır (Şekil 2).



Şekil 2: DYS ürünleri zaman serileri.

#### 3.2. DYS Olayları için Yağış Değerlendirmesi

Şekil 3(a) ve (b), sırasıyla D22A147 ve D08A071 havzaları için her SST vakasının gözlemlenen ve WRF'den türetilen havza ortalamalı yağış zaman serileri arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir. Şekil 3(a)'da, yağış zaman serisi 17.08.2015 00:00:00 UTC'den 27 Ağustos 2015 00:00:00 UTC'ye (241-saat) kadar gösterilmektedir. D22A147 için maksimum yağış miktarı 24 Ağustos 2015 09:00:00 UTC'ye karşılık gelen 178. saatte 26,3 mm olarak kaydedildi. Ancak bu olay için EBS bölgesinde maksimum yağış 24 Ağustos 2015 00:00:00 UTC'de 32,4 mm olarak kaydedildi. Ancak

Şekil 3(a)'da görüldüğü gibi D22A147'nin havza ortalama yağışı 169. saatte 16,1 mm olup, bu EBS bölgesi için olay pik zamanına karşılık gelmektedir. Ayrıca, farklı DYS veri kümeleri ile gerçekleştirilen simülasyonların, gözlem zirvesinden birkaç saat önce birincil zirveyi oluşturması dışında, gözlemin genel değişimini yakalayabildiği yorumlanabilir. Şekil 3(b)'de, havza ortalama yağış zaman serisi 10 Aralık 2018 00:00:00 UTC'den 20 Aralık 2018 00:00:00 UTC'ye (241-saat) kadar temsil edilmektedir. Akdeniz bölgesinin tamamı için pik zamanı ve yağış büyüklüğü 162. saatte (10 Aralık 2018 17:00:00 UTC) 53,1 mm olarak kaydedildi. D08A071 için aynı zaman adımında maksimum havza ortalama yağış değeri olan 15,7 mm hesaplanmıştır. Genel olarak simüle edilen yağışlar, küçük fazla tahminlerle birlikte gözlemle neredeyse benzer bir eğilim göstermektedir. GFS DYS, GHRSST ve NCEP DYS simülasyonları için pik zaman diliminde orta düzeyde gecikmeler (1-2 saat) gözlemlenirken Medspiration tam yağış pik zamanı yakalar. Gözlemlenen en yüksek yağış miktarıyla karşılaştırıldığında, GFS SST yaklaşık 17 mm ile en yüksek fazla tahmini oluşturur.



Şekil 3: DYS ürünleri ortalama yağış zaman serileri.

Şekil 4, EBS bölgesi üzerinde pik yağış günün de (24 Ağustos 2015) farklı DYS veri kümeleri tarafından oluşturulan WRF modelinden gözlemlenen yağışların ve simüle edilmiş yağışların

mekansal dağılımını göstermektedir. Şekil 4'de GHRSST simülasyonunun, gözlemlenen yağışla karşılaştırıldığında D22A147 üzerindeki yağışın mekansal dağılımında fazla tahmin göstermesi dikkat çekicidir (Şekil 4(c)). Medspirasyon, D22A147 üzerindeki gözleme en yakın yağış dağılımını oluşturur. Medspirasyon ve GHRSST simülasyonları ayrıca, günlük 140 mm'den fazla yağış ürettikleri kıyı şeridine doğru yağış miktarını olduğundan fazla tahmin etmektedir (Şekil 4[c ve d]). Ayrıca, NCEP simülasyonu, Şekil 4(e)'de gösterildiği gibi, simüle edilen yağış miktarının eksik tahmin edilmesine yol açmaktadır. Öte yandan GHRSST, gözlemlenen olay konumunu diğer simülasyonlara göre önemli ölçüde yakalar (Şekil 4(c)).





MED bölgesi için Şekil 5, simüle edilmiş yağışların (GFS, GHRSST, Medspiration ve NCEP) mekansal dağılımını ve zirve saatte maksimum 53,1 mm derinliğe sahip gözlemlenen yağışları göstermektedir (Şekil 5(a)). GFS DYS ile gerçekleştirilen simülasyon, yağış miktarı açısından fazla tahmin göstermektedir. Ayrıca olayın yerini atlıyor ve olayı kara yerine kıyı şeridine yakın deniz üzerinde yaratıyor (Şekil 5(b)). Ayrıca, harici yüksek çözünürlüklü SST veri kümeleriyle gerçekleştirilen simülasyonlar, olayın karadaki konumunu yakalamak için GFS simülasyonlarına kıyasla oldukça iyi temsil edilmektedir. Şekil 5(c), GHRSST simülasyonunun gözlemlenen olay

konumunu yakalayabildiğini, yeterli yağış üretemediğini göstermektedir. Medspirasyon ve NCEP simülasyonları, yağış derinliği açısından gözleme çok daha yakın yağış tahminleri ortaya koyuyor (Şekil 5[d ve e]).



Şekil 5: Farklı DYS ürünleri için yağış pik gününde alansal yağış dağılımları.

## 3.3. DYS Olayları için Yüzey Akış Değerlendirmesi

Kalibre edilmiş WRF-Hydro modelinin performansı, D22A147 ve D08A071 havzalarındaki her DYS durumu kullanılarak değerlendirilir. Şekil 6, farklı DYS simülasyonları ve gözlem yağışları tarafından zorlanan kalibre edilmiş modellerle simüle edilmiş hidrografları D22A147 ve D08A071'de göstermektedir. ERA5 ve NCEP hidrografları, tepe hacmi için önemli ölçüde eksik tahmin göstermektedir (Şekil 6(a)). Gözlemlenen yağışla birlikte medspirasyon simülasyonları ERA5 ve NCEP simülasyonlarına göre biraz daha iyi hidrograf hacmi ve istatistikleri oluşturur. GHRSST, yağışta fazla tahmin oluştursa ve D22A147 için olayın zirve zamanını kaçırsa da, GHRSST simülasyonunun günlük ortalama akımı, akım tahmininde en iyi gelişmeyi sağlar. Bunun

nedeni, GHRSST'nin WRF simülasyonunun en gerçekçi su hacmi miktarını oluşturmasıdır. Dolayısıyla su dengesi hesaplamaları sonrasında kanal ağına iletilen toplam suyun günlük ortalaması, diğer simülasyonlar arasında en düşük negatif sapma ve RMSE değerlerine sahip, gözlemlenen deşarj hacmine en yakın simüle edilmiş deşarj hacmini vermiştir (Şekil 6(a)). GHRSST simülasyonu özellikle hidrograf hacminin performansında gözlemlenen yağış simülasyonuna kıyasla önemli bir iyileşme (NSE'de %70 artış) sağlar. Bu sonuçlar, GHRSST'nin diğer SST veri kümeleri arasında D22A147 için en temsili SST veri kümesi olduğunu göstermektedir.

Şekil 6(b)'deki kalibre edilmiş parametre seti ile simüle edilmiş saatlik hidrograflar, hidrografın yükselen kısmında en yüksek değerlerine kadar makul bir davranışı temsil eder, ancak düşen kısımları kalibrasyondan sonra daha keskin bir şekilde azalır. Yüksek çözünürlüklü DYS simülasyonu ile karşılaştırıldığında gözlem yağış simülasyonu, hidrograf hacminde önemli ölçüde eksik tahmin gösterir ve daha iyi bir korelasyon değerine (0,40) ulaşırken 53,48 m3/s'lik negatif bir sapmaya neden olur. Genel olarak, harici yüksek çözünürlüklü DYS ürünleri, ERA5 hidrografında 550 m3/s'lik bir azalmayla bir iyileşme ile gözlemlenen tepe değerini önemli ölçüde yakalar.



Şekil 6: Farklı DYS ürünleri için WRF-Hydro ortalama akım zaman serileri.

#### KAYNAKLAR

- [1] Allen, M. R., and Ingram, W. J., Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. Nature Communications, 419- (September), 225–232, 2002.
- [2] *Trenberth, K. E.*, *Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change*. Climatic Change, 42, 327–339, 1999.
- [3] Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., & Kanae, S. Global flood risk under climate change. Nature Climate Change, 3(9), 816–821, 2013.
- [4] Ryu, Y., Lim, Y. J., Ji, H. S., Park, H. H., Chang, E. C., & Kim, B. J., Applying a coupled hydrometeorological simulation system to flash flood forecasting over the Korean peninsula. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 53(4), 421–430, 2017.
- [5] Shih, D. S., Chen, C. H., & Yeh, G. T., Improving our understanding of flood forecasting using earlier hydro-meteorological intelligence. Journal of Hydrology, 512, 470–481, 2014.
- [6] Yucel, I., & Onen, A., Evaluating a mesoscale atmosphere model and a satellite-based algorithm in estimating extreme rainfall events in northwestern Turkey. Natural Hazards and Earth System Sciences, 14(3), 611–624, 2014.
- [7] Kunstmann, H., & Stadler, C., *High resolution distributed atmospheric-hydrological modelling for alpine catchments*. Journal of Hydrology, 314(1–4), 105–124, 2005.
- [8] Done, J., Davis, C. A., & Weisman, M., The next generation of NWP: Explicit forecasts of convection using the weather research and forecasting (WRF) model. Atmospheric Science Letters, 5(6), 110–117, 2004.
- [9] Yucel, I., Onen, A., Yilmaz, K. K., & Gochis, D. J., Calibration and evaluation of a flood forecasting system: Utility of numerical weather prediction model, data assimilation and satellite-based rainfall. Journal of Hydrology, 523, 49–66, 2015.
- [10] Ferrari, F., Cassola, F., Tuju, P. E., Stocchino, A., Brotto, P., & Mazzino, A., Impact of model resolution and initial/boundary conditions in forecasting flood-causing precipitations. Atmosphere, 11(6), 1–20, 2020.
- [11] Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Zhiquan, L., Berner, J., Wei Wang, Jordan G. Powers, Michael G. Duda, Dale M.Barker & Huang, X.-Y., A description of the advanced research WRF model version 4. NCAR technical note NCAR/TN-475+STR. http://library.ucar.edu/research/publish-technote, 2019.
- [12] CERSAT., Medspiration. http://cersat.ifremer.fr/thematicportals/projects/medspiration, 2012.

# Avustralya Sidney Şehrinde Meydana Gelen Şiddetli Boran Hadisesinin Analizi, 14 Ekim 2014

## Kübra TURGUT

İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği 34469, Maslak, İstanbul, Türkiye turgutk@itu.edu.tr

#### Emrah Tuncay ÖZDEMİR

İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği 34469, Maslak, İstanbul, Türkiye etozdemir@itu.edu.tr

#### ÖZET

Bu çalışmada son dokuz yıldaki (2014-2023) Avustralya Şehrinde bulunan Sidney Uluslararası Havalimanı'nın Metar ve Speci rasatları incelenmiştir. Şiddetli boran hadisesiyle birlikte hamle değeri en büyük değere sahip olan gün olarak 14 Ekim 2014 tarihi tespit edilmiştir. Olay günü 57 knots hamle değerine ulaşan şiddetli boran hadisesi havalimanında uçuşların iptal ve divert edilmesine neden olmuştur. Aynı gün için şiddetli rüzgar hamlesi 115 km/h ile Kurnell Avustralya Meteoroloji Servisinde kaydedilmiştir. Şiddetli sağanak yağış sonucu Sidney Olimpik Parkında 63 mm'yi bulan yağış kaydedilmiştir. Birçok yerde aşırı yağışlar sonucu su baskınları meydana gelmiştir. Sidney metrosu dahil birçok yerde uzun süreli elektrik kesintisi yasanmış ve vatandaşlar tarafından yapılan 1000'in üzerinde acil yardım talebi kaydedilmiştir. Hadise Tasman denizi üzerinde bulunan bir alçak basınç merkezinin Illawara bölgesine doğru hareket etmesiyle başlamıştır. Bu alçak basınç merkezi aynı günün akşam saatleri boyunca kuzeye doğru hareket etmiş, aksam saatlerinde güneyli bir değişimle ve kıyı kesimlerde etkili olacak şekilde firtınalara sebep olarak Sidney'e ulaşmıştır. Bu olaya neden olan tropikal firtına ise sinoptik haritalar, uydu görüntüleri, radar görüntüsü ve Skew-T Log-P diyagramı aracılığıyla analiz edilmiştir.

#### Anahtar Kelimeler: Avustralya, Sidney, Şiddetli Boran, Uydu Görüntüsü, Radar Görüntüsü.

## 1. GİRİŞ

14 Ekim 2014 tarihinde Avustralya'nın Sidney Şehri'nde yaklaşık olarak dört saat süren şiddetli gök gürültü sağanak yağış (boran) ve fırtına olarak esen rüzgar nedeniyle birçok alanda su baskını ve hasar meydana gelmiştir. Sidney Şehir içi ulaşım treni uzun süreli elektrik kesintisi nedeniyle servis dışı kalmış, Sidney Uluslararası Havalimanı'nda uçaklar kalkamamış, uçuş iptalleri ve divertler yaşanmıştır. Bölgenin batısında yer alan Blue Dağları olarak bilinen dağlarda ise 20 cm'lik alışılmadık bir kar yağışı kaydedilmiştir [1]. Şekil 1'de olay günü yaşanan olumsuzluklardan dört tanesinin resmi verilmiştir (Şekil 1a-1d). 90 ila 100 km/saat hamleli rüzgar değerlerinin olması, ortalama 60 ila 70 km/saat civarında fırtına olarak esen rüzgarların, en yüksek rüzgar şiddet değerlerinin artarak bofor skalasına göre tam fırtına ve çok şiddetli fırtına değerleri olan 90 ila 110 km/saat arasında olması 5500'den fazla hanede elektrik kesintisine neden olmuştur. Buna ek olarak aynı gün içinde en şiddetli rüzgar hamlesi 116 km/saat ile Kurnell Avustralya Meteoroloji Servisinde ve Wattamolla'da 161 km/saat olarak kaydedilmiştir [2].



Şekil 1a: 14 Ekim 2014 sular altında kalan tünel [1].

Şekil 1b: 14 Ekim 2014 yüksek rakımlı alanlarda görülen kar yağışı [1].



Şekil 1c: 14 Ekim 2014 sular altında kalan yol [1].

Şekil 1d: 14 Ekim 2014 kar altında kalan tren istasyonu [1].

14 Ekim 2014'de Sidney'de meydana gelen ve geniş bir alanı kasıp kavuran destansı bir firtına, 12 kişinin trende mahsur kalmasına, ana yolların kapanmasına ve Blue Dağlarına kar yağmasına neden olmuştur. Olay günü Sidney Kulesi'ne yıldırım düşmesi anına ait resim Şekil 2a'da görülebilir. Yıldırım düşmesi kıvılcım yağmuruna neden olmuş ve binanın tüm elektrik hatlarının kesilmesine sebebiyet vermiştir. Meteoroloji Bürosu (Bureau of Meteorology (BOM))'dan yapılan açıklamaya göre bu sistemin "olağanüstü" rüzgar şiddetlerine sahip olduğunu ve rüzgarların Kraliyet Ulusal Parkı'ndaki Wattamolla'da 161 km/saat'e ulaştığını açıklamışlardır. Geniş bir alanda etkili olan elektrik kesintisi Bundeena'daki tüm dükkanların kapanmasına neden olmuştur. Fırtınaya neden olan rüzgarlar birçok ağacın devrilmesine de neden olmuştur (Şekil 2b). Çok büyük maddi hasar oluştuğuna dair çok sayıda bildirimde bulunulmuştur. Sidney ve çevresinde etkili olan alçak basınç sisteminin bu ağır koşulların bir gecede yaşanmasına neden olduğu ifade edilmiştir [3,4].



Şekil 2a: 14 Ekim 2014 Sidney Kulesine yıldırım düştü [3]. Şekil 2b: 14 Ekim 2014 ağaç arabanın üzerine devrildi [4]. Şekil 3 BOM tarafından 14 Ekim 2014 tarih ve 10:55 pm Eastern Daylight Time (EDT) (4 saat Coordinated Universal Time (UTC)'nin gerisinde)'ye kadar geçerli fırtınanın konumunu, yıkıcı rüzgar ve şiddetli yağış için 60 dakikalık tahmin bilgilerinin olduğu meteorolojik uyarı haritasını göstermektedir.



Şekil 3: 14 Ekim 2014 tarihine ait BOM tarafından yapılan uyarı [5].

Gök gürültülü firtinaların birçoğu çok hücreli gök gürültülü firtinalardır. Çok hücreli gök gürültülü firtinaların evreleri birbirinden farklı aşamalarda bulunan birkaç gök gürültülü firtinanın bir arada bulunması sonucu oluşur. Aynı anda çok hücreli firtinalarda orajın kümülüs, olgunluk ve dağılma aşamalarını aynı anda görebiliriz. Bu olay yukarı akımların ve aşağı akımların bir arada oluşmalarına olanak sağlayarak çok hücreli gök gürültülü firtinaların hem yaşam sürelerinin uzamasına hem de daha etkili olmalarına neden olmaktadır. Yoğun ve soğuk olan aşağı akımların yer seviyesine inmesi sonucunda çevresinde bulunan sıcak ve nemli havanın bu hava parseli üzerinde hızlı bir şekilde yükselmesi sonucu yer seviyesinde hamle cepheleri oluşur. Bu da yeni hücrelerin oluşumuna neden olur [6].

Ulusal ve uluslararası literatürde boranla ilgili yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır [7].

Bu çalışmanın amacı; 14 Ekim 2014 tarihinde Avustralya'da bulunan Sidney Şehri ve çevresinde etkili olan boran hadisesinin Sidney Uluslararası Havalimanı'na yapmış olduğu etkiyi ortaya koymak için meteorolojik şartların incelenmesini kapsamaktadır.

# 2. YÖNTEM

Bu çalışmada, Avustralya'nın Sidney Şehri'nde bulunan Sydney Kingsford Smith Uluslararası Havalimanı'na ait Meteorological Terminal Air Report (Metar) ve Aviation Selected Special Weather Report (Speci) rasatları değerlendirilmiştir. Bu olaya neden olan tropikal fırtına ise sinoptik haritalar, uydu görüntüleri, radar görüntüsü ve Skew-T Log-P diyagramı aracılığıyla analiz edilmiştir.

# 3. ANALİZ

14 Ekim 2014 tarihinde Sidney Uluslararası Havalimanı'nda meydana gelen boran hadisesinin incelenmesi amacıyla sinoptik ölçekli hava sistemlerinin yapısını araştırmak için 14 Ekim 2014 0000 UTC, 0600 UTC, 1200 UTC, 1800 UTC' deki ve15 Ekim 2014 0000 UTC, 0600 UTC' deki Australian Weather News internet sayfasından sağlanan (Bureau of Meteorology- BOM) tarafından hazırlanan yer kartı kullanılmıştır (Şekil 4a; 4b; 4c; 4d; 4e; 4f) [8].

14 Ekim 2014 tarihindeki 0600 UTC haritasına göre basınç değeri 1001 hPa olan alçak basınç merkezi Tazman Denizi açıkları üzerinden Illawara bölgesine doğru ilerlemektedir. Akşam saatleri boyunca bu alçak basınç merkezine bağlı trof kuzeye doğru hareketini sürdürmeye devam etmiştir. Trof akşam saatlerinde Sidney'e ulaştığında güneyli bir değişim göstererek oluşturduğu fırtınalarla birlikte bölgeyi etkilemiştir. Sidney kıyısı açıklarında bir alçak basınç merkezi gelişmiştir. Ardından gece boyunca Hunter kıyılarına doğru hareketini sürdürmüştür. Bu alçak basınç merkezi ertesi gün (15 Ekim 2014 tarihinde) açık denizlere doğru yavaşça ilerlemiş ve Sidney üzerindeki olumsuz hava koşulları etkisini yitirmiştir.





14 Ekim 2014 tarihinde Sidney Uluslararası Havalimanı'nda meydana gelen boran hadisesinin incelenmesi amacıyla sinoptik ölçekli hava sistemlerinin yapısını araştırmak için BOM (Bureau of Meteorology) sayfasından edinilen 14 Ekim 2014 0000 UTC, 1200 UTC ve 15 Ekim 2014 0000 UTC 500 hPa'ya ait jeopotansiyel yükseklik (kontur) değerleri ve sıcaklık değerleri kullanılmıştır (Şekil 5a; 5b; 5c) [9]. Alçak merkezin ve soğuk havanın Sidney ve çevresini etkilediği görülmektedir.


Şekil 5a: 14 Ekim 2014 0000 UTC 500 hPa[9].

Şekil 5b: 14 Ekim 2014 1200 UTC 500 hPa[9].



14 Ekim 2014 tarihinde Sidney Uluslararası Havalimanı'nda meydana gelen boran hadisesinin incelenmesi amacıyla sinoptik ölçekli hava sistemlerinin yapısını araştırmak için Wetter3 internet sayfasından sağlanan Deutscher Wetterdienst tarafından hazırlanan 14 Ekim 2014 0000 UTC, 1200 UTC ve 15 Ekim 2014 0000 UTC 500 hPa'ya ait jeopotansiyel yükseklik (kontur) değerleri kullanılmıştır (Şekil 6a; 6b; 6c) [10]. Bölge üzerinde etkili olan 552 damlık alçak merkez rahatlıkla görülmektedir.



Şekil 6a: 14 Ekim 2014 0000 UTC 500 hPa[10].

Şekil 6b: 14 Ekim 2014 0600 UTC 500 hPa[10].



Şekil 6c: 14 Ekim 2014 1200 UTC 500 hPa[10].



Şekil 6d: 14 Ekim 2014 1800 UTC 500 hPa[10].



Şekil 6e: 15 Ekim 2014 0000 UTC 500 hPa[10].

Şekil 6f: 15 Ekim 2014 0600 UTC 500 hPa[10].

Temp analizinde Wyoming Üniversitesi tarafından hazırlanan Williamtown Amo Raaf Meteoroloji İstasyonuna ait Skew-T Log-P diyagramı 14 Ekim 2014 1200 UTC için değerlendirilmiştir (Şekil 7). Williamtown Meteoroloji İstasyonu'nun Sidney Uluslararası Havalimanı Meteoroloji İstasyonu'na olan uzaklığı 177 km'dir. 14 Ekim 2014 gününe ait Sidney Şehri'nin Skew-T Log-P diyagramı verilerine ulaşılamamıştır.

Temp diyagramına göre bazı kararsızlık indekslerine bakıldığında; Showalter Stability İndex'e göre: 7.11 (3 < SSI ise oraj ihtimali yoktur); Lifted İndex: 6.67 (1 < LI ise oraj ihtimali yoktur); K İndex: 17.00 (K İndex  $\leq$  20 ise oraj ihtimali düşük); Totals Totals İndex: 44.00 (44  $\leq$  TTI  $\leq$  45 ise, oraj başlama sınırı); Convective Available Potential Energy: 0.00 (CAPE < 300, zayıf oraj) değerlerini almaktadır [11]. Williamtown Meteoroloji İstasyonu'nun Sidney Uluslararası Havalimanı Meteoroloji İstasyonu'ndan çok uzak olması ve burada oraj hadisesinin olmaması kararsızlık index değerlerinin kararlı atmosfer yapısı değerlerini almasına neden olmuştur.



Şekil 7: Sidney yakınında yer alan Williamtown Meteoroloji İstasyonuna ait 14 Ekim 2014 1200 UTC Skew-T Log-P diyagramı [11].

Uydu görüntülerinin analizinde BOM tarafında hazırlanan Australian Weather News internet sayfasından elde edilen uydu görüntüleri kullanılmıştır. 13 Ekim 2014 1732 UTC 'e ait uydu görüntüsüne bakıldığında; Güney Pasifik ve Güney Avustralya üzerinde geniş bir alana yayılmış bulutluluk görülmektedir (Şekil 8a). 2332 UTC'ye ait uydu görüntüsünde; yine Güney Pasifik üzerinde Sidney üzerine doğru daha çok yoğunlaşmış büyük kalın konvektif bulutlar görülmektedir (Şekil 8b). 0532 UTC 14 Ekim 2014 radar görüntüsünde hadisenin artık Sidney çevresi ve Sidney Kingsford Smith Uluslararası Havalimanı etrafında olduğu görülmektedir (Şekil 8c). 1132 UTC' de oraj hücresi havalimanından uzaklaşmaya başlamıştır ve kuzeye doğru hareketine devam etmektedir. 14 Ekim 1132 UTC' de oraj hücresi güneyden kuzey batıya olan hareketini sürdürmektedir (Şekil 8d).



Şekil 8a: 13 Ekim 2014 1732 UTC uydu görüntüsü [12].

Şekil 8b: 13 Ekim 2014 2332 UTC uydu görüntüsü [12].



Şekil 8c: 14 Ekim 2014 0532UTC uydu görüntüsü [12].

Şekil 8d: 14 Ekim 2014 1132UTC uydu görüntüsü [12].

0000 UTC'deki Doppler radar görüntüsüne bakıldığında Sidney'de etkili olan rüzgar hızının 90 km/saat değerinin üzerine çıkmış olduğu görülmektedir (Şekil 9). Rüzgar Sidney'in birçok yerleşim yerinde etkili olmaktadır [13].



Şekil 9: 14 Ekim 2014 0000 UTC Doppler Radar Görüntüsü [13]

Sidney Uluslararası Havalimanı'nın verileriyle hazırlanan Ekim 2014 tarihine ait kategorilere göre renk kodlu (şiddet sırasına göre) saatlik olarak gözlemlenen hava durumu grafiği verilmiştir (Şekil 10). Olay günü şiddetli yağışların olduğu görülmektedir.



Şekil 10: Sidney'de Ekim 2014'te Gözlemlenen Hava Durumu [14]

14 Ekim 2014 günü Sidney'de bulunan meteoroloji istasyonlarının maksimum rüzgar hamlesi değerlerine baktığımızda Kurnell Meteoroloji İstasyonu'nda 115 km/saat, Sydney Havalimanı'nda ise 107 km/saat değerine ulaşan rüzgar şiddeti değerleri kaydedilmiştir.

Ulladulla 'da da 106 km/saat değerinde rüzgar hamlesi kaydedilmiştir. Sadece üç saat içerisinde Sidney'in bir semti olan Stratfield bölgesinde 94 mm'lik bir yağış kaydedilmiştir. Sidney Uluslararası Havalimanı'nda meydana gelen 57 knots rüzgar Sidney'de bulunan meteoroloji İstasyonları tarafından son 9 yılda ölçülen en yüksek değerler arasındadır.

Sidney Uluslararası Havalimanı'nın 14 Ekim 2014 tarihindeki Metar ve Speci rasatlarına baktığımızda; 0759 UTC' de havalimanında hafif şiddette gök gürültülü sağanak yağış başlamıştır (Tablo 1). 1502 UTC' de hakim rüyet 1600 m'ye düşmüş ve yağış, şiddetli gök gürültülü sağanak yağışa dönüşmüştür. 1230 UTC' de rüzgar 190°'den 42 knots hamlesiyle 57 knots olarak esmiş ve yağış, gök gürültülü sağanak yağışı olarak devam etmiştir. 1347 UTC' de gök gürültülü sağanak yağış kesilmiştir (Tablo 1).

Gün ve saat	Rüzgar Yönü (derece )	Ortalama Rüzgar Şiddeti ve Hamle Değeri (knots)	Hava Hadise	Hakim Rüyet (metre )	Bulut Tabanı Yüksekliğ i (feet)	Sıcaklık (°C)/ Çiy Noktası Sıcaklığı (°C)	Basınç (hPa)
14-	230	20	-SHRA	9999	4500	16/08	1008
06:00							
14-	250	15	-SHRA	9999	3000	16/08	1008
06:30							
14-	270	12	SHRA	9999	3000	16/08	1008
07:00							
14-	270	11	-SHRA	4000	2900	16/08	1008
07:30							
14-	270	15	-SHRA	4000	1500	15/09	1008
08:00							
14-	270	40	-RA	8000	1500	14/09	1008
08:30							
14-	220	13	-TSRA	4000	1400	13/11	1008
08:59							

Tablo1: Sidney Kingsford Smith Uluslararası Havalimanı' nın 14 Ekim 2014 0600 UTC ile 15 Ekim 2014 0056 UTC arasındaki Metar ve Speci rasatları [15].

14- 230 13 -TSRA 9999 14	400 13/1	1 1008
14- 230 13 -TSRA 9999 14	400 13/1	1 1008
09:00		
14- 260 16G28 -TSRA 8000 10	000 13/1	1 1008
09:15	00 14/1	1000
14- 210 23G33 -TSRA 8000 6	00 14/1	2 1008
14- 190 35 +TSRA 3000 6	00 15/1	4 1008
09:42		1 1000
14- 250 26 +TSRA 3000 6	00 12/1	2 1008
09:50		1000
14- 280 23G36 +TSRA 1500 6	00 12/1	2 1008
10:00 14- 190 33G51 +TSRA 1500 6	00 12/1	2 1008
10:02	12/1	2 1000
14- 190 36G53 +TSRA 1000 4	00 14/1	3 1008
10:15		
14- 150 23 +TSRA 500 4	00 13/1	3 1009
10:27 14 150 21 TSPA 1500 4	00 12/1	2 1000
10:30	00 15/1	5 1009
14- 150 21 +TSRA 1500 4	00 13/1	3 1009
10:30		
14- 200 24G35 +TSRA 2000 5	00 13/1	3 1009
10:35	00 11/1	1 1000
14- 200 23 +15KA 3000 6	00 11/1	1 1009
14- 260 17 +TSRA 2000 6	00 10/1	0 1008
11:00		
14- 260 17 +TSRA 2000 6	00 10/1	0 1008
11:00		
14- 190 38 +TSRA 500 5	00 12/1	1 1009
11:09		
14- 190 50 TSRA 2000 10	000 14/1	3 1007
11:19 14 100 20C41 TSDA 2000 5	00 12/1	2 1000
14- 190 29041 +15KA 2000 5	00 15/1	5 1009
14- 190 29G41 +TSRA 2000 5	00 13/1	3 1009
11:30		
14- 190 41G54 +TSRA 800 5	00 13/1	3 1008
11:38		
14- 200 18 +TSRA 1500 6	00 13/1	3 1010
12:00		
14- 200 18 +TSRA 1500 9	00 13/1	3 1010
12:00 14 200 22 TSD A 2000 C	00 10/1	<b>)</b> 1000
14- 200 55 +15KA 2000 6	00 12/1	2 1009
12.10 14- 190 42G57 TSRA 3000 7	00 13/1	2 1008
12:30	JJ 1.	<u> </u>

14-	190	42G57	TSRA	3000	700	13/12	1008
12:30 14-	190	32G42	+TSRA	4000	800	12/12	1009
13:00	170	52012	ibidi	1000	000	12,12	1007
14-	190	32G42	+TSRA	4000	800	12/12	1009
13:00 14-	200	37	TSRA	4000	1500	12/11	1008
13:30							
14-	200	37	TSRA	4000	1500	12/11	1008
13:30	200	34G54	SHRA	6000	1500	12/11	1008
13:47	200	0.001	511111	0000	1000		1000
14-	200	35G47	SHRA	5000	1500	12/12	1008
14:00	200	25047		5000	1500	10/10	1000
14- 14·00	200	35G47	SHKA	5000	1500	12/12	1008
14.00	200	35G47	SHRA	6000	1500	13/11	1008
14:30							
14-	200	35G47	SHRA	6000	1500	13/11	1008
14:30	200	250 40		7000	1000	12/11	1000
14- 15:00	200	35049	SHKA	/000	1000	13/11	1008
14-	200	35G49	SHRA	7000	1000	13/11	1008
15:00							
14-	190	34G44	SHRA	7000	1000	13/11	1008
15:30	100	34644	спр у	7000	1000	12/11	1008
14-	190	54044	SIIKA	7000	1000	13/11	1008
14-	190	37G55	-SHRA	7000	1000	13/11	1008
16:00							
14-	190	37G55	-SHRA	7000	1000	13/11	1008
16:00	200	33643	спр у	6000	000	12/11	1008
14-	200	55045	SIIKA	0000	900	12/11	1008
14-	200	33G43	SHRA	6000	900	12/11	1008
16:30							
14-	190	37G52	-SHRA	6000	900	13/10	1008
17:00	190	37652	SHPA	6000	900	13/10	1008
17:00	170	57052	SIII	0000	200	13/10	1000
14-	210	29G39	-SHRA	7000	900	12/10	1009
17:30							
14-	210	29G39	-SHRA	7000	900	12/10	1009
17:30	210	29639	-SHRA	7000	900	12/10	1009
17:31	210	2,007	STILL	,000	200		1007
14-	210	29G40	- SHRA	9000	900	12/10	1009
18:00							

14-	210	29G40	- SHRA	9000	900	12/10	1009
18:00							
14-	220	27G37	- DZ	9000	1000	12/09	1009
18:30							
14-	220	27G37	- DZ	9000	1000	12/09	1009
18:30							
14-	230	26	DZ	9000	1100	11/08	1009
19:00	220	0.0		0000	1100	11/00	1010
14-	220	26	-SHRA	9000	1100	11/08	1010
19:30	220	20020	DA	0000	1200	10/00	1010
14-	230	26636	-KA	9999	1200	12/08	1010
20:00	220	20020	DA	0000	1200	10/00	1010
14-	230	26636	-KA	9999	1200	12/08	1010
20:00	220	2(72)	DA	0000	1100	10/00	1010
14-	220	20038	-KA	9999	1100	12/08	1010
20:30	220	26029	DA	0000	1100	12/09	1010
14-	220	20038	-KA	9999	1100	12/08	1010
20:30	210	27020	DА	0000	1100	12/00	1011
21.00	210	27038	-KA	9999	1100	12/09	1011
21.00	210	27628	D۸	0000	1100	12/00	1011
21.00	210	27038	-KA	7777	1100	12/09	1011
21.00	210	28	_ <b>Ρ</b> Δ	0000	1200	12/09	1011
21.30	210	20	-10/1	,,,,,	1200	12/07	1011
14-	210	26G36	-RA	9999	1200	12/08	1011
21.58	210	20030	I.I.I	,,,,,	1200	12/00	1011
14-	210	26G36	-RA	9999	1200	12/08	1011
22:00	210	20000	Tur		1200	12,00	1011
14-	210	26G36	-RA	9999	1200	12/08	1011
22:00		20000			1200	12,000	1011
14-	210	30G40	SHRA	9999	1400	13/08	1012
22:30			~				
14-	210	30G40	SHRA	9999	1400	13/08	1012
22:30							
14-	210	32G44	-SHRA	9999	2000	13/08	1012
23:00							
14-	210	32G44	-DZ	9999	2000	13/08	1012
23:00							
14-	210	29	-DZ	9999	2000	12/08	1012
23:30							
14-	210	27G37	-DZ	9999	2000	12/09	1013
23:39							
15-	220	27G37	-SHRA	9999	1800	12/08	1013
00:00							
15-	220	27G37	-SHRA	9999	1800	12/08	1013
00:00							
15-	220	26	-DZ	9999	1800	12/08	1013
00:30							

15-	220	25G35	-DZ	9999	1800	13/08	1013
00:56							

Kod	Tanım
DZ	Çisenti
RA	Yağmur
SHRA	Sağanak Yağmur
TSRA	Gök Gürültülü Yağmur Sağanağı
(-) ön eki	Hafif
( ) ön ek kullanılmaz	Orta
(+) ön eki	Şiddetli

Tablo2: Tablo 1 için Metar ve Speci rasatları hava hadise ve şiddet kod tanımları.

### 4. SONUÇ VE ÖNERİ

14 Ekim 2014 tarihinde Sidney Şehri ve çevresinde gök gürültülü fırtına meydana gelmiştir. Fırtınayla birlikte meydana gelen ekstrem yağışlar ve hızı 115 km/saat'i geçen maksimum rüzgar hamle değerleri hayatı olumsuz olarak etkilemiştir. Sidney' deki havalimanının 9 yıllık maksimum rüzgar hamle değerlerini incelediğimizde Sidney Kingsford Smith Uluslararası Havalimanı'nda hamle değeri en yüksek değer olan 57 knots'lık rüzgar değerinin ölçüldüğü kaydedilmiştir.

Sinoptik ölçekte Sidney' in güney batı bölgeleri üzerinde bulunan konverjans hattının hızla Sidney üzerine gelmesi ve okyanus üzerinden nemle beslenmesi konvektiviteyi artırmıştır. Uydu görüntüleri de bu konvektiviteyi desteklemektedir. Uydu görüntüleri Sidney Uluslararası Havalimanı ve çevresinde görülen ekstrem yağışları ve boran hadisesinin gelişimini göstermektedir. Sidney Uluslararası Havalimanı' nda yerel saatle 20:42(UTC +11) itibariyle şiddetli gök gürültülü sağanak yağış meydana gelmiştir. Yüksek bölgelerde ise kar yağışı meydana gelmiştir. Sidney ve Sidney Uluslararası Havalimanı ve çevresinde meydana gelen oraj hücresinin radar ve uydu görüntüleri ve havalimanı rüzgar değerleri dikkate alınarak çok hücreli gök gürültülü fırtına olduğu sonucuna varılmıştır.

İleride yapılacak olan çalışmalarda Sidney Uluslararası Havalimanı üzerinde meydana gelen "boran" hadisesi zamanında pistler üzerinde meydana gelen konverjans ve vortisiti değerleri hesaplanarak, zamansal değişimi incelenebilir. İleride yapılacak olan çalışmalarda Sidney Uluslararası Havalimanı üzerinde meydana gelen "boran" hadisesi zamanında pistler üzerinde meydana gelen konverjans ve vortisiti değerleri hesaplanarak, zamansal değişimi incelenebilir.

### KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <https://www.washingtonpost.com/news/capital-weather-gang/wp/2014/10/14/freakstorm-brings-flooding-to-sydney-australia-snow-to-nearby-mountains/ >, alıntılanma tarihi: 01.11.2023.
- [2] **Url-2** < http://www.bom.gov.au/climate/current/annual/nsw/archive/2014.sydney.shtml >,alıntılanma tarihi: 01.11.2023.
- [3] **Url-3** < https://www.smh.com.au/environment/weather/sydney-weather-thunderstorm-rages-through-city-20141014-1164cj.html >, alıntılanma tarihi: 04.11.2023.
- [4] Url-4 < https://www.theguardian.com/australia-news/2014/oct/15/nsw-storm-brings-high-winds-heavy-rain, >,a lintilanma tarihi: 04.11.2023.
- [5] Url-5 <a href="http://www.bom.gov.au/">http://www.bom.gov.au/</a>, https://m.facebook.com/HigginsStormChasing/photos/top-priority-for-immediatebroadcastdetailed-severe-thunderstorm-warningfordest/707159059379884/?locale=ms\_MY >,a lintilanma tarihi: 04.11.2023.
- [6] Özdemir, E. T. (2017). İstanbul'un Fırtınalarının Araştırılması, IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, Tikdek 2017, 5-7 Temmuz 2017, İstanbul. Kongre Bildiri Kitabı.
- [7] Warren, R. A., Ramsay H. A., vd (2019). Weather Radar- based climatology of damaging hailstorms in Brisbane and Sydney, Australia, 2019. Weather, 146(726), 505-330.
- [8] **Url-6** <https://www.australianweathernews.com/news/2014/141014.SHTML>, alıntılanma tarihi: 01.11.2023
- [9] Url-7 <http://www.bom.gov.au/australia/charts/archive/index.shtml>, alıntılanma tarihi: 04.11.2023
- [10] Url-8 < https://www.wetter3.de/archiv\_gfs\_dt.html >, alıntılanma tarihi: 04.11.2023
- [11] **Url-9** <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html >, alıntılanma tarihi 01.11.2023.
- [12] Url-10 <https://www.australianweathernews.com/news/2014/141014.SHTML>, alıntılanma tarihi 01.11.2023.
- [13] Url-11 <https://twitter.com/TonyAuden/status/522010079717892097>, alıntılanma tarihi 01.11.2023.
- [14] **Url-12** <https://weatherspark.com/h/m/144544/2014/10/Historical-Weather-in-October-2014-in-Sydney-Australia >, alıntılanma tarihi 04.11.2023.
- [15] **Url-13** <https://www.ogimet.com/display\_metars2.php lang=ben en&lugar=yssy&tipo=ALL&ord=DIR&nil=NO&fmt=html&ano=2014&mes=10&day=14 &hora=00&anof=2014&mesf=10&dayf=15&horaf=00&minf=59&send=send >, alıntılanma tarihi 01.11.2023.

# Radar Verilerinden Üç Boyutlu Görselleştirme

Muhammed Kuddusi SARI

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Telekomünikasyon Şube Müdürlüğü Ankara mksari@mgm.gov.tr

Yasin ESEN Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yazılım Geliştirme Şube Müdürlüğü Ankara yesen@mgm.gov.tr

## ÖZET

Mevcut hava durumunun izlenmesi ve gelecekteki hava durumunun tahmin edilebilmesi amacıyla çok sayıda algılayıcıdan faydalanılmaktadır. Meteorolojik uydular, yer istasyonları, balonlar ve radarlar aynı amaçla kullanılan algılayıcılardır. Radar verileri, kilometrelerce alanı kapsadığı ve gerçek zamanlı veri sağladıkları için hava durumunun tayini açısından oldukça önemlidir. Radar görüntüleri tipik olarak her yükselme açısı için iki boyutlu görüntüler olarak verilmektedir. Bu çalışma, esas olarak CT ve MRI tarama veri görüntülerinin üç boyutlu modellemesinde kullanılan yürüyen küpler (marching cubes) algoritması ile radar verilerinin üç-boyutlu olarak gösterilmesi üzerine yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, mevcut hava durumunun zihinde canlandırılması ve yorumlanmasını kolaylaştırmaktır.

Anahtar Kelimeler — radar görüntüleri, üç boyutlu görselleştirme, marching cubes

## 1. GİRİŞ

Mevcut hava durumunun izlenmesi ve gelecekteki hava durumunun tahmin edilebilmesi amacıyla çok sayıda algılayıcıdan faydalanılmaktadır. Meteorolojik uydular, yer istasyonları, balonlar ve radarlar aynı amaçla kullanılan algılayıcılardır. Radar verileri, kilometrelerce alanı kapsadığı ve gerçek zamanlı veri sağladıkları için havacılık açısından oldukça önemlidir.

Radar görüntüleri, tanımlanmış elevasyon açıları ile gönderilen sinyallerin geri dönüşlerinin piksel olarak renklendirilmesi sonucunda oluşan resim dosyaları ile sunulmaktadır. Bu çalışma ile; noktasal verilerden hacimsel görselleştirme yapılarak, görüntünün gerçeğe yakın bir biçimde zihinde canlandırılması ve yorumlanmasının kolaylaştırılması amaçlanmıştır.

# 2. METEOROLOJİ RADARI GÖRÜNTÜLERİ

Meteoroloji Radarları, 360° 'lik azimut ve tanımlanmış elevasyon açıları ile tarama yapmak üzere programlanmış bir dizi hareket düzeni içerisindedir. Tarama esnasında atmosfere elektromanyetik dalgalar gönderilir ve atmosferdeki nesnelerden geri alınan yansımalar (eko) ölçülür. Yansıyan sinyaller yağış kategorilerinin belirlenmesine yardımcı olur ve hava hadiselerinin konumu ve şiddeti hesaplanır.

Radar yazılımları tarafından reflektivite değerlerine karşılık gelen yağış tipleri ve istenmeyen eko kaynakları hesaplanır. Bunlar şu şekildedir:

Su içeren fakat yağış vermeyen sis-bulutlar	< 0 dBZ
Buz parçacıkları içeren bulutlar	20 dBZ'ye kadar
Çisenti	0-20 dBZ
Hafif yağmur	10-30 dBZ
Şiddetli yağmur - hafif sağanak	30-45 dBZ
Şiddetli sağanak	>40-65 dBZ'ye kadar
Dolu	Donma seviyesi üzerinde dBZ>45
	dBZ>55 ise tüm yüksekliklerde mümkün
Kar	35 dBZ'ye kadar
Duman – toz - böcek	10 dBZ'ye kadar
Clutter (yeryüzünden, binalardan, ağaçlardan,	Filtrasyon yapılmadığında 80 dBZ'ye kadar
su yüzeylerinden vb. Olan istenmeyen ekolar	
Kuşlar	20 dBZ'ye kadar

Tablo 1: Reflektivite değerlerine karşılık gelen yağış tipleri ve istenmeyen ekolar.

## **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Radar ürünlerinin üç boyutlu olarak görselleştirilmesi amacıyla bu çalışmada kullanılan yürüyen küpler (marching cubes) algoritmasının çalışma şeklinin anlaşılabilmesi için, öncelikle 2 boyutlu durumlar için kullanılan yürüyen kareler (marching squares) algoritmasının anlaşılması gerekmektedir.

# 3.1. Yürüyen Kareler (Marching Squares) Algoritması

Yürüyen kareler algoritması, 1980'lerde ortaya çıkan ve şekillendirme için kullanılabilen bir bilgisayar grafik algoritmasıdır. Bu algoritma, köşelerin belirli ağırlıklarını ve bir referans değerini dikkate alarak bir karenin kenarları boyunca enterpolasyonlu değerler arasına çizgiler çekmeyi amaçlar.

Yürüyen kareler algoritması, dikdörtgensel ızgaranın her bir dikdörtgenini ayrı ayrı inceler ve oluşturulacak eş yükselti eğrilerinin her bir dikdörtgenin hangi kenarlarını keseceğini belirler. Bulunan kesim noktaları birleştirilerek oluşturulan doğruların birleşimi, istenilen eş yükselti eğrilerini verir [1].

Şekil 1: Dikdörtgensel ızgara.

Eş yükselti eğrisi dikdörtgenleri bir köşesi 1, diğer köşesi 0 ile damgalı kenarlardan keser. Şekil 2'de görüleceği gibi, koyu renkli köşeler 1 ile damgalı köşeleri temsil etmektedir.



Şekil 2: Eş yükselti eğrisinin dikdörtgenleri kesmesi durumu.

Bir dikdörtgenin köşeleri 1 veya 0 ile damgalı olmak üzere iki tip durumda bulunabileceğinden ve bir dikdörtgenin dört köşesi olduğundan, oluşturulacak eş yükselti eğrileri bir dikdörtgeni  $2^4 = 16$  durumda kesebilir.



Şekil 3: Eş yükselti eğrilerinin bir dikdörtgeni kesebileceği 16 durum.

2 boyutlu bir nesneyi yürüyen kareler algoritması ile inceleyelim. Nesne öncelikle karelere bölünür, hangi köşelerin nesne içerisinde, hangilerinin nesne dışında olduğu belirlenir, içeride kalanlar kırmızı, dışarıda kalanlar mavi olarak etiketlenir. Orijinal yüzey, iç köşe ile dış köşe arasındaki her kenarda kareler ile (mor noktalar) kesişmelidir. Her kare içindeki mor noktaları birleştirdiğimizde artık orijinal yüzeyin yaklaşık bir tahminini elde etmiş oluruz.



Şekil 4: 2 boyutlu örnek nesnenin incelenmesi.

# 3.2 Yürüyen Küpler (Marching Cubes) Algoritması

Yürüyen küpler, 1987 yılında William E. Lorensen ve Harvey E. Cline tarafından yayınlanan, üç boyutlu ayrık bir skaler alandan bir izoyüzeyin poligonal ağını çıkarmak için kullanılan bir bilgisayar grafik algoritmasıdır. Bu algoritmanın uygulamaları esas olarak CT ve MRI tarama veri görüntüleri gibi tıbbi görselleştirmeler ve özel efektler veya genellikle üç boyutlu modelleme ile ilgilidir.

Algoritmanın temeli, giriş hacmini ayrı küplere bölmektir. Küpün 8 köşesinin tamamı pozitif veya negatifse, küp tamamen yüzeyin üstünde veya altındadır ve hiçbir üçgen oluşturmaz. Aksi durumda küp üzerinde üçgen oluşumu ile köşe oluşumu gözlenir. Her bir köşenin pozitif ya da negatif olması durumuna göre teknik olarak  $2^8 = 256$  konfigürasyon vardır. Ancak bunların çoğu birbirine eşdeğer olduğundan 15 benzersiz durum bulunur [2].



Şekil 5: Yürüyen küpler algoritmasında 15 benzersiz durum.

Radarın tarama esnasında yansıyan sinyallerden noktasal olarak elde edilen bir ölçümü hacimsel olarak görselleştirmek için, marching cubes algoritması vasıtasıyla, ortaya çıkan küpler ve küp içerisindeki üçgensel oluşumların bir arada gösterimi, bize hacimsel gösterim imkanı sunmaktadır.

# 3.3. Uygulamanın Geliştirilmesi

Uygulamanın geliştirilmesi aşamasında, noktasal verilerin üç boyutlu olarak görüntülenebilmesi amacıyla bilgisayar, konsol ve mobil cihazlar için video oyunları ve simülasyonlar geliştirmek için kullanılan ve aslında bir oyun motoru olan Unity ile çalışılmıştır. Unity üzerinde yürüyen küpler algoritması kullanılarak, C# ve HLSL (High Level Shader Language) kodları kullanılmış ve mesh yapısı oluşturulmuştur. Veri okuma işlemi C# kodları ile yapılırken, CPU üzerinde veri işleme hızı daha yavaş olacağından, HLSL ile ekran kartı işlemcisi (GPU) kullanılarak mesh yapısı elde edilmektedir. Elde edilen mesh (ağ) işlenerek hacimsel olarak render edilmektedir.

# 3.4. Yazılımın Radar Verilerine Uygulanması

Yürüyen küpler algoritmasının radar verilerine uygulanması amacıyla örnek bir olay olarak Sivas ili civarında 07 Temmuz 2023 tarihi 15:00 (TSİ) dolaylarında gerçekleşen kuvvetli hava olayı incelenmiştir. Yazılım ile ilgili zamana ait elde edilen görüntü Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6: 07.07.2023 tarihinde gerçekleşen yağışın yazılım ile görüntülenmesi.

Hava olayının yaşandığı zamanda bölgeden çekilen bir fotoğraf ise aşağıda verilmiştir.



Şekil 7: 07.07.2023 tarihinde gerçekleşen yağışın fotoğrafi.

Hacimsel radar görüntüsü, yaklaşık açı üzerinden (Sivas merkezden doğu yönü) fotoğraf ile birleştirildiğinde aşağıdaki görüntü elde edilmiştir.



Şekil 8: Uygulama çıktısı ile fotoğrafın üst üste bindirilmesi.

Başka bir olay incelemesi ise 02 Eylül 2023 tarihinde Sivas ili Altınyayla ilçesinde gerçekleşen dolu yağışı üzerine yapılmıştır. İlgili zamana ait radar görüntüsü Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9: 02.09.2023 tarihli Sivas ili Altınyayla ilçesi dolu yağışı MAX radar görüntüsü.

İlgili zamana ait yazılımdan elde edilen hacimsel görüntü ise Şekil 10 ve 11'de verilmiştir.



Şekil 10: 02.09.2023 tarihli Sivas ili Altınyayla ilçesi dolu yağışının yazılımdaki görüntüsü. 485



Şekil 11: : 02.09.2023 tarihli Sivas ili Altınyayla ilçesi dolu yağışının farklı açıdan görüntüsü.

#### 4. SONUÇLAR

MR ve CTI tarama sonuçlarının üç boyutlu olarak görüntülenmesi için geliştirilen yürüyen küpler (marching cubes) algoritmasının, meteorolojik radar ürünlerine uygulanması durumunun incelendiği bu çalışmada, belirli bir gün ve yerdeki hava olayına ait inceleme yapılmıştır. Bu çalışma, kullanıcının mevcut hava durumunu daha iyi analiz edebilmesini, yağış durumunu hacimsel olarak zihinde canlandırmasını kolaylaştırmaktadır.

Sonuç olarak yürüyen küpler (marching cubes) algoritması, meteorolojik radar ürünleri için de kullanılabilir niteliktedir. Türkiye haritasının tümünü kapsayacak ve eş zamanlı verilerin de gösterilebileceği yazılımsal gelişmelere temel oluşturabilecek bir çalışmadır.

#### KAYNAKLAR

[1] **Kavafoğlu Z.,** 3B Konumsal Verilerin Modellenmesi ve Görsellenmesi, Hacettepe Üniversitesi Matematik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2010.

[2] Fisher M., Marching Cubes, Stanford University Web Page,

https://graphics.stanford.edu/~mdfisher/MarchingCubes.html, 2014.

# Sayısal Hava Tahmin Modelleri-Infoworks ICM Kullanılarak Yağış-Akış Tahmini-Karabük Yenice Örneği

#### Mehmet SOYLU

Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Taşkın Tahmini ve Erken Uyarı Merkezi Çalışma Grubu Ankara soylu.mehmet@tarimorman.gov.tr

> Yezdan YILMAZ Meteoroloji Genel Müdürlüğü Sayısal Hava Tahmini Şube Müdürlüğü Ankara yeyilmaz@mgm.gov.tr

> Murat PINARLIK İnşaat Mühendisliği Teknoloji Fakültesi Gazi Üniversitesi Ankara muratpinarlik@gazi.edu.tr

#### ÖZET

Günümüzde yağış-akış modelleri maksimum akımların tahmin edilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Gelişen yazılım teknolojileri sayesinde bütünleşik havza modelleme araçlarıyla; yağış tahmininden alansal yağışa, hesaplanan yağıştan akışa, akış tahmininden hidrolik nehir modellemesine, entegre süreçler yönetilmektedir. ICM (Integrated Cathcment Model) programında, yersel ve uzaktan algılama ürün girdilerini (yağış, sıcaklık, sayısal hava tahmin ürünleri vb.) kullanarak gerçekleşen ve tahmin edilen yağışların karşılaştırılması mümkündür. Bu çalışmada, Karabük İli Yenice Irmağında ölçülen akım verileri, ICM kullanılarak hesaplanan akım verileri ile karşılaştırılmış ve programın maksimum akımlarda başarı oranları analiz edilmiştir. Ayrıca, gerçekleşen yağışlar alansallaştırılarak havzaya düşen ortalama yağış hesaplanmış ve olaya ilişkin radar görüntüleri kullanılarak doğrulaması yapılmıştır. Sonuç olarak; çalışma alanında yer alan E13A036 nolu Agide (Akım Gözlem İstasyonu) ölçülen akım ile programın hesapladığı maksimum akım arasında yüksek oranda tutarılılık gözlenmiş, otomatik meteoroloji gözlem istasyonları (OMGİ) verileri kullanılarak hesaplanan akış verilerinde aynı tutarılılık gözlenememiştir. Programın, akım gözlem istasyonun havzasının tamamına homojen dağılan yağışın olması sebebiyle yüksek tutarlığa sahip olduğu

tespit edilmişir. Omgi sayılarının artırılması sonucu gerçekleşen alansal yağıştan hesaplanan akımın tutarlılığın artabileceği anlaşılmıştır.

## Anahtar Kelimeler — Sayısal Hava Tahmini; Yağış; Akış; Uzaktan Algılama; OMGİ.

# 1. GİRİŞ

Su, doğal afetlerin en yaygın nedenlerinden biridir. Sel, taşkın, fırtına, kasırga gibi doğal afetlerin birçoğu su ile ilişkilidir. Suyun etkin yönetimi, kaynağından ulaştığı son noktaya kadar takibi ile mümkün olmaktadır. Bu nedenle havza ölçeğinde planlama ve analiz yapmaya gerek duyulmaktadır.

Havza işleyişinin ve hidrolojik yapısının anlaşılması, hidrolojik tasarım ve tahmin uygulamaları, iklim değişiminin su kaynakları üzerindeki nicel ve nitel etkisini belirlemek ve/veya tahmin etmek için hidrolojik modellerin kullanımına gerek duyulmaktadır. (Şorman, 2015)

Ülkemizde ve dünyada çok sayıda hidrolojik model ve bu modelleri içeren yazılımlar kullanıldığı görülmektedir. Bir uygulamada hidrolojik modeli seçmek için birçok kriter gözetilebilir. Bu kriterlerin en başında modellerde kullanılacak verilerin temini ve çeşitliliği gelmektedir. Gelişen yazılım teknolojileri sayesinde bütünleşik havza modelleme araçlarıyla yağışın tahmini kullanılarak akış tahmini yapmak mümkün olmuştur.

Bu çalışmada kullanılan ICM yazılımı ile sayısal hava tahmin ürünleri kullanılarak akışlar hesaplanmış, gerçekleşen yağışlar ve akımlar ile karşılaştırılmıştır.

## 2. YÖNTEM

ICM yazılımında farklı amaçlara uygun 15 farklı hidrolojik model bulunmaktadır. Bu çalışmada Şekil-1 deki PDM (Probability Distributed Model - Olasılık Dağılımlı Model) modeli kullanılmıştır. Olasılık Dağılımlı Model (PDM) veya PDM, yağış ve buharlaşmanın zaman serilerini havza çıkışında nehir akışına dönüştüren genel bir kavramsal yağış-akış modelidir. PDM, çok çeşitli su havzalarında ve hidrolojik koşullarda başarıyla uygulanmıştır. Operasyonel akış tahmini, hidrolojik tasarım ve iklim değişikliğinin hidrolojik etki değerlendirmeleri gibi çeşitli amaçlarla da kullanılmıştır. PDM'nin güçlü yönlerinden biri, esnek ve özelleştirilebilir olmasıdır. Model, su havzasının özel özelliklerine uyacak şekilde uyarlanabilir. Genel olarak, PDM yağış-akış modellemesi ve tahmini için güçlü ve pratik bir araçtır. Ancak, diğer tüm hidrolojik modeller gibi,

PDM'nin de bazı sınırlamaları vardır. Örneğin, PDM'nin doğru çalışabilmesi için su havzası hakkında iyi bir veri tabanına ihtiyaç vardır. Sonuç olarak, PDM yağış-akış modellemesi ve tahmini için uygun bir araçtır, ancak doğru sınır koşulları ve uygun havza modellerinde kullanılmalıdır.(Moore, 2007)



The Probability Distributed Model (PDM)

Şekil – 1 (Moore, 2007)

#### 2.1 Çalışma alanı

Bu çalışmada Devlet Su İşlerinin (DSİ) Karabük ili Yenice ilçesinde bulunan Şekil-2 de gösterilen, E13A036 akım gözlem istasyonun(AGİ) yağış alanı ve gerçekleşen akım verileri kullanılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğünün(MGM) havzayla ilişkili 25 adet otomatik meteoroloji gözlem istasyonu(OMGİ) gerçekleşen saatlik yağış verileri, sayısal hava tahmin modellerinin havza alanı içinde kalan yağış tahmini verileri kullanılmıştır. 25 Haziran 2022 - 27 Haziran 2022 tarihleri arasında gerçekleşen yağışlar, sayısal hava tahmin modellerinin yağış ürünleri ve akım gözlem istasyonunda gerçekleşen akış analiz edilmiştir.



Şekil-2 Çalışma Alanı

## 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada kullanılan E13A036 Yenice akım gözlem istasyonunun yağış alanı 8966 km<sup>2</sup>, deniz seviyesinden yüksekliği 117 metredir. Aginin havzasında ve ilişkisinde bulunan 25 adet Omgi nin saatlik yağış verileri Şekil-3 te gösterilen thiessen çokgenleri yöntemi ile hesaplanmıştır.



Şekil-3 Thiessen Çokgenleri

Havzaya düşen saatlik yağış verileri ve havza alanı içinde kalan MGM sayısal hava tahmin modellerinin yağış tahmin ürünleri ICM yazılımında PDM modeli kullanılarak ayrı ayrı akış tahmini

yapılmıştır. Şekil-4 te gösterilen 3 ayrı sayısal hava tahmin modelinden en yüksek akış tahmini WRF modelinin çıktıları ile, en düşük akış tahmini ise thiessen yöntemi ile OMGİ'lerden elde edilmiştir.



Şekil-4 Akış Tahmini

25 Haziran 2022 de başlayan yağışlar, 28 Haziran 2022 sabah saatlerine kadar devam etmiştir, 27 Haziran 2022 saat 20:00 de E13A036 nolu istasyondan veri akışı kesilmiş, istasyon yıkılmıştır. Gerçekleşen akım ile sayısal hava tahmin modelleri kullanılarak tahmin edilen akımdaki tutarlılık; WRF için %81, ECMWF için %87,2 ve ALARO %56,1 olmuştur. için Sonuç olarak sayısal hava tahmin modellerinin çıktıları havzanın bütününe düzgün yayılan yağış tahmini sebebiyle hem zaman hem de miktar açısından daha tutarlı akış tahmini yapılmasına olanak sağlamıştır. Yaklaşık 9000 km<sup>2</sup> büyüklüğünde havzada, topografik açıdan farklılık gösteren, daha çok alanda yağış gözleminin yapılması gerçekleşen yağışa bağlı akış tahmininin tutarlığını artıracağı düşüncesini ortaya koymaktadır.

### KAYNAKLAR

- [1] www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Taşkın%20SON/Hidrolojik%20Modellemeler%
   20ve%20Uygulamalar %20Doç.Dr.%20Aynur%20ŞORMAN.pdf
- [2] https://hess.copernicus.org/articles/11/483/2007/hess-11-483-2007.pdf
- [3] https://help2.innovyze.com/infoworksicm/InfoWorksICM.htm#HTML/ICM\_ILCM/Proba bility\_Distributed\_Model\_(PDM).htm%3FTocPath%3DDatabase%2520Items%7CNetwor ks%7CNetwork%2520Objects%7CSubcatchments%7CRunoff%2520Surfaces%7CRunoff %2520Models%7CRunoff%2520Volume%2520Models%2520%7C\_\_\_11
- [4] B. N. Boots (1980) Weighting Thiessen Polygons, Economic Geography, 56:3, 248-259, DOI: <u>10.2307/142716</u>

# Radar Nicel Yağış Tahminlerinin Farklı İstatistiksel Yöntemlerle İyileştirilmesi

Mervegül Özdaş

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü Ankara mozdas@mgm.gov.tr

### ÖZET

İklim değişikliği ile yaşanan afetlerdeki artış tüm dünyayı yakından ilgilendirmektedir. Afetlerdeki artış sıklığı, can ve mal kayıplarındaki artışa ve buna bağlı hasarın uzun sürede telafi edilememesi gibi önemli faktörler, yaşanan afetlerde alınacak tedbirlerin önemli olduğunu tekrar vurgulamaktadır. Bu gibi sebeplerden ötürü, erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesini ve yağış tahminlerindeki iyileştirmelere bağlı olarak bu sistemlere sağlanan verilerin tutarlı olması önem arz etmektedir. Bu çalışmada, meteoroloji radarı yağış verileri ve yer gözlem istasyonlarından elde edilen yağış verilerin farklı istatiksel metotlar kullanılarak iyileştirmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yaygın olarak kullanılan Inverse Distance Weighted (IDW), Ordinary Kriging ve kullanılan bölgenin orografik durumu da dâhil edilerek hesaplanan Kriging with External Drift istatistiksel yöntemleri ile 5 Eylül 2023 tarihinde, İstanbul ilinde meydana gelen yağış hadisesi incelenmiştir. Bu incelemenin amaçları arasında operasyonel olarak kullanımı için uygunluğu da araştırmanın bir alt konusu olarak ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler — radar, wradlib, remote sensing, rainfall estimation, QPE.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde iklim değisikliği, asırı hava olaylarının olma sıklığındaki artıs, tarım, hayvancılık gibi ekonomik faaliyetlerdeki kötü yönde etkileri ve benzer şekilde insan topluluklarının yaşadığı köy, kent, kasabalar gibi yerleşim yerlerinde etkisini ciddi şekilde hissettirmeye başlamıştır. Çevre Şehircilik İklim Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2022 yılı iklim değerlendirmesi raporuna göre, 1030 ekstrem olay sayısı ile en fazla ekstrem olay yaşanan yıl olmuştur. Ekstrem hava olaylarında özellikle son 20 yılda artış eğilimi vardır. Rapora göre, 2022 yılı içerisinde gerçeklesen ekstrem hava olaylarının yaklaşık %33'u şiddetli yağışların oluşturduğu belirtilmiştir. Ekstrem hava olaylarındaki artış, bu bölgelerde yapılan meteorolojik tahminlerin doğruluk oranlarının ve yağıs miktarlarının hesaplanmasının öneminin kacınılmaz olduğunu göstermektedir [1]. Bu sebeplerden ötürü erken uyarı sistemlerinin iyileştirilmesi için yapılan çalışmalar arasında radardan elde edilen yağış verilerinin farklı istatistiksel yöntemler kullanılarak enterpolasyon yöntemleriyle iyileştirilmesi erken uyarı sistemlerinde kullanılan model için bir başlangıç verisi niteliğinde kullanılabilir. Bunun ötesinde, yapay zekâ ile model eğitimi yapılarak benzer özelliklere sahip olan veriler ile yağışın niteliği ve niceliği hakkında yapılan çalışmalara katkı sağlanabilir. Bu çalışma erken uyarı sistemlerinin daha güvenilir çalışmasına katkı sağlamak amacıyla İstanbul ilindeki 5 Eylül 2023 tarihinde meydana gelen yağış hadisesini inceleyerek bu metotların yer ölçüm cihazlarından elde edilen verilerle ne kadar uyumlu olduğu incelenmiştir.

## 2. METOTLAR VE ÇALIŞMA BÖLGESİ

Bu çalışmada kullanılan yöntemler Inverse Distance Weighted (IDW), Ordinary Kriging (OK) ve Kriging with External Drift olarak listelenebilir. Çalışma bölgesi olarak İstanbul şehri seçilmiştir.

#### İstatistiksel Yöntemler

#### 2.1.1. Inverse Distance Weighted (IDW)

Ters Mesafe Ağırlıklandırma olarak literatürde yer alan bu yöntem birbirine yakın olan gözlem değerlerinin birbirlerinden uzak olan gözlem değerlerine göre daha benzer olabileceği yaklaşımından yola çıkarak ölçüm yapılamayan noktaların değerlerini tahmin edilebilmek için kullanılan bir yöntemdir. Tahmini yapılmak istenen değeri bu noktayı çevreleyen en yakın komşuluklarının etkisinin daha fazla olacağı ve uzakta bulunan noktaların etkisinin daha az olduğu süreklilik oluşturacak bir dağılımla açıklanabilir. Bu dağılım mesafe ile ters orantılı olacak şekilde olan bir fonksiyonu şeklinde nitelendirilebilir. Bu sebeple Ters Mesafe Ağırlıklandırma olarak

isimlendirilmektedir [2]. Denklem 1'de belirtilen u(x), konuma bağlı, reel sayılar kümesinde tanımlı IDW enterpolasyon fonksiyonudur.

$$u(x) = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^{N} w_i(x)u_i}{\sum_{i=1}^{N} w_i(x)}; & \text{if } d(x, x_i) \neq 0 \text{ bütün i değerleri için,} \\ u_i ; & \text{if } d(x, x_i) = 0 \text{ bazı i değerleri için,} \end{cases}$$

$$(1)$$

IDW fonksiyonunun tanımlandığı koşulda w(x) ise ağırlık fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$w_i(x) = \frac{1}{d(x,x_i)^p} \tag{2}$$

#### 2.1.2. Ordinary Kriging ve Kriging with External Drift

Kriging metodu IDW'den farklı olarak, enterpole edilmek istenilen noktayı tahmin ederken, verilerin tahmin edilmesi istenilen noktayla olan uzaklık ve ağırlık ilişkisinin yanı sıra, gözlem değerlerinin kendi arasındaki ilişkiyi de hesaba katarak enterpolasyonu hesaplamak için tasarlanmış bir modeldir. Kriging yöntemi diğer metotlarla karşılaştırıldığında yansız sonuçlara daha yatkın ve düşük varyans ve enterpolasyona ait standart sapmanın hesaplanmasına imkân sağlamaktadır [3-5].

Uygun ağırlık değerlerini Kriging yönteminde bilinen konumsal ilişkiyle bir variogram kullanılarak hesaplanabilmektedir [3-6]. Enterpole edilecek nokta için hesaplanacak variogram her bir noktanın varyansı hesaplatılarak elde edilmektedir.

$$C(h) = C[Z(x), Z(x+h)] = E[\{Z(x)\}\{Z(x+h) - \mu^2\}]$$
(3)

Denklem 2'de, E beklenen değer, C(h) kovaryans olarak tanımlanmakta olup  $\mu$  tahmini yapılacak nokta için hesaplanan ortalama değer olarak tanımlanmaktadır. h ise lag distance olarak ifade edilen değer ise variogram oluşturulurken belirlenen her bir h için varyans değeri hesabi yapılması için kullanılan bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[\left(Z(x+h) - Z(x)\right)^2]$$
(4)

Semi-varyans ise  $\gamma(h)$  fonksiyonu ile yukaridaki gibi tanimlanabilir. Semi-varyans ve kovaryans ilişkisi ise

$$\gamma(h) = \mathcal{C}(0) - \mathcal{C}(h) \tag{5}$$

#### şeklinde tanımlanabilir [8].

Ordinary Kriging ve Kriging with External Drift metotlarını birbirinden ayıran en belirgin faktör, Kriging with External Drift hesaplama işlemine dışarıdan bir parametre eklenerek enterpolasyonu ne derece etkilediği hakkında çalışma yapmaya olanak vermektedir [7]. Bu çalışmada, external drift olarak topografik yapı eklenmiştir. Enterpolasyon yapılırken, yer gözlem verilerinden ve radardan elde edilen verilerdeki her bir grid için yükseklik hesabı faktörü metoda eklenmiştir. Bu çalışma için 0.5° reflektivite değerleri alınarak QPE hesabı yapıldığı için en düşük seviyeden gönderilen ışının sabit olduğu yaklaşımına bağlı bir çalışma yapılmıştır.

#### Çalışma Bölgesi

5 Eylül 2023 17:00 (15:00 UTC) tarihli İstanbul'da gerçekleşen yağış verileri bu çalışma için seçilmiş olmakla birlikte kullanılan radar C bant bir radar olup yağış verisi olarak radar RAIN1 ürünü kullanılmıştır. RAIN1 ürünü saatlik yağış verilerini içeren bir QPE ürünüdür. İstanbul radarı yaklaşık olarak 250 km menzile sahiptir. Deniz seviyesinden yüksekliği 380 m olarak bu çalışmada kullanılmıştır. Ayrıca İstanbul radarı menzili içerisindeki 305 adet yer gözlem verisi bu çalışmada kullanılmıştır.

## VERİLER

İstanbul'da 5 Eylül 2023 17:00'da gerçekleşen yağışın verilerinin alındığı istasyonlar şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 2 ise olayın gerçekleştiği tarihteki İstanbul radarından alınan saatlik nicel yağmur tahminidir. Hadisenin gerçekleştiği sırada radar bazı bölgelerde yaklaşık 15 - 25 mm saatlik yağış göstermekle birlikte gözlem verilerinden toplanan maksimum saatlik yağış miktarı 5 - 6 mm civarında olup şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 3 - 5 sırasıyla IDW, Ordinary Kriging ve Kriging with External Drift enterpolasyon teknikleriyle iyileştirilmiş verilerin harita üzerine çizdirilmesi gösterilmiştir. Şekil 7 - 9 ise alınan sonuçların yer gözlem verileriyle korelasyonunu göstermektedir.



Şekil 1: Çalışmada kullanılan yer gözlem verilerinin harita üzerindeki gösterimi ve İstanbul radarının konumu.



Şekil 2: İstanbul radarından elde edilen saatlik yağış miktarı 5 Eylül 2023 15:00.



Şekil 3: Inverse Distance Weighted enterpolasyon tekniği kullanılarak düzeltilmiş saatlik yağış miktarı.



Şekil 4: Ordinary Kriging enterpolasyon tekniği kullanılarak düzeltilmiş saatlik yağış miktarı.



Şekil 5: Kriging with External Drift enterpolasyon tekniği kullanılarak düzeltilmiş saatlik yağış miktarı.



Şekil 6: Yer gözlem verilerinin radardan elde edilen verilerle kıyaslanması. Burada belirtilen R korelasyonu ifade etmektedir ve R=%7,4.



Şekil 7: Yer gözlem verilerinin IDW enterpolasyon tekniği kullanılarak düzeltilen yağış verilerinden elde edilen verilerle kıyaslanması. Burada belirtilen R korelasyonu ifade etmektedir ve R=% 92,8.



Şekil 8: Yer gözlem verilerinin Ordinary Kriging enterpolasyon tekniği kullanılarak düzeltilen yağış verilerinden elde edilen verilerle kıyaslanması. Burada belirtilen R korelasyonu ifade etmektedir ve R=% 91,4.



Şekil 9: Yer gözlem verilerinin Kriging with External Drift enterpolasyon tekniği kullanılarak düzeltilen yağış verilerinden elde edilen verilerle kıyaslanması. Burada belirtilen R korelasyonu ifade etmektedir ve R=% 64,3.

#### 3. SONUÇLAR

Yapılan değerlendirilmeler sonucu IDW yönteminin yaklaşık %93 değerinde bir korelasyona sahip olduğunu göstermiştir. Bunun yanı sıra benzer bir yöntem olan Ordinary Kriging ise en yakın komşulukların birbiriyle olan ilişkisini analize kattığında yaklaşık %91 oranında yer gözlem değerleriyle uyum içinde olduğunu kanıtladığı ama klasik bir yöntem olan IDW bu çalışma esasına dayanarak daha iyi sonuç verdiği, bu çalışma alanı ve veriler üzerinde değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra Kriging with External Drift için sonuçlarının ciddi oranda iyileştirmeye yönelik olduğunu fakat IDW ve Ordinary Kriging yöntemleri kadar başarıya ulaşamadığı gözlemlenmiştir. Bunun bir sebebinin kullanılan veri seti için yapılan sabit yükseklik yaklaşımından kaynaklandığını söylemek doğru olabilir. Yöntemin daha iyi sonuç verebilmesi için, sonraki çalışmalarda dikkate alınacak etkenlerden bir tanesinin elektromanyetik dalganın radardan atmosfere gönderildikten sonra dünyanın eğikliği, sıcaklık, nem gibi parametrelerden etkilenerek izlediği yolun sabit yükseklik olmamasından kaynaklı, bu yüksekliklerin hesaplanarak enterpolasyonun yeniden değerlendirilmesi daha doğru olacağı çalışmanın sonucu olarak söylemek doğru olabilir. Şekil 3'te dikkat edilmesi gereken noktalardan bir tanesi 42º enlemi 28º boylamı boyunca kuzeye doğru olan ve radarda gözlemlenemeyen bir değer tahmini bu sistemle devreye girmiştir. Radar menzilinde olmasına rağmen radardan çok uzakta bulunan bölgeler için yapılan tahminler yer seviyesinin yaklaşık 3 – 5
km üzerinden geçen bir sinyalden alınan verilerin doğruluğunu yer gözlem sistemleriyle iyileştirme yapıldıktan sonra bile doğruluğu sorgulanır nitelikte olmaktadır. Ayrıca bu bölge ülke sınırları içinde olmayıp ve bir kısım iyileştirme işlemleri deniz ile çevrili alanda kaldığı için bu bölgelerde validasyonu yapılabilecek bir veri dahil edilmemiştir. Benzer şekilde  $41^{\circ} - 42^{\circ}$  enlemleri ve  $28^{\circ} - 29^{\circ}$  boylamlarında kalan bölge için de yorum yapmak pek mümkün olmamıştır. Bu bölgelerin dışında kalan bölgeler radar ve yer gözlem verileri kullanılarak yapılan hesaplamalara göre iyi sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada wradlib kütüphanesi kullanılmış olup, çalışmada kullanılan metotlar yer gözlem verilerinin enterpolasyon yapılırken daha baskın olduğunu düşündürmektedir. Bunun sebebi yukarıda bahsedilen bölgelerde yer gözlem verilerinden elde edilen değerler radar verilerinden elde edilen değerlere kıyasla daha fazladır. Benzer gözlemler şekil 4 – 5'te de benzer özellik göstermektedir. Bu analizin doğruluğunu test etmek için başka bir bölge daha seçilerek benzer çalışmanın yapılması uygun olabilir.

Bunların yanı sıra bu yöntemlerin her birinin operasyonel olarak kullanıma uygunluğu için yapılan değerlendirmeler arasında enterpolasyonun yapılma süresi ve eğer yapılacaksa uygun çizimlerin yapılması gibi etkilerin süreyi ne kadar değiştirdiğine dair sonuç ise IDW yönteminin diğer yöntemlere göre 3 katına kadar daha kısa sürdüğü konusudur. Operasyonel anlamda kullanılabilir olması ise radar verilerinin ve yer gözlem verilerinin işleme hazır hale getirilebilmesi gibi faktörleri hesaba katılmadan yapılan bir ön değerlendirme olarak çalışmaya dahil edilmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. 2022 Yılı İklim Değerlendirmesi Raporu, (16-19), Ankara, 2023.
- [2] Tobler, W., A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, Economic Geography, 46(Supplement): 234–240, 1970.
- [3] **Deutsch, C.V., and Journal, A.G**., *Geostatistical Software Library And User's Guide*, Oxford University Press, Inc., New York, 1992.
- [4] Abtew, W., Obeysekera, J. and Shih, G., Spatial analysis for monthly rainfall in South Florida, Water Resources Bulletin, 29; 179-188, 1993.
- [5] **Başkan, O.**, *Gölbaşı yöresi topraklarının mühendislik, fiziksel özellik ilişkilerinde jeoistatistik uygulaması*, Doktora Tezi, A.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2004.
- [6] Inal, C., and Yigit, C.O., Jeodezik uygulamalarda kriging enterpolasyon yönteminin kullanabilrligi, TUJK 2003 Yili Bilimsel Toplantisi Cografi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Aglar Calistayi, Konya, 2003.

- [7] Erdin R, Frei C, Künsch H.R, Data transformation and uncertainty in geostatistical combination of radar and rain gauges, 2012.
- [8] Keller D., Evaluation and comparison of radar-rain gauge combination methods, Scientific Report MeteoSwiss No. 94

## 10-11 Eylül 2023 Tarihinde Meydana Gelen Daniel Medicane'inin Uydu Ve Sayisal Hava Tahmin Modelleriyle Incelenmesi

#### Berat ÇAVDAR

Meteoroloji 2. Bölge Müdürlüğü Akhisar Meteoroloji Müdürlüğü Manisa bcavdar@mgm.gov.tr

Muhammed ŞİMŞEK Meteoroloji 13. Bölge Müdürlüğü Elazığ Meydan Meteoroloji Müdürlüğü Elazığ msimsek@mgm.gov.tr

Abdullah Emre SAFİ Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü Çarşamba Meydan Meteoroloji Müdürlüğü Samsun aesafi@mgm.gov.tr

#### ÖZET

Daniel Medicane, Akdeniz üzerinde 10 Eylül 2023 tarihinde meydana gelen ve dünya genelinde büyük ilgi uyandıran bir tropikal firtına olayıdır. Bu olağanüstü doğal afet, özellikle Libya'nın doğusundaki Bingazi, Beyda, Merc, Suse ve Derne şehirlerinde büyük yıkımlara ve felaketlere neden olmuştur. Bu bölgelerde 24 saat içinde metrekareye 400 kg yağış düşmesi, sel ve taşkınların oluşmasına yol açarak binlerce insanın hayatını kaybetmesine ve on binlerce insanın evsiz kalmasına neden olmuştur.

Bu çalışma, Daniel Medicane olayının detaylı bir incelemesini sunmayı amaçlamaktadır. İncelenen veriler arasında sinoptik haritalar, uydu görüntüleri ve sayısal hava tahmin modelleri bulunmaktadır. Bu veriler, bu tür tropikal fırtınaların oluşumunu, hareketini ve şiddetini daha iyi anlamamıza yardımcı olmaktadır. Ayrıca, bu çalışma, bu tür olayların gelecekteki tahminlerine yardımcı olacak değerli verilerin elde edilmesine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler — Daniel Medicane, tropik siklon, şiddetli yağış, taşkın.

### 1. GİRİŞ

Akdeniz, siklon oluşumları açısından zengin bir alandır, Akdeniz'i çevreleyen Alpler, Pireneler ve Atlas dağları gibi belirli orografik yapılar vorteks gelişimine yönelik hava akışına yardımcı olur [1]. Akdeniz'de orta ölçekli aşırı alçak basınç sistemlerinin meydana geldiği durumlar da vardır. Uydular tarafından gözlemlenen bu siklonlar tropik siklonların özelliklerini taşıyan sistemler olarak ortaya çıkar. Medicane olarak adlandırılan Akdeniz Tropikal Benzeri Siklonlar -Mediterranean Tropical Like Cyclones (TLC) güçlü fırtınalar oluşturabilir. Kuvvetli rüzgarlar, şiddetli yağışlar ve gök gürültülü sağanak yağışlar, zaman zaman yaşam alanlarında ciddi hasarlara neden olurlar. Medicaneler, tarım arazilerinin ve yerleşim yerlerinin sular altında kalmasıyla veya iletişim ağlarında oluşturduğu zararlarla insan hayatı için maddi manevi risk oluşturmaktadır.

Medicane teriminin resmi bir meteorolojik tanımı yoktur, ancak sıklıkla Akdeniz'de oluşan, tropik bir kasırga özelliklerini kazanan ve bazen bir kasırga görünümüne sahip olan derin bir alçak basınç alanını tanımlamak için kullanılır. Tropikal siklonlar, enerjilerini sıcak okyanus yüzeyinden almaları, sıcak ve soğuk cephelerle ilişkili bulunmamaları ve çok güçlü rüzgarlara ve çok yoğun fırtına aktivitelerine sahip olmaları bakımından yüksek enlemlerde oluşan alçak basınç alanlarından farklıdır. Medicane oluşumu için gerekli faktörler biraz farklıdır. Soğuk hava Akdeniz üzerinden güneye doğru ilerlediğinde medicaneler gelişebilir. Her ne kadar alt atmosfer sıcak suyun üzerinde ısınsa da, üst atmosfer soğuk kalır, bu da lapse rate ve kararsızlığı artırır. Konvektif faaliyetler, önceden var olan soğuk bir çekirdeğin alçak basınç alanının merkezine yakın bir yerde gelişir. Konvektiviteyle yukarı tırmanan sıcak hava, siklonu tropik özelliklere sahip sıcak çekirdeğe dönüştürür. Bu süreç, subtropikal veya tropikal gelişmeyle sonuçlanan diğer okyanus bölgelerinde de meydana gelir. Yukarıdaki soğuk hava, su sıcaklıkları tipik tropik siklon gelişimi için çok soğuk olduğunda bile kararsızlığa ve konvektif aktiviteye izin verir. Üzerinden geçebilecekleri daha az ılık suya sahip olduklarından, medicanelerin kuvvetlenmek için daha az zamanları olur ve karaya çıkmadan önce yalnızca birkaç gün dayanabilirler. Medicanelerin teorik olarak maksimum potansiyel şiddeti, Saffir-Simpson kasırga rüzgar ölçeğinde en düşük sınıflandırma olan Kategori 1 kasırgaya eşdeğerdir. Bir siklonun tüm yaşam döngüsü birkaç günü kapsayabilirken, çoğu tropik özelliklerini yalnızca 24 saatten daha kısa bir süre korurlar. Medicaneler, genellikle capi 300 km'den az olan mezosiklonlardır, yuvarlak bir yapıya, sıcak bir çekirdeğe ve düşük basıncına sahiptirler [2]. Etkileri genellikle tropik fırtınalardan daha zayıf olsalar da, bazı durumlarda tropikal fırtına gücüne ulaşabilirler [3].

Miglietta vd. 2014 yılında, WRF modelini kullanarak yaptığı sayısal deneylerle Akdeniz tropikal siklonlarının yapısını ve yoğunluğunu simüle ettiler, ama yine de bu siklonların özellikleri, yaşam

süreleri ve gelişimleri hakkında genel bir bakış açısı ortaya koyamadılar [4]. Genel olarak, bu siklonların tespitinin zor olduğu kabul edilir ve yüksek düzeyde uzmanlık içerir. Bir medicanenin tanımlanabilmesi için çok sayıda kriter ve veri gereklidir; deniz gözlemleri, meteorolojik veriler ve haritalar ile birlikte en önemlisi de uydu gözlemlerinin çok iyi analiz edilmesi gerekir [5].

Daniel fırtınası ilk olarak 4 Eylül'de Yunanistan'ın üzerinde oluşmuş ve 18 aylık yağmuru sadece 24 saat içinde ülkenin bazı bölgelerine yağdırarak felaketle sonuçlanan su baskınlarına yol açmıştı. Daha sonra Akdeniz'i geçerken Daniel, aylarca sıcaklık rekoru kıran Akdeniz üzerinden geçerken güç kazandı ve medicane adı verilen bir Akdeniz fırtınasına dönüştü. Medicaneler Atlantik kasırgalarının yoğunluğuna yakın olan ve hatta bazen merkezlerinde belirgin bir göze sahip olan fırtınalardır. Daniel'in uydu fotoğraflarında bunun işaretleri mevcuttur.



EUMETSAT

Şekil 1: Daniel firtinasına ait bir uydu görüntüsü (Meteosat 11)



Şekil 2: Çalışma alanının konumu.

## 2. VERİ VE ANALİZ

## 2.1.Veri

Daniel fırtınasının etkisi Libya açısından yıkıcı oldu. Libya Ulusal Meteoroloji Merkezi'ne göre Daniel, 10 Eylül Pazar günü en yüksek yoğunluğa ulaştı ve 70 ila 80 km/saat (38 ila 44 knot) hızdaki sürekli rüzgarlarla beraber 414,1 milimetrelik günlük yağışıyla ülke rekoru kırdı. Edinilen bilgiye göre, Derna kenti yakınlarındaki iki baraj, sağanak yağış suyunu tutamayarak çöktü ve büyük bir taşkına neden oldu. Felakette binlerce kişi hayatını kaybetti ve on binlerce insan evsiz kaldı. Bu olayın ardından Libyalı yetkililer olağanüstü hal ilan etmek zorunda kaldı.

Bu çalışmada meteorolojik haritalar, uydu gözlemleri, sayısal hava tahmin ürünleri ve basından alınan veriler kullanılmıştır. Uydu gözlemleri, sayısal hava tahmin ürünleri ve haritalar Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışılan bölge için istatistik verileri sağlayan internet sitelerinden uzun yıllar ortalama verileri elde edilmiştir.

## 2.2.Analiz

Medicaneler yıl içerisinde nadir (yılda 1-3 civarında) görülürler, ancak sel, fırtına dalgası ve kuvvetli rüzgarlar nedeniyle karaya çıktığında yıkıcı etkilere sahip olurlar. Oluşumları çoğunlukla Batı Akdeniz'de ve İyonya Denizi ile Kuzey Afrika kıyıları arasında uzanan bölgededir. Akdeniz'den gelen ısı ve nem akışı medicane gelişmininde önemli bir rol oynar, bu akışlar sıcak deniz yüzeyi sayesinde artarlar. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 6. değerlendirme raporunda, küresel ısınmayla birlikte medicanelerin sıklığının azaldığına, ancak medicanelerin daha da güçlendiği sonucuna varmıştır.

Medicaneler ne kadar erken farkedilir ve gerekli önlemler erken alınırsa yıkıcı etkileri en düşük seviyede tutulur. Medicane'e dönüşme ihtimali olan Akdeniz fırtınaları oluşumundan itibaren dikkatle takip edilmeli, hareket yönü ve yoğunluğunun analizinin sürekli yapılması gerekir.

8-9-10-11 Eylül tarihlerinde Libya'nın kuzey doğusunda etkili olan alçak basınç sistemini incelediğimizde, nispeten yavaş hareket eden bir alçak basınç merkezi görürüz. Bu merkez Libya üzerinde kaldıkça siklonik dönüşlerle sürekli olarak denizden nem takviyesi almıştır. Bu sıcak ve nemli hava yukarı seviyelerdeki soğuk havayla birleşerek çok şiddetli yağışlar meydana getirmiştir. Bu yağış toprağı doygun hale getirmiş ve barajların doluluğunu arttırarak sel ve taşkınlara neden olmuştur.



Şekil 3: 8-9-10-11.09.2023 00:00UTC Yer kartları

Yer kartları incelendiğinde Libya'nın kuzey doğusunda bir alçak basınç sistemi ve buna bağlı soğuk cephenin bu bölgeyi etkisi altına aldığı görülmektedir. Soğuk cephenin özelliği olarak sıcak havanın hızlı yükselmesi, su buharının hızlı yoğunlaşmasına ve fırtına bulutlarının oluşmasına imkan verir. Bu hızlı gelişme, şiddetli sağanak yağışların ve gök gürültülü fırtınaların oluşması için ideal koşulları yaratır. Bu sistem Libya'nın kuzey doğusunda kuvvetli rüzgarlar ve şiddetli yağışlar meydana getirmiştir.



Şekil 4: 8-9-10-11.09.2023 00:00UTC 500hpa haritaları

500hpa yüksek seviye haritaları incelendiğinde 582 dekametrelik nispeten alçak kontur değerinin ve -7,5 soğuk hava kütlesinin orta Akdeniz'in güneyine kadar etkili olduğu görülmektedir. Eylül ayı Akdeniz'deki su sıcaklığının en yüksek olduğu zamanlardandır. Bu sıcak ve nemli hava atmosferin üst tabakalarındaki soğuk havayla karşılaşınca karasızlık artar ve dikine faaliyetlerin önünü açar. Atmosferdeki kararsızlık arttıkça, konvektif faaliyetlerin şiddeti de artarak kuvvetli rüzgarlara, şiddetli yağış ve dolu gibi hadiselerin oluşmasına neden olur. 500hpa haritalarından da görüldüğü üzere nispeten alçak kontur ve soğuk hava kuzey doğu Libya kıyılarına kadar inmiş, halihazırda sıcak olan bu bölgelerde kuvvetli rüzgarlar ve şiddetli yağışlar bırakmıştır.





Şekil 5: Sayısal hava tahmin ürünleri

Sayısal hava tahmin ürünleri incelendiğinde Libya'nın kuzey doğusunda kuvvetli rüzgarlar ve şiddetli yağışlar tahmin edilmiş fakat özellikle gerçekleşen yağış, ürünlerin verdiğinden çok daha fazla olmuştur.



Şekil 6: Renklendirilmiş kızılötesi uydu görüntüsü



Şekil 7: Konvektif firtına uydu görüntüsü



Şekil 8: Konvektif yağış yoğunluğu uydu görüntüsü



Şekil 9: Yağış olasılığı uydu görüntüsü



Şekil 10: Hızlı gelişen gök gürültülü sağanak yağış uydu görüntüsü

2023-09-10-12:00 - VIS



Şekil 11: Görünür kanal uydu görüntüsü

Uydu gözlemleri bize Daniel fırtınasının ne kadar geniş çaplı bir etkiye sahip olduğunu açık şekilde göstermiştir. Özellikle görünür kanal, kızılötesi ve konvektif fırtına uydu gözlemlerinde Daniel Medicane'inin ortasındaki gözü görmek mümkün.



Tablo 1: 1947-2021 yılları arasında Akdeniz firtinalarının görülme sıklığı [6].

Tablolardan da anlaşılacağı üzere Akdeniz fırtınaları yılın her döneminde görülebilir.





Yıkımın en fazla olduğu Darna kentinde eylül ayı senenin en sıcak aylarından biridir ve aylık ortalama yağış miktarı 5mm'yi geçmemektedir. Daniel Fırtınası gibi medicane felaketleri nispeten nadirdir ve Akdeniz'in batı kesiminde, kurak Libya kıyı şeridinden daha sık meydana gelirler [8]. Libya gibi kurak iklime sahip bölgelerde şiddetli yağışların gerçekleşmesi daha az beklenir. Bu durum, dayanıklı altyapı tasarlamayı ve inşa etmeye gerek olmayacağını düşündürür.





Şekil 12: Basından fotoğraflar

#### 3. SONUÇLAR

Küresel ısınmayla birlikte meteorolojik olayların şiddeti artış göstermektedir. Bu tür olayların zararlarını en aza indirmek için hadiselerin teşhisini mümkün olduğunca erken yapıp, gerekli uyarıların yapılıp gerekli tedbirlerin alınması şarttır. Bu tür afetlerle başa çıkabilmek için ilk olarak risklerin azaltılması gerekir. Bunun için; etkili bir taşkın tahmin sisteminin, tahmini yağış ve nehir seviyelerine ilişkin iyi verilere, zeminde iyi korunan ölçüm cihazları ağına ve taşkın tahmin sistemlerinin net bir planına ihtiyacı vardır [9]. Libya'da bir şehri yok eden yıkıcı sel felaketinden kaynaklanan trajik ölü sayısı, bu zincirin herhangi bir parçasının yerinde olmaması veya düzgün çalışmaması durumunda neler olabileceğini gösteriyor. Her ne kadar ani, çok şiddetli yağmurun kendi başına ani su baskınlarına yol açması mümkün olsa da, selin en kötüsünün bir baraj yıkımından kaynaklandığı görülüyor. Libya gibi ülkeler malesef yeterli sel ve erken uyarı sistemini oluşturmak için ideal ekonomik veya politik koşullara sahip değildir. Bu tür felaketlere önlem alınmadığında zararları maddi ve manevi olarak çok daha fazla olmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- Petterssen S. Weather Analysis and Forecasting. 2nd McGraw-Hill, New York (1956). V., Bildiri Başlığı, Dergi/Konferans Adı, (Sayfa Aralığı), Derginin Basıldığı/Konferansın Yapıldığı Yer, Yıl.
- Businger S. and Reed R. Cyclogenesis in cold air masses. Weather Forecast. 20, 133–156, 1989.
- [3] Akhtar N., Brauch J., Dobler A., Béranger K., and Ahrens B. Medicanes in an oceanatmosphere coupled regional climate model. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 2189–2201, (2014).

- [4] Miglietta M.M., Laviola S., Malvaldi A., Conte D., Levizzani V. and Price C. Analysis of tropicallike cyclones over the Mediterranean Sea through a combined modeling and satellite approach. Geophys. Res. Lett., 40(10), 2400–2405, (2013).
- [5] Tous M. and Romero R. Meteorological environments associated with medicane development. Int. J. Climatol. 33, 1–14, (2013).
- [6] Karavana-Papadimou K. and Matsangouras I.T., Tropical-Like Cyclones In The Mediterranean: Impacts And Composite Daily Means And Anomalies Of Synoptic Conditions, Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, 3, Greece, 3-5 September 2015.
- [7] https://climateknowledgeportal.worldbank.org, Son Kontrol: 02.11.2023.
- [8] https://www.reading.ac.uk, Son Kontrol: 02.11.2023.
- [9] https://www.reading.ac.uk, Son Kontrol: 02.11.2023.

## ALTAR Uygulamasının Havacılık Meteorolojisinde Operasyonel Kullanımı

#### **Murat YANIK**

Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2. Bölge Müdürlüğü Edremit Meteoroloji Müdürlüğü Balıkesir-Edremit myanik@mgm.gov.tr

Yusuf ÇALIK Meteoroloji Genel Müdürlüğü İklim ve Zirai Meteoroloji Dairesi Başkanlığı İklim ve İklim Değişikliği Şube Müdürlüğü Ankara ycalik@mgm.gov.tr

#### ÖZET

ALTAR (Airport Lightning and Thunderstorm Alert by Remote Sensing), meteorolojik uzaktan algılama verilerini kullanarak konvektif fırtına ve sis için otomatik uyarı veren, konvektif hücrelerin tespit ve kısa vadeli tahminini yapan, aynı zamanda havacılık meteorolojisinde öneme sahip METAR, TAF, SIGMET, meydan uyarı formları, meydan limit uyarıları ve gerçek zamanlı uçuş bilgilerini de anlık olarak sunan interaktif bir uygulamadır.

Kullanıma açıldığından beri hayli ilgi çeken uygulama, özellikle havaalanlarında çalışan meteoroloji personeli, kısa vadeli tahmin (nowcasting) yapan Bölgesel Uyarı ve Tahmin Merkezleri ile Türk Hava Yolları tarafından aktif olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada ALTAR uygulamasının havacılık meteorolojisi faaliyetlerine sağladığı katkılar ve uçuş operasyonlarında kullanımı anlatılmış, çalışma örnek görsellerle desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ALTAR, meteorolojik radar, uydu, havacılık, YTTS

## 1. GİRİŞ

ALTAR (Airport Lightning and Thunderstorm Alert by Remote Sensing), meteorolojik uzaktan algılama verilerini kullanarak konvektif fırtına ve sis için otomatik uyarı veren, konvektif hücrelerin tespit ve kısa vadeli tahminini yapan, aynı zamanda havacılık meteorolojisinde öneme sahip METAR, TAF, SIGMET, meydan uyarı formları, meydan limit uyarıları ve gerçek zamanlı uçuş bilgilerini de anlık olarak sunan web tabanlı interaktif bir uygulamadır.

Noktasal ya da bölgesel tahmin işiyle uğraşan tüm meteorologlar, gözlem ve tahmin sürecini takip edebilmek için farklı uygulamalar kullanmaktadırlar. Radar, uydu ve YTTS (Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi) gibi ürünler, bu sürecin ana aktörleridirler. ALTAR uygulaması, tüm bu ürünleri aynı uygulama altında birleştirerek, kullanıcıların aynı ekranda fazla sayıda ürüne ulaşma ihtiyacından doğmuştur. (Şekil 1)



Şekil 1: ALTAR uygulaması genel görünüş.

ALTAR uygulaması ihtiyaçlara göre geliştirilerek, çok sayıda bilgiyi aynı anda sunabilme özelliğine erişmiştir. ALTAR ile erişilebilen bilgiler şu şekildedir:

- Gerçek zamanlı radar, uydu, YTTS verileri
- Radar Tahmin Sistemi (TITAN)
- METAR, SPECI, TAF (Türkiye ve yurtdışı yakın meydanlar)
- SIGMET, GAMET
- AIRGRAM

- Meydan Uyarı Formları
- Meydan Limitleri ve Uyarıları
- Gerçek zamanlı uçuş bilgileri

## 2. ALTAR UYGULAMASININ HAVACILIK METEOROLOJİSİNDE OPERASYONEL KULLANIMI

Harita üzerinde görülmek istenen havayolu şirketleri için seçenek sekmesi. Halihazırda THY ALTAR uygulamasının aktif kullanıcılarındandır. Bu seçenek daha çok havayolu şirketlerine özel gibi görünse de, kullanıcı, kendi meydanından kalkış yapan ya da gelen havayolu şirketi için seçim yapıp, ekranında sadece ihtiyacı olanı görebilmektedir. (Şekil 2)

URAL(Şehir Merkezleri için Uyarı Sistemi) Havayolu Seç: Hepsi Hiçbiri THY Penasus	A L T A R Airport Lightning and Thunderstorm Alert by Remote Sensing v8.5	
Havayolu Seç: Hepsi Hepsi Hiçbiri THY Penasus	URAL(Şehir Merkezleri için Uyarı Sistemi)	
Hepsi	Havayolu Seç:	
Hepsi Hiçbiri THY Penasus	Hepsi 🗸	
Hiçbiri THY Penasus	Hepsi	
THY	Hiçbiri	
Pegasus	ТНҮ	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Pegasus	
SunExpress	SunExpress	

Şekil 2: Havayolu Seçim Sekmesi.

Havayolu şirketleri dışında, orman yangını dönemlerinde Orman Genel Müdürlüğünün yangın helikopterlerinin de konumu anlık olarak paylaşılmaktadır.

Uygulamada sivil ve askeri havaalanlarının koordinatları, pistlerin yönleri ile rasat ve tahminler için temsil alan yarıçapları (8 km, 16 km) belirtilmiştir.

Sivil, askeri ve yurtdışı yakın meydanlar tek tek ya da tamamı seçilerek, kullanıcıların ihtiyaçlarına göre harita gösterimi sağlanmaktadır. (Şekil 3)



Şekil 3: OGM Helikopter ve Havaalanı Seçim Sekmesi.

İlgili sekmeler ile, ALTAR Uyarı Sistemi ve Radar Tahmin Sistemi (TITAN) aktif edilebilmektedir.

ALTAR uyarı sistemi, meydan temsil alanı içinde meydana gelen konvektif faaliyet, sis ya da limit dışı rüzgâr gibi aktiviteler konusunda kullanıcıya ikaz vermektedir.

TITAN ise, konvektif faaliyete neden olabilecek hücrelerin hareket yönü konusunda tahminde bulunmaktadır. (Şekil 4)



Şekil 4: ALTAR Uyarı Sistemi ve Radar Tahmin Sistemi Sekmesi.

Uygulama üzerinde son METAR rasatlarından oluşturulan haritayı ve uçuş kategorisini (MVFR, IFR, LIFR) belirten renk kodlarını aynı anda görmek mümkündür. Harita altında bulunan lejant, harita üzerinde gösterilen meteorolojik bilgilerin açıklamalarını göstermektedir. (Şekil 5)



Şekil 5: Son Rasatlar ve Meteorolojik Uçuş Kategorisi Sekmesi.

Havacılık için önem arz eden SIGMET (Significant Meteorological Information) ve alçak seviye uçuşları için önem arz eden GAMET (General Aviation Meteorological Information) sahaları harita üzerinde belirtilmiştir. Söz konusu raporlar, harita üzerinde ilgili alan tıklandığında görünmektedir. (Şekil 6)



Şekil 6: SIGMET ve GAMET alanları.

Havacılık için önem arz eden bazı uydu görüntüleri ve EUMETSAT SAF ürünleri de görüntülenebilmektedir. Kullanıcının yorum yapabilmesi için uydu skalası mevcuttur ve saydamlık ayarları yapılabilmektedir. *(Şekil 7)* 

Uydu ürünleri sekmesinin altındaki ürünler şunlardır:

- IRC
- Day Convection
- Day Snow Fog
- Night Microphysics
- CT
- CRR
- RDT



Şekil 7: Uydu Ürünleri Sekmesi.

Nowcasting temelli tahminlerin olmazsa olmazı radar görüntüleri, birleştirilmiş MAX ürünü olarak uygulamada görüntülenebilmektedir. 30 dBZ ve üzeri gösterilen ekolar konvektif faaliyetlerin gelişimini takip edebilmek adına hayli yeterlidir.

GMT zamanıyla görüntülenen radar ürünlerinin yorumlanabilmesi için, hareketli animasyon ve uydu da olduğu gibi saydamlık seçeneği mevcuttur. *(Şekil 8)* 



Şekil 8: Radar Ürünleri Sekmesi.

Yıldırımların tespit ve takibi havacılık yanında, askeri ve sivil bir çok unsur için önem arz etmektedir. ALTAR uygulamasında, radar ürünlerinin yanında YTTS ürünlerinin de lokal saate göre (TSİ) gösterimi sağlanmaktadır. 30 dk.lık gösterimi sağlanan yıldırım ikonlarının üzerine gelindiğinde zaman dışında enlem, boylam, akım, yükseklik, zaman ve tip bilgilerine ulaşılabilmektedir. *(Şekil 9)* 



Şekil 9: YTTS Sekmesi.

ALTAR ekranının sağ tarafında meydanlara ilişkin uyarılar ekranı yer almaktadır. Mavi ve kırmızı uyarılar, yayımlanmış meydan uyarıları, meydan limit uyarıları (THY limitleri) ve yayımlanmış son SPECI rasatları bu bölümde yer almaktadır. *(Şekil 10)* 

Meydan icao	Meydan adı	Meydan icao	Limit Tavan	Ölçüm Tavan (ft) (Kapalılık)	Limit Rüyet	Ölçüm visibility (m)	Limit Rüzgar	Ölçüm Rüzgar Yön (°) Hız (kt) / Hamle (kt
LTCN	KAHRAMANMARAŞ HAVALİMANI	LTCN	602	200 (BKN)	6000	2000		
LTCF	KARS HARAKANÍ HAVALÍMANI	LTCF			800	200		
LTCL	SIIRT HAVALIMANI	LTCL	6000	4000 (BKN)				
TBF	BALIKESÍR HAVALÍMANI	LTBF			3100	1000		
TEM	ÍSTANBUL HAVALÍMANI	LTFM					20	210° 24 kt
LTCS	ŞANLIURFA GAP HAVALİMANI	LTCS					20	140° 21 kt
LTCT	IĞDIR SEHİT BÜLENT AYDIN HAVALİMANI	LTCT	799	700 (OVC)	3200	900		

2023-10-13 10:44:38 Mavi Uyanlar						
2023-10-13 10:44:38 Kirmizi Uyarılar <u>Å</u>						
Meydan Uyarı Formu						
2023-10-13 10:44:38 Meydan Limit Uyarıları	2023-10-13 10:44:38 Speci					

Şekil 10: Meydan Uyarıları ve Meydan limitleri.

ALTAR uygulamasının en faydalı özelliklerinden biri de özel uyarı alanı oluşturabilmenize olanak sağlamasıdır. Enlem ve boylam bilgileri ile uyarı alanı bilgilerini manuel olarak girerek, kullanıcı kendine özel bir uyarı sahası yaratabilmektedir. (Şekil 11)



Şekil 11: Uyarı Sahası Oluşturma.

İmleçle meydan üzerine gelindiğinde, o meydana ait güncel METAR ve TAF raporlarının yanında, meydan limitlerine de (THY limitleri) ulaşılabilmektedir. Ayrıca pratik olarak WRF tabanlı AIRGRAM'a ulaşabilmek için de meydan üzerine tıklamak yeterlidir. *(Şekil 12)* 



## Şekil 12: Raporlar ve AIRGRAM

ALTAR ekranında görünen uçak ikonlarına tıklandığında, uçuş bilgilerine ulaşılmaktadır. Kalkış ve varış meydanları, bunlara ait anlık hava durumu, uçuş ve uçak numarası ile anlık olarak uçağın nerede olduğu bilgileri hem havayolu şirketleri hem de meydan personeli için faydalı bilgiler arasında yer almaktadır. (Şekil 13)



Şekil 13: Uçuş Bilgileri.

Çeşitli altlık seçeneklerinden birinin tercih edilebildiği ve iki nokta arasındaki mesafenin ölçülebildiği seçenekler de kullanıcıların yaklaşan sistemler hakkında yorum yapabilme kabiliyetlerine katkıda bulunan uygulamalar arasındadır. *(Şekil 14)* 



## Şekil 14: Harita altlıkları.

## 3. ALTAR UYGULAMASI ÖRNEKLERİ



Şekil 15: TITAN (Radar Tahmin Sistemi) ürünü ve meydan bilgi ekranı.



Şekil 16: TITAN (Radar Tahmin Sistemi) ürünü.



Şekil 15: TITAN RDT (Hızlı Gelişen Konvektif Fırtına) ürünü.

#### 4. SONUÇ

ALTAR uygulaması, kullanıma sunulmasıyla birlikte, özellikle meydan ve BTUM personeli tarafından büyük ilgiyle karşılanmıştır. Aynı uygulama altında birçok uygulamaya aynı anda erişilebilmesidir. Uzaktan algılama temelli NOWCASTING tahmine yönelik kullanım kolaylığı, çevre meydanları hızlıca tarama, uçuş takibi ile birlikte hızlı gelişen sistemlerin görsel entegrasyonu gibi kullanıcının hızlı karar verebilmesine olanak sağlaması, ALTAR'ı ilgi odağı haline getirmiştir. ALTAR, hava tahmini yapan personelin yanında havayolu şirketlerinin uçuş planlaması aşamasında da oldukça yararlı bir uygulamadır. Halihazırda Meteoroloji Genel Müdürlüğü personeli ve Türk Hava Yolları tarafından aktif olarak kullanılan uygulamanın,

ihtiyaç duyan kullanıcılara ulaşmak adına UZALMET gibi organizasyonlarda tanıtımının yapılmasının uygun olduğunu değerlendirmekteyiz.

## KAYNAKLAR

- 1. http://altar.mgm.gov.tr/
- 2. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Havacılık Meteorolojisi, Ankara, 2018

# MODIS Kar Örtüsü Frekansı Ürünün (MOD10C1\_CGF) ERA5-Land Kar Ürünleri Kullanılarak Türkiye Üzerinde Validasyonu ve Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

#### Mustafa Berkay Akpınar

İnşaat Mühendisliği Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara berkay.akpinar@metu.edu.tr

#### Semih Kuter

Orman Mühendisliği Bölümü Çankırı Karatekin Üniversitesi Çankırı semihkuter@karatekin.edu.tr

#### Çağrı Karaman

HidroSAF Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Teknokent Ankara cagrkaraman@gmail.com

#### Zuhal Akyürek

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara zakyurek@metu.edu.tr

#### ÖZET

Özellikle Kuzey Yarım Kürede yoğun olarak var olan kar örtüsü, Dünya'nın hidrolojisi ve enerji dengesi üzerinde hayati bir öneme sahip olmakla birlikte kış mevsiminde yüzey alanlarının çoğunda varlık göstermektedir. Kar örtüsü, doğası gereği elektromanyetik radyasyonla arasındaki etkileşimler sayesinde farklı yöntemlerle uydu gözlemleri kullanılarak karasal olan diğer unsurlardan ayırt edilebilmektedir. Karmaşık topografik yapılardan dolayı sonuçları bölgesel farklılıklar gösterse de uydu görüntüleri ile elde edilen birçok kar örtüsü verisi araştırmacılar ve karar vericiler tarafından uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu bağlamda,

528

MODIS uydu verileri yüksek enlemlerde günlük görüntülerin elde edildiği özellikle kutuplara yakın yörüngelerde uzun yıllardır veri üretmektedir. Bu çalışmada, MODIS uydularından 2001-2020 arası günlük olarak elde edilen ve bu 20 yıllık periyotta gözlenen toplam kar örtüsü frekansını ortaya koyan MOD10C1 CGF ürününün, ERA5-Land yeniden analiz ürünü kar yüksekliği ile validasyonu ve karşılaştırılması ortaya konmuştur. Tüm Türkiye üzerinde yürütülen bu çalışma ile özellikle 1000 metre ile 3000 metre arasındaki yükseklik değerlerine sahip bölgelerde bu iki ürünün korelasyonları 0.8'in üzerine çıkmış olup ortalama karekök sapmalarının farklı yüksekliklerdeki değerleri karşılaştırılmıştır. Bu iki ürünün mekânsal çözünürlüklerinden doğabilecek farkların tespiti adına, bu 20 yıllık periyotta aylık bazda yanlış alarm oranları (FAR) ve algılama olasılıkları (POD) tespit edilmiş olup voğun kar görülen Aralık ve Ocak aylarında oldukça yüksek uyuşmalar gözlenmiştir. Arazi kullanımlarıyla ilişkisi incelendiğinde ise bu iki ürünün en yüksek korelasyon değerine ulaştığı bölgeler çayır ve makilik arazi iken (0.9), şehirleşmiş bölgelerde en düşük korelasyonu verdiği saptanmıştır (0.65). Son olarak, MOD10C1 CGF kar örtüsü frekans ürününde "yanlış kar" hatasının özellikle erime gözlenen aylarda gözlendiği, bu hatanın giderilmesi durumunda özellikle Türkiye gibi karmaşık topoğrafyaya sahip alanlarda kar iklimselliğini anlamak adına kullanılabileceği görülmüştür. MOD10C1 CGF kar örtüsü frekans ürünün sahip olduğu yüksek çözünürlükle su kaynakları planlanması ve akademik çalışmalar açısından bölgesel çalışmalara uygun olabilecek bir kar ürünü olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kar örtüsü, MODIS kar frekans ürünü, MOD10C1\_CGF, ERA5-Land, Kar iklimselliği.

#### 1. GİRİŞ

Mevsimsel karın varlığı, küresel iklim sisteminde hidrolojiyi, ekosistemdeki ısı transferini ve yüzey enerjisini doğrudan etkileyen bir etmendir. Düşük ısı iletkenliği ile beraber yüksek albedo değeri, toprak sıcaklığında, karasal enerji dengesinde ve atmosferik dolaşımın tamamlanmasında en önemli aktörlerdendir. Ülkemizin de bulunduğu Kuzey Yarımküre, hidrolojik döngüsünde karın varlığına çok büyük ölçüde ihtiyaç duymaktadır [1, 2]. Yeniden analiz yöntemleri ile iyileştirilen uydu ürünleri kriyosfer ve onun etkileşimlerini anlayabilmek adına özellikle kısıtlı yer verisi gözlemi olan bölgelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda araştırmacılar ve kurumlar tarafından

kullanılan 'Copernicus Climate Change Service' bileşenlerinin açık kaynak olarak sunduğu ERA5 serisi ürünleri geçmiş gözlemlerinde sunulduğu uzun zaman serilerinin elde edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Kar parametreleri ERA5 ürünleri için birçok yükseklik seviyesinde 0.9 seviyelerinde korelasyon yakalayabilmektedir [3]. ERA5-Land [4] yaklaşık 9 kilometrelik çözünürlüğü ile diğer ERA5 ürünlerinden daha yüksek çözünürlük sağlamakta ve kar derinliği gibi özellikle karasal parametrelere yoğunlaşmaktadır. Diğer ERA5 ürünleri ile karşılaştırıldığında, ERA5-Land ürünlerinin kar parametreleri açısından yer gözlemleri ile daha yakın bir korelasyon ve hata payı saptanmıştır [4].

MODIS kar örtüsü ürünleri de araştırmacılar tarafından oldukça yaygın olarak kullanılan ve NASA tarafından sunulan veri setleridir. Günlük olarak veri sağlayabilmesi ile araştırmacılar ve karar vericiler tarafından kar, buz ve arazi örtülerinin zamansal analizi için tercih edilmektedir. Geçtiğimiz yıl sunulan MODIS kar örtüsünün özel mekânsal yeni ürünü MOD10C1\_CGF, yaklaşık 5 km çözünürlüğe sahip günlük kar örtüsü değerlerinin frekansını 20 yıllık periyotta sunmaktadır (2001-2020) [5].

Bu çalışmada, Türkiye üzerinde MODI10C1\_CGF kar örtüsü ürününün ERA5-Land yeniden analiz ürünü ile validasyonu ve karşılaştırılması ortaya konmuştur. Farklı yüksekliğe sahip bölgelerde bu ürünlerin korelasyon ile ortalama karekök sapmaları karşılaştırılmış olup yanlış alarm oranları (FAR) ve algılama olasılıkları (POD) ay bazlı tespit edilmiştir. Son olarak bu iki ürünün farklı arazi kullanımlarındaki performansları incelenmiş ve MODI10C1\_CGF ürününün kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

#### 2. METODOLOJİ

#### 2.1. Çalışma Alanı

Tüm Türkiye'yi kapsayacak şekilde yapılan bu çalışmada, arazi kullanımına ve topografik yükseklik değerlerine bağlı olarak yapılacak istatistiksel analizler için SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) [6] yükseklik verileri ve MODIS arazi kullanım [7] verilerinden faydalanılmıştır (Bkz. Şekil 1). Arazi kullanımı veri setinde 17 sınıf bulunmaktadır. Bu 17 sınıf

ortak kümelere dahil edilmiştir ve 5 sınıfa indirilmiştir (Ormanlık, Çorak/Savan, Ekili Alan, Çayır/Makilik ve Kentsel).



Şekil 1: Çalışmada kullanılan sayısal yükseklik modeli (a) ve arazi kullanım haritası (b).

## 2.2. ERA5-Land Kar Derinliği

ERA5-Land karasal parametreleri 1950'den günümüze saatlik olarak ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) tarafından açık kaynak sunulmaktadır. 9 km çözünürlüğü ile sunulan bu veri saatlik olarak indirilmiş ve günlük veriye çevrilmiştir.

## 2.3. MODIS Kar Örtüsü Frekans Ürünü (MOD10C1\_CGF)

Yeni geliştirilen bu ürün yaklaşık 5 km çözünürlüğe sahip olup 2001-2020 yılları arasında tüm gridler için günlük kar örtüsü frekans değerini sunmaktadır [5]. Temel olarak bu ürün, MODIS Terra

L3 günlük kar örtüsü ürünün bulut algoritmasından geçirilip sunulmuş hali olan MOD10C1'den üretilmiştir. MOD10C1 [5] ikinci aşama olarak 5 x 5'lik bir mekânsal filtreden geçirilip potansiyel yanlış kar alarmlarının azaltılması hedeflenmiştir. Son aşama olarak ise filtreden geçirilen bu ürün 20 yıllık periyot için günlük bazda frekans verisine çevrilip kullanıma hazır hale getirilmiştir.

#### 2.4. Karşılaştırma ve Kullanılan Metrikler

ERA5-Land verisinden elde edilen kar derinliğinden kar örtüsü verilerine geçilirken, günlük olarak kar derinliğinin 5 cm'den büyük olduğu hücreler 'kar var' olarak işaretlenmiştir. 5 cm alt limiti ise WMO (World Meteorological Organization) tavsiyelerine uygun olarak alınmıştır (No.8 – 2018). ERA5-Land ve MOD10C1\_CGF ürünlerinin mekânsal çözünürlükleri farkı olduğu için MOD10C1\_CGF ürünü 5 km'den ERA5-Land çözünürlüğü olan yaklaşık 9 km'ye getirilmiştir. Çalışmada kullanılan istatistiksel metrikler aşağıda sunulmuştur. Algılama olasılığı ve yanlış alarm oranları uygun matrislerle elde edilir [8].

Ortalama Karekök Sapması (RMSE) = 
$$\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}(y_k - \overline{y_k})^2}$$
 (1)

Korelasyon (R) = 
$$\frac{1}{N-1} * \sum_{k=1}^{N} \left( \frac{(y_k - \bar{y})}{s(y)} \right) \left( \frac{(\hat{y}_k - \bar{y})}{s(\hat{y})} \right)$$
 (2)

Algılama Olasılığı (POD) = 
$$\frac{doğru değer}{doğru değer + yanlış negatifler}$$
(3)

Yanlış Alarm Oranı (FAR) = 
$$\frac{yanlış pozitifler}{doğru değer+yanlış pozitifler}$$
 (4)

Burada, *N*, Gözlem sayısını;  $y_k$ , o değerdeki gözlemlenen değeri;  $\hat{y}_k$ , o değerdeki tahmin edilen çıktıyı;  $\bar{y}$ , ortalama gözlemlenen değeri;  $\bar{y}$ , tahmin edilen ortalama değeri; s(y), gözlemlenen çıktıların standart sapmasını;  $s(\hat{y})$ , tahmin edilen çıktıların standart sapmasını temsil etmektedir.

#### 3. BULGULAR

ERA5-Land ürününden 20 yıllık kar örtüsü frekans değerleri elde edilmiştir. Verinin orijinal hali ve çözünürlüğünün düşürülmüş hali 1 Ocak günü için Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 2: Ocak 1 için 20 yıllık kar örtüsü frekans değerlerinin orijinal hali (a) ve çözünürlüğünün düşürülmüş hali (b).

MOD10C1\_CGF kar örtüsü ve ERA5-Land kar derinliğinden üretilmiş kar örtüsü karşılaştırıldığında 1000 metre ile 3500 metre arasındaki korelasyon değerlerinin 0.8'i aştığı görülmektedir (Bkz. Şekil 3). En düşük korelasyon değerlerine 500 m civarında rastlanmıştır. 1000 metre yükseklik değerlerinin altındaki bölgeler genellikle kısa süreli kar örtüsünü göstermektedir. 2500 metreden sonra ortalama karekök sapmalarının 3 günü geçmesi yeniden ölçeklendirmeden kaynaklanmaktadır [9].



Şekil 3: MODIS MOD10C1\_CGF ve ERA5-Land kar örtüsü korelasyon ve ortalama karekök sapma değerleri (RMSE).

Mekânsal olarak bakıldığında güçlü bir korelasyon tespit edilmiş olmakla birlikte 1000 metrenin altındaki Ege ve Akdeniz kıyılarında birikme ve erime dönemlerinde algılama olasılıkları (POD) ve yanlış alarm oranı (FAR) değerleri düşük gelmektedir (Bkz. Şekil 4-5). Yüksek yanlış alarm oranına sahip bölgeler 'yanlış kar' verilerini ortaya koymaktadır. Riggs *ve diğ*. [5] bunun sebebini bu ürün

için bulut/kar karışıklıklarında özellikle akarsu ve sabit su kaynaklarına düşen hücrelerin köşelerindeki karışıklıktan kaynaklandığını vurgulamaktadır. Her ne kadar kar örtüsü için 5 x 5'lik filtre uygulanmış olsa da Türkiye'nin bazı bölgelerinde bu filtrenin özellikle erime dönemlerinde çalışmadığı görülebilmektedir. Bu sebeple aykırı değerler (outliers), gözleme dayalı deneme yanılmalarla alt limit belirlenip çıkarıldığında sonuçlar çok daha kullanışlı olabilmektedir. Mayıs için bir örnek Şekil 6 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4: Ekim, Kasım, Aralık ve Ocak ayları için aylık bazda algılama olasılıkları (sol sütun) ve yanlış alarm oranları (sağ sütun).



Şekil 5: Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs ayları için aylık bazda algılama olasılıkları (sol sütun) ve yanlış alarm oranları (sağ sütun).



Şekil 6: Mayıs ayı için bir araya getirilmiş orijinal MODF10C1\_CGF ürünü (a) ve mayıs ayı için aykırı değerlerin yok edildiği versiyonu (b).

Farklı topografik yükseklik aralıkları incelendiğinde, kar frekans dağılımlarının değişkenlik gösterdiği görülmektedir (Bkz. Şekil 7). 500 metrenin altı için Ocak ayında kar kaplı alan frekansının %20 'nin altında olduğu saptanmıştır. 1000 – 1500 metre aralığına geçildiğinde kar Aralık ayından Mayıs ayına kadar görülmektedir. Türkiye'nin ortalama yüksekliği ele alındığında (1130 metre mertebesi) Aralık ayından Mart ayına kadar ülkenin genelinde kar görmek mümkündür. 2500 metrelerden sonra uzun kar dönemleri gözlemlenmiş olup Ocak ayı karın yerde sürekli kaldığını belirten en az varyasyona sahip ay olarak saptanmıştır. Nisan ve Mayıs aylarında ise bölgesel değişimlerden kaynaklı olarak 2000-2500 ve 2500-3000 metre aralıklarında yüksek varyasyonlar görülebilmektedir.



Şekil 7: Aylık kar frekans yüzdeleri dağılımları, 0-500 metre (a), 500-1000 metre (b), 1000-1500 metre (c), 1500-2000 metre (d), 2000-2500 metre (e), 2500-3000 metre (f) ve 3000-3500 metre (g). Not: Mavi noktalar ortalama değerleri göstermektedir.

Son olarak, arazi kullanımları üzerinde MOD10C1\_CGF ürünün ERA5-Land ilişkisi incelendiğinde (Bkz. Şekil 8) iki veri setinin de kullanılan arazi kullanım sınıflarında yüksek korelasyon gösterdiği

görülmektedir. En yüksek korelasyon çayır/makilik alanlarda iken en düşük korelasyonun ise kentsel bölgelerde oluştuğu gözlemlenmiştir. En düşük ortalama karekök sapmaları ise ekili alanlarda olup bu bölgelerde korelasyonlar hala 0.75'in üzerindedir.



Şekil 8: MOD10C1\_CGF ve ERA5-Land ürünlerinin arazi kullanımındaki Pearson korelasyonu ve ortalama karekök sapması istatistikleri. (Kahverengi noktalar ortalama karekök sapmalarını göstermektedir.)

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma MOD10C1\_CGF kar örtüsü frekansı ürünlerinin Türkiye'de kullanılabilirliğini incelemiştir. ERA5-Land kullanılarak yapılan validasyon çalışmaları 2001-2020 yıllarını kapsamaktadır. Çayır/makilik alanlar ile birlikte ormanlık bölgelerde oldukça yüksek korelasyona sahip iken, kentsel bölgelerde en düşük korelasyon değerlerine ulaşılmıştır. Tüm arazi kullanım bölgeleri için ortalama karekök sapmaları 3 günü geçmemekte (20 yıllık frekans periyodunda) ve ekili alanlarda en düşük sapmaya sahip olmaktadır.

MOD10C1\_CGF ürünü MODIS CMG ürününün 'yanlış kar' verilerini filtre etmesine rağmen bu problemin bazı ay ve bazı yükseklik değerlerinde hala var olabileceğini göstermiştir. Fakat aykırı değerlerin uygun deneme yanılmalarla yok edildiklerinde, bu ürünün kar klimatolojisini Türkiye için oldukça iyi yansıttığı ortaya konmuştur.
### KAYNAKLAR

- Pulliainen, J., Luojus, K., Derksen, C., Mudryk, L., Lemmetyinen, J., Salminen, M., Ikonen, J., Takala, M., Cohen, J., Smolander, T. ve Norberg, J., Patterns and trends of Northern Hemisphere snow mass from 1980 to 2018. Nature, 2020. 581: p. 294-298. DOI: 10.1038/s41586-020-2258-0.
- [2] Xiao, X., Zhang, T., Zhong, X. ve Li, X. Spatiotemporal Variation of Snow Depth in the Northern Hemisphere from 1992 to 2016. Remote Sensing, 2020. 12, DOI: 10.3390/rs12172728.
- [3] Varga, Á.J. ve Breuer, H., Evaluation of snow depth from multiple observation-based, reanalysis, and regional climate model datasets over a low-altitude Central European region. Theoretical and Applied Climatology, 2023. 153: p. 1393-1409. DOI: 10.1007/s00704-023-04539-5.
- [4] Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., Hersbach, H., Martens, B., Miralles, D.G., Piles, M., Rodríguez-Fernández, N.J., Zsoter, E., Buontempo, C. ve Thépaut, J.N., ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. Earth System Science Data, 2021. 13: p. 4349-4383. DOI: 10.5194/essd-13-4349-2021.
- [5] **Riggs, G., Hall, D., Vuyovich, C. ve DiGirolamo, N.** Development of Snow Cover Frequency Maps from MODIS Snow Cover Products. Remote Sensing, 2022. 14, DOI: 10.3390/rs14225661.
- [6] Farr, T.G., Rosen, P.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D. ve Alsdorf, D., *The Shuttle Radar Topography Mission*. Reviews of Geophysics, 2007. 45. DOI: https://doi.org/10.1029/2005RG000183.
- [7] Friedl, M.A., Sulla-Menashe, D., Tan, B., Schneider, A., Ramankutty, N., Sibley, A. ve Huang, X., MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. Remote Sensing of Environment, 2010. 114: p. 168-182. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.016.
- [8] **Doswell, C., Davies-Jones, R. ve Keller, D.L.**, *On summary measures of skill in rare event forecasting based on contingency tables.* Weather and Forecasting, 1990. 5: p. 576-585.
- [9] Akyurek, Z., Kuter, S., Karaman, Ç.H. ve Akpınar, B. Understanding the Snow Cover Climatology over Turkey from ERA5-Land Reanalysis Data and MODIS Snow Cover Frequency Product. Geosciences, 2023. 13, DOI: 10.3390/geosciences13100311.

# Antalya Havaalani Mezosiklonu

Mustafa YURTSEVEN

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü Ankara myurtseven@mgm.gov.tr

### ÖZET

Antalya'da 26 Ocak 2019'da oluşan hortum, 26 kişinin yaralanmasına, milyonlarca liralık hasara yol açmıştır. X bant radarın 2 km. batısındaki hortum, Lidar ile de tespit edilmiştir. Çalışmada, hortum parametreleri, Atmosfer Model indeksleriyle analiz edilirken, süper hücrelilerin; çengel eko, V Çentik yapı, uçan kartal ekosu vb. özelikleri ile incelenerek hız sheari, hortum hattı ile mezosiklon derecesi belirlenerek analiz edilmiştir.

Elde edilen sonuca göre; hortum, oluşmadan 30 dk. önce, 45 km. güneyde, süper hücreli oraj özellikleri gösterirken, 20 dk. önce reflektivite sıkışıklığı, çengel eko, radyal hız çifti vb. radar özeliklerini de göstermiştir. Pik rüzgar kayıtlarına göre, EF3 şiddetindeki hortum, Mezosiklon Tespit Rehberine göre kuvvetli mezosiklon sınıfındadır.

Anahtar Kelimeler: Antalya hortumu, Antalya mezosiklonu, mezosiklon şiddeti,

#### ABSTRACT

The tornado that formed in Antalya on January 26, 2019 caused injuries to 26 people and millions of liras of damage. The tornado, which was 2 km. west of the X-band radar, was also detected by Lidar. In the study, tornado parameters were analyzed with Atmosphere Model indices, while supercells; hook echo, V Notch structure, flying eagle echo, etc. were analyzed by determining the velocity shear, tornado line and mesocyclone degree.

According to the results; 30 min. before the tornado formed, 45 km. to the south, it showed supercell features, while 20 min. before it formed, it also showed features such as hook echo, reflectivity gradient, velocity shear, etc. According to the peak winds, the EF3 tornado is classified as a strong mesocyclone according to the Mesocyclone Detection Guide.

Keywords: Antalya cyclone, Antalya mesocyclone, mesocyclone intensity

### 1. GİRİŞ

24 ve 26 Ocak 2019 tarihlerinde yağışlı hava sistemiyle birlikte Batı Akdeniz'de hortumlar oluşmuş, bunlardan 26 Ocak 2019'da, Antalya açıklarında denizde oluşarak, havaalanının güneyinden 07:45 UTC'de süper hücreli haline gelen hortum, havaalanında (0755-0800 UTC) etkili olmuştur. Radar reflektivite ve hız verileri ile uydu görüntülerinden; Kemer'in 15 km. doğusunda saat 07:30 UTC'de, kanat hattı oluşturarak kuvvetlenmeye başlayan hücre, (Havaalanının 40 km. güneyinde) 07:45 UTC'de süper hücreli hale gelmiştir. Hortum, deniz üzerinde, yaklaşık 15 km., Düden şelalesinden sonra 07:57 UTC'den itibaren, havaalanının da F3 kuvvetinde olmak üzere; karada ~ 12 km. devam ederek toplam 27 km. devam etmiştir.

Antalya Valilik açıklamasında hortum; havaaanınnda 12 kişinin yaralanmasına, park halindeki uçaklarda hasara, 2 otobüs, 1 minibüs ve 2 merdivenin devrilmesine, 2 uçak ve 1 helikopterde de hasar oluşturarak, 3 apron çalışanının yaralanmnasına yol açmıştır.Çalışmada, hortuma sebep olan oraj hücresinin değerlendirilmesinde, ECMWF modeli 30 km.'lik grid ve 137 dikey çözünürlüğüne sahip (temsili 80 km.'lik dikey atmosfer) ERA-5 yeniden analiz verileri kullanılmış, WRF ve ALARO modelleri ile Almanya'nın ICON hava tahmin modeli konvektif parametreleri, radar reflektivite ve hız verileri kullanılarak süper hücreli oraj sistematiğinde analizler yapılmıştır. Radar reflektivite görüntülerinde; çengel (hook) eko, radyal hız verileri ile Antalya Havaalanı bir dakikalık Lidar verileri kullanılarak mezosiklon özellikleri ve konumu tespit edilmiştir. Hortum, 18C ile 36C pist civarını etkilerken, 18C pistinden güneye doğru çekilen video/fotoğraf ile bu pistin batısından çekilen Mall of Antalya AVM'nin batısından çekilen videodaki anlık fotoğraflarla radar/lidar verileri eşleştirilmiştir

## 2. ANALİZLER

### 2.1. 850 hPa seviyesi analizi

ERA-5 yeniden analiz verisi, 26.01.2019 tarih ve 00 UTC'deki 850 hPa haritasında; rüzgârın, Bodrum'un güneyinden Aydın'a doğru, 90-100 km.sa<sup>-1</sup>'lik güneyli rüzgâr varken, Marmara'nın batısı ve Kıyı Ege boyunca, güneyli 60-90 km.sa<sup>-1</sup> rüzgârlar vardır (Şekil 1:). ERA-5 yeniden analiz

verisi 06 UTC 850 hPa'da, Kaş'ın güneyinde, 60-100 km.sa<sup>-1</sup>'lik güneyli rüzgârla Antalya ve açıklarında, 50-94 km.sa<sup>-1</sup>'lik sıcak ve nemli deniz havasının taşınımını görülmekte olup, 850 hPa pik rüzgârı, Antalya'da, 94 km.sa<sup>-1</sup> 'dir (Şekil 1:)



Şekil 1: ECMWF ERA-5 Yeniden analiz verisi 850 hPa, 26.01.2019, 00 UTC (a), 06 UTC (b)

# 2.2. 500 hPave 300 hPa Seviye Analizleri

26 Ocak 2019'daki ERA-5 yeniden analiz verisi, 06 UTC, 500 hPa haritasında; İtalya'nın güneyi ile Balkanlar ve İç Anadolu'nun kuzeybatısında; merkezi, Polonya'daki alçak merkezden kopan 534 dam.'lik alçak merkez vardır. Antalya üzerinde ise, 546-548 dam.'lik geopotansiyel yükseklik konturu ile -24 ila -25 °C'lik izoterm eğrileri vardır. Alçak merkeze bağlı trof, Moro yarımadasından Libya'ya doğru uzanmaktadır (Şekil 2:(a)).



Şekil 2: ERA-5 Yeniden Analiz Verisi, 26.01.2019 06 UTC analizleri (a) 500 hPa (Geop. yüks.kontur), sıcaklık (dolgu), rüzgâr jeti (mor kontur) (b) 300 hPa rüzgâr jeti (dolgu)

İtalya ve Tunus'un batısı, Libya'nın kuzeyinden, Girit'in doğusundan Türkiye'nin güneybatısına doğru 500 hPa'daki 150-175 km.sa<sup>-1</sup> hızdaki jet, Göller bölgesi ve Antalya'da 100-110 km.sa<sup>-1</sup>, Marmara'nın batısına 50-60 km.sa<sup>-1</sup> hızla esmektedir (Şekil 2:(a)). 06 UTC 300 hPa analizinde; Almanya'dan Tunus'a 150-180 km.sa<sup>-1</sup>'lik jet, Tunus'un güneyinden Libya'ya (doğuda pik:220 km.sa<sup>-1</sup>) oradan da, Antalya-Muğla'ya 150-170 km.sa<sup>-1</sup> hızdadır. Dalaman'da rüzgar 160-170 km.sa<sup>-1</sup>, Antalya'da 150-180 km.sa<sup>-1</sup>'tir. (Şekil 2:(b)).

# 2.3. Yer Karti Analizi

26.01.2019, 06 UTC'deki denize indirilmiş basınç analizinde, Moro yarımadasının doğusunda; 993 hPa'lık alçak basınç merkezi vardır. Oklüzyon cephe; Atina'dan Girit'e uzanırken; ana soğuk cephe, Girit'ten Libya'nın doğusuna uzanmakta, ana sıcak cephe, Girit'ten Kahire'ye uzanmaktadır. Tali soğuk cephe, Atina ve Sicilya'nın güneyinden Tunus'a uzanırken, tali sıcak cephe, Atina ve Çanakkale'den Zonguldak'a uzanmaktadır (Şekil 3:).



Şekil 3: Yer Kartı Analizi (26.01.2019 tarih ve 06 UTC için)

# 2.4. Derin (0-6 km.) ve Alt Tabaka (0-1 km.) Dikey Rüzgâr Shear Analizi

ERA-5 yeniden analiz verisi, 0-6 km. derin tabaka dikey rüzgâr shear haritasında; 00 UTC'de 300 hPa jetine de uygun olarak, Tunus, Libya ve Mısır'ın kuzeyi, Güney Ege ve Antalya ile Mersin'de, 50-60 kt., Antalya şehir merkezi ile Akdeniz'in kıyıları boyunca, 60-70 kt.'tır (Şekil 4:(a)). 06

UTC'de Gaziantep'e kadar ilerleyen. 0-6 km. derin tabaka rüzgâr sheari; Kıbrıs'ın kuzey ve batısı ile Anamur arasında, 80-90 kt. 'a ulaşarak, Antalya'da 50-60 kt., Gazipaşa'da 60-70 kt, Mersin'de 70-80 kt., Adana'da 55-65 kt'tır (Şekil 4:(b))

0-1 km. alt tabaka dikey rüzgâr shearinde; 00 UTC'de, Kıyı Ege, Çanakkale ve Balıkesir'de 30-35 kt., dar alanlarda da 35-40 kt., Antalya'da 20-25 kt., süper hücrenin oluşacağı havaalanına yakın, deniz üzerinde 15-20 kt.'tır (Şekil 4:(c)). 06 UTC'de ise, Marmara'nın güney ve doğusu, İzmir, Aydın ile Antalya'da ve Antalya havaalanı açıklarının güneydoğusunda 30-35 kt., Çanakkale, Balıkesir, İzmir, Aydın ve Antalya'da 35-40 kt., Finike'nin 50-100 km. güneydoğusunda 40-50 kt.'tır (Şekil 4:(d)).



Şekil 4: ERA-5 Yeniden Analiz Verisi, Dikey rüzgar Shear analizi, Derin Tabaka (0-6 km.) (a) 00 UTC (b) 06 UTC ve Alt tabaka (0-1 km.) (c) 00 UTC (d) 06 UTC

# 3. UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN ANALİZİ

06 UTC MSG uydusu Hava Kütlesi RGB görüntüsü üzerine, denize indirilmiş basınç izobarları konulan haritada; Türkiye'nin kuzeybatısına soğuk havanın çöktüğü ve 996 hPa'lık alçak basınç

merkezinin Yunanistan'ın güneyinde olduğu görülmektedir. Oklüzyon cephe; İzmir'den Antalya'ya, soğuk cephe; Antalya'dan Kıbrısın batısına; sıcak cephe; Antalya'dan Kıbrıs'ın kuzeyine, tali sıcak cephe, kuzey Ege'den Zonguldak'a, tali soğuk cephe, güney Ege'den Tunus'a doğru uzanmaktadır. Basınç izobarları, Kıyı Ege'de 999 hPa, Antalya'da 1005 hPa'tır. Uydu Hava Kütlesi RGB görüntüsü; soğuk hava kütlesi ve staratosferik potansiyel vortisiti anomalisinin varlığına gösteren (mor renk) bölge; İtalya, Balkanlar, Libya'nın kuzeyi ve Türkiye'nin kuzeybatısına çöktüğünü göstermektedir (Şekil 5:(a)).

MSG uydusu 6.2 µm. su buharı kanalında (Şekil 5:(b)); Orta Akdeniz'e inen havanın nemi, (beyaz renk) görülürken, Libya ve Mısır'ın kuzeybatısında, Güney Ege ve Batı Akdeniz'e uzanan kuru havaya işaret eden koyu şeritler; (sarı renk:dark stripe-Gilmore ve Wicker-1998), potansiyel vortisiti anomali (Georgiev ve Ark.-2009) oluşumunun işareti olup Antalya'nın güneyinde süper hücreli orajın organizesinde önemli rol oynadığı görülmektedir (Şekil 5:(b)).



Şekil 5: MSG Uydusu 06 UTC (a) Hava Kütlesi birleşik kanal RGB görüntüsünde, Deniz seviyesine indirilmiş basınç (hPa) izobarları (b) 6.2 µm. su buharı kanal görüntüsü

# 4. ATMOSFER MODELLERİ DEĞERLENDİRMESİ

ALARO modeli (00 UTC'de koşulan), 06 UTC 500 hPa tahmininde, -25 °C'izotermi, Marmara, Batı Karadeniz, Ege kıyıları, Batı Akdeniz ile İç Anadolunun kuzeyi ve Konya'yı içerirken, rüzgâr, güneybatıdan Göller Yöresi, Doğu Akdenizden Sivas'a doğru 50-65 kt. Antalya'da 40-45 kt.'tırr (Şekil 6:(a)). WRF, 06 UTC 500 hPa tahmininde, -25 °C izotermi, Marmara, Batı Karadeniz, Ege kıyıları/kuzeyi ile, Batı Akdeniz, İç Anadolunun kuzeybatısı ve Konya'yı içerirken, rüzgâr, Akdeniz, Antalya körfezi ile Isparta, A.karahisar, Konya'nın güneyi, Niğde -Kayseri'de, güneybatıdan 50-65 kt. Doğu Akdenizde 60-70 kt.tır (Şekil 6:(b)).



Şekil 6: Modellerin (00 UTC 'de koşulan) 06 UTC 500 hPa Geopotansiyel yükseklik (dam.), sıcaklık ve rüzgâr (kt) tahminleri a) Alaro ve (b) WRF

WRF (00 UTC'de koşulan) 06 UTC CAPE tahmininde, Aydın, Muğla ve Antalya kıyılarında 300-650 j.kg<sup>-1</sup>, havaalanının güneydoğusunda, Döşemealtı'ya doğru 650-700 jkg<sup>-1</sup>, basınç; İzmir'de 999, Antalya'da 1004 hPa dır (Şekil 7:(a)). Alaro; 06 UTC CAPE tahmininde, Ege'den Antalya'ya uzanan sahillerde 1000-1500 jkg<sup>-1</sup>, Antalya'nın kuzeyinde, 350-800 jkg<sup>-1</sup>, havaalanının sahile 40-50 km. güneyine doğru 1500-2000 j.kg<sup>-1</sup> beklemiştir (Şekil 7:(b)). WRF ve Alaro CAPE tahmininde, alan/miktar bakımından oldukça fazla farklılık olup, süper hücre oluşum bölgesindeki enerjiyi, ALARO daha iyi tahmin etmiştir (Şekil 7:(b)).



Şekil 7: Modellerin (00 UTC 'de koşulan) 06 UTC Denize indirilmiş basınç (hPa), 10 m. rüzgârı (kt.) ve CAPE (j.kg<sup>-1</sup>) tahminleri (a)WRF (b) Alaro

### 4.1. Atmosfer Modellerinin sondaj tahmin değerlendirmesi

WRF modeli 06 UTC Antalya Havaalanı dikey sondaj tahmininde, yere bağlı yükselen parsel metoduna göre CAPE, 749.1 j.kg-1, ortalama tabakaya göre, 752.6 j.kg-1, en kararsız tabakaya göre, 749.1 j.kg-1, LFC seviyesi yüksekliği, 606 m. iken, ALARO, yere bağlı yükselen parsele göre CAPE, 913.8 j.kg-1, ortalama tabakaya göre, 578.3 j.kg-1, en kararsız tabakaya göre 913.8 j.kg-1,

LFC seviyesi yüksekliği, 253.8 m. olup Alaro, LFC seviyesini WRF'e göre 352 m. aşağıda bulmuştur (Şekil 8:(a)). WRF; 850 ve 700 hPa rüzgârını, ALARO'ya göre 15-20 kt. daha fazla beklerken diğer hızlar benzerdir (Şekil 8:(b))



Şekil 8: Antalya Havalanı 06 UTC için model sondaj tahminleri (a) WRF, (b) ALARO

## 5. RADAR VERİLERİNİN ANALİZİ

X bant radarının çözünürlük avantajı ve hortumun, radara çok yakın mesafede olmasından dolayı, hortum, Türkiye'de oluşan hortumlar içinde, en çarpıcı ve en net tespit edilmiştir. Kumluca'nın doğusunda, radar reflektivite verilerinde; 06:54 UTC'de Kumluca'nın 40 km. güneydoğusunda gelişen hücre, 20 km. kuzeye ilerlediğinde kanat hattı oluşturup, Kumluca'nın 40 km. doğusunda 07:12 UTC'de süper hücre haline gelişmiştir. Süper hücre, **derin** ve **süreklilik** gösteren bir mezosiklona (1x10<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> veya daha büyük vortisiti) sahip, "ayırt edici radar özellikleri olan" bir buluttur. (Klemp 1987,Browning 1962, Doswell ve Burgess 1993) Bu orajlar, orantısız hasar oluşturmaları ve hemen hemen tüm kuvvetli hortum, hasar verici rüzgârı, büyük dolu ve kuvvetli yağışları içerdiklerinden büyük öneme sahiptir .

**"Derin"** ifadesiyle, mezosiklon kriterine karşılık gelen ve oraj hücresinin yaklaşık olarak üçte biri kadar yükseklik, **"süreklilik"** ibaresiyle ise; updraftın (oraj hücresi içindeki yukarı yönlü akış) tabanından tepe seviyesine kadar geçen süre (~10-20 dk.) anlaşılır. Süper hücre; reflektivite yapısında ki çengel (hook) eko yapısı, kanat hattı (flanking line) oluşumu ve alt seviyelerde sıkı reflektivite sıkışıklığı ile üst seviyelerde zayıf eko alanı (weak echo region) üzerine konumlanan kuvvetli eko (echo overhang) ile anlaşılabilmektedir.



Şekil 9: X bant radarı (solda) (I) 1<sup>0</sup>, (II) 3<sup>0</sup> (III) 4.5<sup>0</sup> ve (IV) 6<sup>0</sup> açı reflektivite verileri ile (sağda) 3<sup>o</sup> reflektivite verileri (a) 07:30 UTC (b) 07:40 UTC (c) 07:50 UTC (d) 08:00 UTC

Süper hücre işareti için; Şekil 9'da (solda). 07:40 UTC'den itibaren, X bant radarı  $1^0$ ,  $3^0$ ,  $4.5^0$  ve  $6^0$  açı verileri, 4 panel olarak konulmuştur. "+" işaretli konum, (I), (II) ,(III) ve (IV) numaralı görüntülerde aynı konumda olduğu halde;  $1^0$  ve  $3^0$  açılarında, "+" işareti , 44-50 dBZ reflektivite bölgesinde,  $4.5^0$  açıda, 34-37 dBZ reflektivite alanında,  $6^0$  açıda, 28-34 dBZ (zayıf eko) reflektivite alanındadır. Bu durum;  $1^0$  reflektivite (en alt) verisi üzerinde,  $6^0$  (üst taramalara doğru)) verisi üzerine, zayıf eko bölgesi, updraft sütun işareti olup; hücrenin, yukarı doğru kuvvetli rüzgârlar nedeniyle eğildiğini (tilting) göstermektedir (Şekil:(9)-solda)).

07:30 UTC reflektivite verisinde, pistin 30 km. güneyinde, denizde, 55-60 dBZ'lik hücre ile orta seviyelerde; süper hücre işareti olan, "ileri kanat çentik-Forward Flank Notch" klasik yapı görülmektedir (Şekil 9:(a)). 07:40 UTC'deki 3<sup>0</sup> açısı PPI reflektivitesinde; hücre koru, 5 dk. içinde 5.5 km. ilerleyerek, pistin güneyinden 20 km. güneyde, reflektivite ekosu güney ucunda, 44-50 dBZ, orta seviyelerde "ileri kanat çentik" yapısı, güney uçta sıkı reflektivite sıkışıklığı, güney orta bölümde daha da gelişen içbükey yapı oluşmuştur (Şekil 9:(b)).

07:50 UTC'deki 3<sup>0</sup> açısı PPI reflektivitesinde; hücre koru, 5 dk. içinde, 5 km. ilerlemiş, pistin güneyinden 10 km. güneyde ve eko güney sınırında, 50-55 dBZ reflektivite, orta seviyelerde "ileri kanat çentik" yapısı, güney uçta sıkı reflektivite sıkışıklığı ile güney orta bölümde, ideal içe dönük/içbükey yapı gelişmiştir (Şekil 9:(c)). 08:00 UTC'deki 3<sup>0</sup> açısı PPI verisinde; hücre koru, 5 dk.'da, 5 km. ilerleyerek pistin güneyinden 3 km. güneyde ve eko güney sınırında, 45-50 dBZ

reflektiviteyle, orta seviyelerde "ileri kanat çentik" yapı, güney orta bölümünde ideal içe dönük/içbükey yapıyla, az da olsa kara yüzeyinde bozunmuştur (Şekil 9:(d)).

07:52 UTC ve 2° açıdaki 34 dBZ'dden daha küçük değerlerin şeffaflaştırılarak filtrelendiği görüntüde (Şekil 10:(a)); çengel (hook) eko, güney pistinden 6.6 km. güneyde denizde iken, 07:51 UTC 2° açıda, -24 m.s<sup>-1</sup> ile +24 m.s<sup>-1</sup> hız aralığının şeffaflaştırılıp filtrelendiği veride (Şekil (10:b)), çengel ekonun 1.88 km. doğusunda -42 m.s<sup>-1</sup> pik hıza sahip 0.17 km<sup>2</sup>'lik kor alanı, -32 ila -42 m.s<sup>-1</sup> 'lik radara yaklaşan, çengel ekonun 1.06 km. kuzeybatısında 8 km<sup>2</sup>'lik korda, 0 ila +8 m.s<sup>-1</sup>'lik bir alan radardan uzaklaşmaktadır. Rotasyonel dönüş; 25 m.s<sup>-1</sup> olup **kuvvetli mezosiklon sınıfına giren vorteks** olduğu anlaşılmaktadır (Şekil (10:b)).



Şekil 10: X bant radarı (a) 07:52 UTC ve 2° elevasyon taram açısı reflektivite görüntüsü (>34 dBZ filtreli) ile (b) (a) görüntüsü üzerinde, 07:51 UTC ve 2° elevasyon tarama açısı (0<radyal hız<+16 ms<sup>-1</sup>ve -16<radyal hız<-24 m.s<sup>-1</sup> hızları şeffaf/filtreli) radyal hız görüntüsü ve (c) (a) ve (b) görüntüleri arka planında dikey kesit görünümü

Mezosiklon ve çentik eko konumundan, 9 km. uzunluğunda yatay olarak alınan dikey kesit görüntüde; yerden 2.5 ila 3.2 km. tabaka aralığında (750 m. kalınlık, 1.28 km. genişlik), 0 ila 8 m.s<sup>-1</sup>'lik radardan uzaklaşan bölge görülürken, doğusunda, 3.4 km. genişlikte, yerden 3-7 km. yukarıda (~ 4 km. kalınlık) -32 ila -40 m.s<sup>-1</sup> hız aralığında, radara yaklaşan hız alanı (gate to gate) olduğundan **16-24 m.s<sup>-1</sup> aralıkta rotasyonel bir hızla dönen minimum ila orta kuvvette mezosiklon olduğu** anlaşılmaktadır (Şekil 10:(c)).

Mesosiklon şiddeti için David Andra ve WSR–88D Operasyonel Destek Tesisi-OSF'nin geliştirdiği (1970')mezosiklon tespit rehberinde (Ş1 12:(b)), **mesosiklon rotasyonel hızı;** 

Rotasyonel hız;  $V_{rotasyonel} = (|-V_{yaklaşan}|+V_{uzaklaşan})/2 \text{ [m.s}^{-1} \text{]}$  ile tespit edilmektedir (1) Rotasyonel hız;  $V_{rotasyonel} = (|-42|+8)/2 = 25 \text{ m.s}^{-1} = 90 \text{ km.sa}^{-1}$  elde edilir. "+"işaretli nokta, radara 10 km. uzaklıkta olup, **kuvvetli mezosiklon sınıfına girmektedir.** Hortum, havaalanının 6 km. güneyindeyken, 07:51 UTC ve 6° açı hız verisinde, çengel ekonun 3.0 km. güneydoğusunda ~10 km<sup>2</sup>'lik alanda -32 ila -42 m.s<sup>-1</sup> hızla (-42 m.sn<sup>-1</sup> pik hız) radara yaklaşan, çengel ekodan güneydoğuya uzanan ~6 km<sup>2</sup>'lik alanda, 0 ila +8 m.sn<sup>-1</sup> hızla uzaklaşan hız alanı vardır. İki hız alanı arasındaki mesafe ~3 km.'dir (Şekil 11:(a)).

Şekil 11:(a)'da; "+"ile işaretli 10 km. A ve B noktalarının, 5.6 km. yukarısından başlayıp 10 km.'lik bir yükseklikte için alınan X-Y kesitinde, ~3 km. çapında dönüş, mezosiklon tespit rehberine göre (Şekil:11:(b)) **"25 m.sn<sup>-1</sup>'lik (90 km.sa<sup>-1</sup>) rotasyonel bir hızla dönen kuvvetli mezosiklon şiddetinde bir dönüş,** pist başının güneyine 7 km. mesafededir.



Şekil 11: (a) X bant radarı 07:51 UTC, 6° açısı reflektivite verisinde radyal hız ve pik değerler (-16 ile -24 m.sn<sup>-1</sup> arası filtreli) ile çengel ekonun 1.3 km. güneyinde 10 km.uzunlukta dikey kesit (yerden 5.6 km.den başlayıp 10 km. yükseklik)
 (b) Mezosiklon Tespit Diyagramı

Şekil 12:(a)'da gösterilen 07:55:15 UTC'deki 2° açı reflektivite verisinde, Lara Hotelinin 400 m. güneyinde sahilde çengel eko varken, 36C pistinde, rüzgâr; güneyden (170°) 17.5 m.sn<sup>-1</sup> (34 kt.:62.9 km.sa<sup>-1</sup>) hızla eserken, 36R pistinde güneyden 18.8 m.sn<sup>-1</sup> (36.5 kt.:67.6 km.sa<sup>-1</sup>) esmektedir. 07:55:30 UTC'deki, 2° açıda, bazı hız aralıklarının şeffaflaştırılarak netleştirildiği hız verisinde (Şekil 12:(e)), Magydos limanında 45 hektarlık alanda, -38 m.sn<sup>-1</sup> (137 km.sa<sup>-1</sup>) hızla radara yaklaşan, batısında; Lara Hotelinden Ziya Gökalp Kent parkına uzanan 2.8 km'lik hat ve kuzeyi boyunca, +2 m.sn<sup>-1</sup> hızla uzaklaşan hız alanı vardır. Bu durum; yerden 0.6 km. yukarıda 20 m.sn<sup>-1</sup> (72 km.sa<sup>-1</sup>) rotasyonel hıza sahip **orta kuvvette mezosiklon** varlığına işaret etmektedir. 16 sn. önce 4.5° elevasyonda, **minimum mezosiklonun**, 2° açıda **orta kuvvete mezosiklon** olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 12:(b)'de; 07:55 UTC'deki 8° açı hız verisinde; çengel eko, Lara Hotel sahilindeyken, Şekil 12:(f)'de, 07:56:32 UTC'deki 8° açıdaki bazı hız aralıklarının şeffaflaştırılarak netleştirildiği veride; Saime Salih Konca Lisesi merkezli ~13 hektarlık alanda, -38 m.sn<sup>-1</sup> (137 km.sa<sup>-1</sup>) hızla yaklaşan ve kuzeybatıda Güzeloba Mezarlığından, 18L pistine kadar ki 265 hektarlık dar alanda, +2 m.sn<sup>-1</sup>'lik uzaklaşan hız alanının (gate to gate) , 750 m. yarıçapta 20 m.sn<sup>-1</sup>'lik (72 km.sa<sup>-1</sup>) rotasyonel hızda olduğu, dolayısıyla Saime Salih Konca Lisesinden Venüs Park Evlerine kadar 1.5 km mesafede, 0.9 km. yukarıda **orta kuvvete mezosiklonun devam ettiği** anlaşılmaktadır. Bu anda, 36C pist rüzgârı, güneyden (150<sup>0</sup>) 7.2 m.sn<sup>-1</sup> (14 kt.:25.9 km.sa<sup>-1</sup>), 36R pist rüzgarı, güneyden (180<sup>0</sup>) 6.5 m.sn<sup>-1</sup> (12.8 kt.:23.7 km.sa<sup>-1</sup>)'tir.



Şekil 12: X Bant radarı reflektivite verileri (a) 07:55:15 UTC ve 2° açısı (b) 07:55 UTC ve 8° (c)
07:57 UTC ve 30° (d) 08:03 UTC ve 30° açısı ile tarama açılarında filtrelenmiş radyal hız veriler,
(e) 07:55:30 UTC ve 2° açısı (f) 07:56:32 UTC ve 8° (g) 07:55:51 UTC ve 30° açısı

Şekil 12:(c)'de, 07:57 UTC'deki 30° açısı reflektivite verisinde; çentik eko 36C ve 36R pistleri arasındadır. 07:57:51 UTC'deki 30° açıda, bazı hız aralığının şeffaflaştırılarak netleştirildiği veride (Şekil 12:(g)) göre, 36R pisti ve güneybatısında 1.26 km<sup>2</sup>'lik bir alanda, radara doğru 38 m.sn<sup>-1</sup>'lik (136 km.sa<sup>-1</sup>) yaklaşan hız alanı, 36C pisti ve kuzeydoğusunda 0.5 km<sup>2</sup>'lik piksel alanında; 0 ila +8 m.sn<sup>-1</sup> hızla uzaklaşan hız alanı vardır. Bu durumda, ~1.5 km çapta 21 m.sn<sup>-1</sup> (75.6 km.sa<sup>-1</sup>) rotasyonel hızla dönen orta kuvvette mezosiklon dönüşü, 1.6 km. yukarıda sürmektedir (Şekil 12:(g)). Şekil 12:(d)'deki 08:03 UTC'deki 30° açısı reflektivite verisinde; çengel eko, 18L pistinin ~1.5 km. doğusundayken, 08:10 UTC'de, 3° açısı reflektivite verisinde, Aksu ilçesi,

Yurtpınar mahallesindedir. 08:15 UTC'den itibaren oraj yapısı, süper hücreden klasik hücreye doğru değişmiştir.



Şekil 13: (a) X bant radarı 07:57 UTC reflektivite verisi, (b)-(g) arası;07:58-08:00-08:01-08:02-08:03 UTC arası lidar verisi üstünde mezosiklon dönüş yerleri-mor daireler, kaydedilen 1 dk. 'lık hamleli rüzgarlar (hız-m.sn<sup>-1</sup>) (h) X bant radarı 07:57 UTC radyal hız verisi (ı) X bant radarı (sarı daire) ve lidara göre mezosiklon yerleri (mor daire)

Radarın 07:57 UTC hız verisinde, 36C ve 36R pistinin 1.65 km. güneyinde 1.26 km<sup>2</sup> 'lik alanda, 38 m.sn<sup>-1</sup> 'lik (136 km.sa<sup>-1</sup>) yaklaşan hız alanı, batısında 0.5 km<sup>2</sup> 'lik 0 ila +8 m.sn<sup>-1</sup> 'lik uzaklaşan alan vardır. Buna göre, 750 m. çap ve 19-21 m.sn<sup>-1</sup> (75.6 km.sa<sup>-1</sup>) rotasyonel hızla dönen **orta kuvvette mezosiklon**, 36C ve 36R pistinin 1.65 km. güneyindedir (Şekil 14:(a)). 07:57 UTC 'de 36C pist başı rüzgaır, güneyden (150<sup>0</sup>) 7.3 m.sn<sup>-1</sup> (14.2 kt.) iken, 36R pistinde, bu andaki rüzgar, güneyden (180<sup>0</sup>) 6.5 m.sn<sup>-1</sup> (12.8 kt.) olup, vorteksin her iki pisti de daha henüz etkilemeye başlamadığı anlaşılmaktadır (Şekil:14:(a) ve Grafik 1.) 07:58 UTC 'de, 36C pistinin 1.85 km. güneyindeki mezosiklon, lidarın tespit mesafesine, henüz girmemiştir. Açık alandan gelen veriler, en uzak mesafede, 3.7 km.'de olup 07:58 UTC 'de, mezosiklon; lidara güneybatıda 4.5 km. mesafededir (Şekil 13:(b)). 36C pist rüzgarı, güneyden (150<sup>0</sup>) 7.3 m.sn<sup>-1</sup> (14.2 kt.), 36R pist rüzgarı, güneyden (210<sup>0</sup>) 8.4 m.sn<sup>-1</sup>(16.3 kt.) 'dir.

07:59 UTC lidar verisinde, 36C pistinin 400 m. güneyinde 12 piksellik bir alanda (0.03 km<sup>2</sup>) 2 ila 5 m.sn<sup>-1</sup>'lik uzaklaşan, doğuda, benzer boyutlu bir alanda -15 ila -20 m.sn<sup>-1</sup>'lik radara doğru olan hız

alanı vardır (Şekil 13 $\otimes$ c)). Buna göre, 8.5-12.5 m.sn<sup>-1</sup> 'lik **130 m. çapta zayıf mezosiklon** vardır. 36C pist rüzgarı, 07:56-07:58 UTC'de güneyden (150<sup>0</sup>) 7.3 m.sn<sup>-1</sup> (14.2 kt.), 07:59 UTC'de, hortum pik rüzgarı, güneyden (190<sup>0</sup>) 37.2 m.sn<sup>-1</sup> (72.5 kt.)'dir. Vorteksin, 1.5 km. doğusunda 36R pistinde, rüzgar güneybatıdan (210<sup>0</sup>) 11.9 m.sn<sup>-1</sup> (23.1 kt.)'dir. 08:00 UTC lidar verisinde, 36C pistinin 750 m. kuzeyinde, 15 piksellik bir alanda (0.04 km<sup>2</sup>) 10-15 m.sn<sup>-1</sup>'lik uzaklaşan hız, doğusunda, 12 piksellik alanda -10 ila -15 m.sn<sup>-1</sup>'lik (0.0562 km<sup>2</sup>) alan ile -20 ila -25 m.sn<sup>-1</sup>'lik yaklaşan hız vardır (Şekil 13:(d)). Sonuç olarak,15-20 m.sn<sup>-1</sup> hızda ve 400 m. çapta, **orta kuvvette mezosiklonik vorteks** vardır.



Grafik-1. Antalya havaalanında ölçülen 36C ve 36R pistleri rüzgar kayıtları

08:01 UTC lidar verisinde, 36C ile 18C pistleri arasında 5 piksellik alanda (1.57 hektar) 10-15 m.sn<sup>-1</sup> 'lik radardan uzaklaşan bir hız alanı, güneydoğuda -15 ila -20 m.sn<sup>-1</sup> 'lik radara yaklaşan hız alanı vardır (Şekil 13:(e)). Buna göre, 12.5-17.5 m.sn<sup>-1</sup> aralıkta ve **225 m. çapta, minimum kuvvette bir mezosiklonik vorteks** vardır. 08:02 UTC Lidar verisinde, 18C pistinde 8 piksellik bir alanda (0.02 km<sup>2</sup>), 15-20 m.sn<sup>-1</sup> 'lik radardan uzaklaşan hız alanı varken, güneyinde, -15 ila -20 m.sn<sup>-1</sup> 'lik radara yaklaşan hız alanı (Şekil 13:(f)) olup lidara göre, 15 ila 20 m.sn<sup>-1</sup> aralığında, 150 m. çapta ve **minimum ile orta kuvvet aralığında mezosiklonik bir vorteks** vardır. 08:03 UTC Lidar verisinde, lidarın kuzeyinde, ön tarafta meteorolojik engellemeler nedeniyle veri alınamamıştır (Şekil 13:(g)). Grafik 1'de havaalanının güneyindeki 36C ve 36R pistinde kaydedilen rüzgârlar verilmiştir.

Hortum, Antalya havaalanını yaklaşmadan önce, hamleli rüzgârlar; 36C pistinde, güneygüneydoğudan (140-200<sup>0</sup>) 34 ila 45.1 knot (62.9-83.5 km.sa<sup>-1</sup>) hızla eserken, hortum anında, aynı yönlerden en yüksek 72.5 kt. (134 km.sa<sup>-1</sup>) olarak esmiş olup, **pist rüzgarları içinde en kuvvetli** esen hız olarak kaydedilmiştir, ayrıca 07:59 ila 08:08 UTC arasında 9 dk. süresince güneyden (178<sup>0-</sup>210<sup>0</sup>), 37.2 m.sn<sup>-1</sup> (72.5 kt.;134 km.sa<sup>-1</sup>) hızla esmiştir.

Hortum, piste paralel hareket ederken, en kuvvetli hamleli rüzgar olan 37.2 m.sn<sup>-1</sup> (72.5 kt.)'lik değer, hortumun şiddetinin; 0 ile 5 arasında ölçeklendirilen Gelişmiş EF Fujita Ölçeğine göre, EF-3 şiddetinde olup hasar derecesi bağlamında **"kuvvetli hortum"** kategorisine girdiğini göstermektedir. Rüzgar; 36R pistinde, hortum yaklaşmadan önce güneydoğu-güneybatıdan (130-210<sup>0</sup>), 34-40.6 kt. (63-75.1 km.sa<sup>-1</sup>) eserken, sonrasında; güneydoğu-güneybatıdan (130-210), 22.7-42.6 kt. (42-78.9 km.sa<sup>-1</sup>) hızla esmiştir. 18C ve 18L pist rüzgârları, Grafik 2'de verilmiş olup, hortum; havaalanını etkilemeden önce, hamleli rüzgârlar; 18L pistinde, güneydoğu ile güneybatıdan (130<sup>-</sup>240<sup>0</sup>) 25.0-38.9 kt. (46.3-72.0 km.sa<sup>-1</sup>, maksimum pik-07:47 UTC) eserken, 18C pistinde güneydoğu-güneybatıdan (130<sup>-</sup>260<sup>0</sup>) 35.6-47.6 kt. (maksimum pik: 88.1 km.sa<sup>-1</sup>-07:47 UTC) esmiştir (Grafik 2.).



Grafik 2. Antalya havaalanında ölçülen 18C ve 18L pistleri rüzgar kayıtları

Hortum ve sonrasında, 18L pistinde güneydoğu-güneybatıdan (140-240<sup>0</sup>) 24.9 ila 43.5 kt. (maksimum pik:08:09 UTC-80 km.sa<sup>-1</sup>) hızla eserken 18C pistinde, güney-güneybatıdan (178-210<sup>0</sup>), 29.6 ila 55 kt'dır (maksimum pik: 08:02 UTC -101 km.sa<sup>-1</sup>) (Grafik 2.). Lidardan alınan mezosiklonun doğruluğunu doğrulamak için, 18C pisti civarından, 1.2 km. güneye (en fazla hasar noktasına doğru çekilen videodan anlık görüntü-Şekil 14:(a)) ve havaalanının batısındaki, Mall of Antalya AVM'nin batısından, hortum hasar noktasına doğru, 2.5 km. batıdan çekilen videodan, iki farklı anlık görüntü (Şekil 14:(b)) dikey olarak dönüş noktasına sabitlenmiştir. Video konuşma içeriğinde, havaalanını etkilediğine dair konuşma kayıtları, hortumun hareket yönüne dair bilgileri doğrular niteliktedir.



Şekil 14: 08:02 UTC Lidar verisi üzerinde mezosiklon dönüşü (a) 18C pisti civarından, 1.2 km. güneye doğru (en fazla hasar noktası) (b)Havaalanı batısındaki Mall of Antalya'nın batısından en fazla hortum hasarına doğru, 2.5 km. batıdan çekilen fotoğraf eşleşmesi

## 5.1 "V Çentiği-V Notch veya Uçan Kartal-Flying Eagle" eko yapısı

Reflektivite verilerinde; süper hücrenin yaygın bir özelliği, hücre ileri ucunda (forward flank), kanat yapısı sergilemesidir (Şekil 15). Radar topluluklarınca, "Uçan Kartal-Flying Eagle", "Kelebek kanatları" ve "V-Çentik-V-Notch" adlandırmaları yapılsa da, "V Çentik-V Notch veya Uçan Kartal-Flying Eagle" adları, son yıllarda literatürde daha fazladır. "V Çentik'in", şiddetli oraj tespitine yönelik çalışmalar yapılmıştır (Lemon-1980).



Şekil 15: "V-Çentik veya Uçan Kartal-Flying Eagle" yapılı orajlar, (a)Antalya X bant radarı, 26.01.2019, 07:55 UTC ile (b) Ankara-Elmadağ C bant radarı 19.06.2004, 12:10 ve 12:28

Antalya'da gelişen hortumun, 07:55 UTC reflektivite verisindeki "V-Çentik/Uçan Kartal-Flying Eagle" yapısı, Şekil:15:(a) ile net görülürken, 19 Haziran 2004'de, 12:28'de Ankara-Esenboğa Havaalanının 3 km. kuzeybatısından geçerek Sünlü köyünde 3 kişinin ölümüne, yaralanma ve hasarlara yol açan hortuma dair "Süper Hücreli Oraj Sistematiğinde Sünlü Mezosiklonu (M. Yurtseven, 2008-Ankara, DMİ) çalışmasında, oluşan hücrenin 12:10 ve 12:28'deki "Uçan Kartal-Flying Eagle" net olarak görülmektedir (Şekil 15:(b) ve (c))

### 6. HASARLAR İLE İLGİLİ BASINA YANSIYAN HABER ve FOTOĞRAFLAR

Güzeloba Mahallesi'nde oluşan hortum, havaalanı ve çevresinde etlili olduktan sonra etkisini kaybetti. Hortum geçen yerlerde ağaçlar devrildi, tabelalar uçtu, enerji nakil hatları zarar gördü. Başta, 100. Yıl Bulvarı olmak üzere, Yener Ulusoy Caddesi, Güllük/Konyaaltı caddelerinde ağaçların yola devrilmesi, yoğun yağış ve fırtına, ulaşımda aksamalara sebep olurken çok sayıda maddi hasarlı kazaya da yol açtı. 103 km.sa<sup>-1</sup> hıza çıkan rüzgâr, Muratpaşa Güvenlik Mahallesinde cami minaresinin yıkılmasına, çevredeki ağaç/alanlarda zarara yol açtı. Denizde 5-7 m'lik dalgalar oluşurken falezlere çarpan dalga boyu 20-30 m.'yi buldu.

Antalya havaalanında, yolcuların uçağa bindikleri merdivenin uçağa çarpması sonucu, uçak burnunda ciddi hasarlar oldu. Hortumda, yolcu naklinde kullanılan COBUS-3000 tipi, 14 m. uzunluk ve 20.4 tonluk otobüsü devirerek 12 yolcunun yaralanmasına sebep olurken uçak çekmekte kullanılan 20 tonluk push back aracı devrilerek hasar/yaralanmalara sebep oldu. Hortum, 66 tonluk Boing 737-MAX 8 uçağını yerinden hareket ettirirken, 47 tonluk A321 TC-OEB uçağına zarar verirken uçak radarının bulunduğu burun kısmından hasar almıştır, Boeing 737-800 TC-SOF tipi uçakta da zarar olmuştur. Hortum şiddetiyle park halindeki bazı uçaklar yan dönerken, aydınlatma direkleri yamularak yere devrilmiştir (Şekil 16).



Şekil 17: Antalya havaalanında oluşan hasarların basına yansıyan fotoğrafi

### 7. SONUÇLAR VE BULGULAR

29 Ocak 2019'da Kumluca'nın 40 km. doğusunda, Antalya havaalanının 75 km. güneyinde 07:06 UTC'de oluşan hücre, yoğun deniz nemi taşınımı, CAPE ve üst seviyelerdeki kuvvetli dikey rüzgar sheari etkisiyle, 07:40 UTC'de, havaalanına 26 km. mesafede, organize olarak, süper hücre haline gelmiştir. 07:55-08:00 UTC arasında havaalanında park halindeki uçak, otobüs, uçak çekici, merdiven ve çelik aydınlatma direkleri vb. bir çok araç ve konstrüksiyonda ciddi ekonomik hasarlar oluşturan hortum, bir süre sonra da dağılmıştır.

Hortum; çevre parametreleri anlamında, ERA-5 Yeniden Analiz Verisi, Atmosfer Modelleri tahmin parametreleri, uydu görüntüleri ile ağırlıklı olarak radar ve lidar verileri ile incelenirken, video ve fotoğraflar ile analiz edilerek aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

- Orajhücresi ideal CAPE ortamı, yüksek shear sayesinde, denizde hızla organize olarak süper hücre haline geçip hortum oluşturarak sahilden 12 km. daha içeri girebilmiştir.
- Modeller; 300 hPa'da Libyadan, Türkiyenin güneybatısına 160-170 km.sa<sup>-1</sup>'lik jet beklerken, uydu 6.2 μm. su buharı kanalında, Libya/Mısır'ın kuzeybatısından Güney Ege ve Batı Akdenize doğru koyu şeritler (kuru hava), potansiyel vortisiti anomalisi oluşturup, süper hücre olşumunda önemli rol oynamıştır.
- 3. Yüksek çözünürlükteki atmosfer modellerinin, oluşabilecek kuvvetli konvektif hadise risk tahmini için eşdeğer potansiyel sıcaklık, potansiyel vortisiti anomalisi ve kolon boyunca yağışabilir su miktarı gibi önemli haritaların tahmin sürecine eklenmelidir.
- 4. Radar hız verilerinden elde edilen 54-90 km.sa<sup>-1</sup> aralıktaki mezosiklon; "orta ve kısa bir süre için kuvvetli mezosiklon" olarak hareket etrmiştir.
- 5. 5 dk. aralıklı radar ile 5 MSG hızlı tarama verileri, yakın bir gelecekte, 3. nesil uydulardan 2.5 dk.aralıklı uydu hızlı tarama verileri ve 4 yeni uydu kanalı ilavesi, yıldırım verileri, 1 km. çözünürlükte atmosfer modellerinin EPS kartları, vb. veriler; en erken 24 saat öncesinden "konvektif risk tahminciliği ve uyarı mekanizmasını" gerekli kılmaktadır. Bu sayede, 24 saat önceden, süper hücreli orajların oluşabileceği "risk bölgelerinin tahmin ve takibine dair çalışmaların" yapılması anlamlı olacaktır.
- 6. IPCC raporlarındaki"bazı bölgelerdeki şiddetli konvektif fırtınalarla ilişkili ortalama ve maksimum yağış oranları, ısınan bir dünyada artıyor olacağı görünmektedir" bulgusu, son yıllarda ülkemizde de görülen, çok kısa sürede sele döüşebilen yağışın (bölgenin birkaç aylık yağış toplamına erişmesi), ani gelişen sel/fırtınaların, can ve mal kayıplarını da artıracağı düşünülerek, mesafe/zaman çözünürlükleri büyük olan, hızlı tarama uydu verileri, radar/yıldırım verilerini de içine alan, yeni, bileşik ve tüm konvansiyonel verileri entegre eden Meteorolojik uygulamayla, verilerin daha efektif kullanılarak toplum yararına nasıl dönüştürüleceğinin planlanılması gerekmektedir.
- 7. Radar görüntülerinde, reflektivite verilerine yansıyan "V Çentik veya Uçan Kartal-Flying Eagle" eko yapılı süper hücreli orajlar için, özel ve acil uyarıların hazırlanması, uyarı hazırlama tekniğinde" önemli bir bulgu olarak değerlendirilmelidir.

### KAYNAKLAR

- [1] 5th European Conference on Severe Storms Diagnosis of Atmospheric Environment Favourable for Deep Moist Convection by Using Satellite Imagery, Christo G. Georgiev, Patrick Santurette
- [2] Christo Georgiev ve Ark. (2009) P. 117 5th European Conference On Severe Storms
- [3] Doswell, C. A. III, 1996: What is a supercell? Preprints, 18th Conf. Severe Local Storms, San Franscisco, CA, Amer. Meteor. Soc., p. 641.
- [4] Glickman, Todd S., (2000). "Hook Echo". Glossary of Meteorology (2. ed.). American Meteorological Society. ISBN 978-1-878220-34-9
- [5] Matthew R. K., Alexander D. S., Interpretation of the "Flying Eagle" Radar Signature in Supercells, 24th Conference On Severe Local Storms, 27-31 OCTOBER 2008, Savannah, Georgia, P14.2
- [6] NOAA Technical Memorandum NWS NSSFC-1 New Severe Thunderstorm Radar identification Techinquies and Warning Criteria: a Preliminary Report, Leslie R. Lemon, National Severe Storms Forecast Center, Kansas City, Missouri, July 1977
- [7] NOAA Technical Memorandum NWS TC 1 An Outline of Severe Local Storms with the Morphology of Associated Radar Echoes , Rockville, Md. June 1982, 6.3 Radar Model
- [8] Stumpf, G. J., A. Witt, E. D. Mitchell, P. L. Spencer, J.T. Johnson, M. D. Eilts, K. W. Thomas, and D. W. Burgess, 1998: The National Severe Storms Laboratory mesocyclone detection algorithm for the WSR-88D. Weather Forecasting, 13, 304-326
- [9] Süper Hücreli Oraj Sistematiğinde Sünlü Mezosiklonu (2008-Ankara, DMİ)
- [10] University Corporation for Atmospheric Research's (UCAR's) Topluluk Program MetEd (Meteorological Education) web sayfası "Radar Signatures Suggesting Potential Thunderstorm Severity "
- [11] https://www.meted.ucar.edu/radar/severe\_signatures/ Son erişim tarihi: 25.09.2023 17:00 saat
- [12] https://www.gunhaber.com.tr/haber/Antalya-da-yasam-felc-oldu/416737
- [13] https://www.weather.gov/media/lmk/soo/Supercell\_Structure.pdf Son erişim tarihi: 27.09.2023 11:00 saat
- [14] https://www.yenisafak.com/gundem/antalyada-denizde-hortum-cikti-havalimaninda-otobusdevrildi-3443216 27.09.2023 11:00 saat
- [15] Youtube Short kısa video deneyimi video kaydı: "Antalya da havalimanında hortum" başlıklı ve Turan Yakup, @turanyakup1557 antetli https://youtu.be/TkpO3km0eEI Son erişim: 20.09.2023 16:30 saat
- [16] Youtube video kaydı: "Antalya havalimanı hortum" notlu ve @gezginradyo4006 antetli, https://www.youtube.com/shorts/XOai8\_-Fruw Son erişim: 20.09.2023 16:30 saat
- [17] Youtube video kaydı: "Tornado fegt über Antalya" notlu ve @euronews (deutsch) antetli, https://www.youtube.com/watch?v=HDPRCyX-59Y Son erişim tarihi: 21.09.2023 11:40 saat
- [18] Youtube video kaydı: "Tornado in Antalya" notlu ve @Lausitzer Rundschau) antetli, https://www.youtube.com/watch?v=PkuzoOVfmVI Son erişim tarihi: 21.09.2023 11:40 saat

# Radar Kurulumunda 3B Topoğrafya Analizi

Yasin ESEN Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yazılım Geliştirme Şube Müdürlüğü Ankara yesen@mgm.gov.tr

Nurullah BİLGİN Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yazılım Geliştirme Şube Müdürlüğü Ankara nbilgin@mgm.gov.tr

Aziz DENİZ Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yazılım Geliştirme Şube Müdürlüğü Ankara azizdeniz@mgm.gov.tr

### ÖZET

Meteoroloji alanında radarların kullanılmasıyla özellikle şiddetli yağışlar, dolu, tornado, taşkın ve selleri önceden tahmin edebilmek mümkün olmuştur. Radardan gönderilen sinyaller yağmur zerrecikleri, kar taneleri, dolu gibi hidrometeorlarla temas ettiğinde elektromanyetik saçılmaya maruz kalır. Saçılan bu elektromanyetik dalgalar, radarların hassas alıcıları tarafından algılanıp işlenerek, yazılımlar vasıtasıyla kullanıcıya görsel bir ürün olarak sunulurlar. Radarların kurulumları yapılarken yer seçimi oldukça önemlidir. Mümkün olduğunca gönderilen ışınların minimum topoğrafik engelle karşılaşması beklenmektedir. Yapılan bu çalışmada mevcut ve yeni kurulacak radarların topoğrafik engel simülasyonu yapılmış olup, bir noktanın hangi radar veya radarlar tarafından en iyi görüldüğünün 3B analizi yapılmıştır. Nihai hedefte ise, radar kurulumunda ışın yarıçapı, ışın açısı ve elevasyon açısı gibi parametreler kullanılarak optimum noktaları son kullanıcıya önerilmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler — meteorolojik radarlar, topoğrafya, shuttle radar topography mission.

### 1. GİRİŞ

Radarlar meteoroloji alanında ilk kez 1950'li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. 1970'li yıllardan itibaren Doppler radar teknolojisine geçilerek radarlardan dijital formatta bilgiler alınmaya başlanmıştır. Meteoroloji alanında radarların kullanılmasıyla özellikle şiddetli yağışlar, dolu, tornado, taşkın ve selleri önceden tahmin edebilmek mümkün olmuştur. Radardan gönderilen sinyaller yağmur zerrecikleri, kar taneleri, dolu gibi hidrometeorlar ile temas ettiğinde elektromanyetik saçılmaya maruz kalır. Saçılan bu elektromanyetik dalgalar, radarların hassas alıcıları tarafından algılanıp işlenerek, yazılımlar vasıtasıyla kullanıcıya görsel bir ürün olarak sunulurlar. Ülkemizde ise ilk meteorolojik radar 2000 yılında Ankara'da kurulmuştur. İlerleyen yıllar içinde toplam meteorolojik radar sayısı 18'e yükselmiştir. Radarların kurulumu yapılırken yer seçimi oldukça önemlidir. Mümkün olduğunca radardan gönderilen sinyalin minimum topoğrafik engelle karşılaşması beklenmektedir. Yapılan çalışmada mevcut radarların topoğrafik engel simülasyonu yapılmış olup, bir noktanın hangi radar veya radarlar tarafından en iyi görüldüğünün 3B analizi yapılmıştır.

#### 2. KULLANILAN METOD

Radar sistemlerinin temel çalışma prensibi, cisimlerin radar istasyonuna olan mesafesi ve konumu, radyo sinyallerinin (elektromanyetik dalga) cisme çarpıp geri dönmesiyle hesaplanarak bulunmaktadır.



Şekil 1: Radardan belirli bir açı ile gönderilen sinyal.

Bir radar tarafından iletilen mikrodalga enerji darbeleri, havadaki "hedefleri" (yağış parçacıkları, kuşlar, böcekler vb.) yakalar. Enerjinin bir kısmı radar alıcısına geri saçılır. Bu durum bir kuyuya bağırdığımızda ses dalgalarının sudan yansıyarak bize geri dönmesiyle aynıdır diyebiliriz. Burada

geri dönüş sinyalinin gücü ve iletilen sinyalin geri dönmesi için geçen süre işlenir ve radar görüntülerini oluşturmak için kullanılır.



Şekil 2: Radardan belirli bir açı ile gönderilen sinyalin yüksekliği ve genişliği.

Bir el feneri ışınını duvara yansıttığınızı hayal edin, el fenerini duvardan uzaklaştırdığınızda ışın genişliği artacaktır. Şekil 2'de görüldüğü üzere gönderilen radar sinyalinin yüksekliği ve genişliği, radardan uzaklaştıkça artmaktadır. Belirli bir açıyla gönderilen radar sinyalinin yüksekliği h = (distance) x tan (elevation angle) formülü ile, radar sinyalinin genişliği ise W = 2 x (distance) x tan (beam angle / 2) formülü ile hesaplanabilmektedir.

Ülkemizde kurulmuş olan radarların topoğrafya analizi Unity ortamında geliştirilen bir program ile yapılmaya çalışılmıştır. Unity terrain bileşeni kullanılmıştır. Sayısal yükseklik verisi olarak SRTM 4.1 (Shuttle Radar Topography Mission) 90m çözünürlük kullanılmıştır. Sayısal yükseklik verileri uygulamada engel olarak tanımlanmıştır. Harita üzerine Türkiye'de bulunan 18 radar noktası yerleştirilmiş, bu radar noktalarından tanımlı elevasyon açıları ile ışınlar yine tanımlanmış olan radar kapsama yarıçapı uzunluğunca gönderilmiştir. Hesaplamalarda Unity fizik motorunun çarpışma kontrol özelliği kullanılarak gönderilen ışınların karşılaştıkları engellerin konumu tespit edilerek radarların 3 boyutlu görünebilirlik analizleri elde edilmiştir.



Şekil 3: Ankara radarının 0° elevasyon açısı ile 3B görünümü.



Şekil 4: Ankara radarının 0.5° elevasyon açısı ile 3B görünümü.

Ankara radarının Şekil 3'de 0° elevasyon açısı, Şekil 4'de ise 0.5° elevasyon açısı ayarlanarak 350 km yarıçap ile 3 boyutlu engel taraması yapılmıştır. Şekil 3'de elevasyon açışı daha düşük olduğu için Ankara'nın kuzey ve kuzey doğu kesimlerinde daha fazla engelle karşılaştığı görülmektedir. Ayrıca uygulama üzerinde elevasyon açısı parametrik olarak değiştirilip, istenilen açılar ile tarama yapabilmektedir.



Şekil 5: Harita üzerinden seçilen noktanın hangi radarlar tarafından görüldüğü.

Şekil 5'de harita üzerinden rastgele bir nokta seçilmiştir. Seçilen bu nokta Ankara, Bursa, Samsun, Sivas ve Zonguldak radarlarından görülebilmektedir. Uygulama üzerindeki menüden istediğimiz radarı seçerek detaylı analiz yapma imkânımız bulunmaktadır.



Şekil 6: Harita üzerinden seçilen noktanın Ankara radarından 3B görünürlüğü.



Şekil 7: Harita üzerinden seçilen noktanın Ankara radarından 3B görünürlüğü.

Şekil 6 ve 7'de rastgele seçilen bir noktanın Ankara radarı üzerinden görünürlüğünün 3 boyutlu görüntüsü çıkarılmıştır. Seçilen notanın Ankara radarına uzaklığı 161.4 km olup, 0° elevasyon açısı ile minimum görünür ışın yüksekliği 2555 metre, görünür ışının yüzdesi ise %89 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 8: Harita üzerinden seçilen noktanın tüm radarlardan görünürlüğü.



Şekil 9: Harita üzerinden seçilen noktanın tüm radarlardan görünürlüğü.

Şekil 8 ve 9'da ise seçilen noktanın 0° elevasyon açısında görebilen radarların hangi seviyeden gördüğünün birleştirilmiş görüntüsü oluşturulmuştur. Bu bilginin hava tahmini açısından önemli olacağını değerlendirmekteyiz.

### 3. SONUÇLAR

Ülkemizin coğrafi konumu itibariyle kullanımda olan radarlar tarafından her konum için uygun veri alınamamaktadır. Bu uygulama ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından kurulmuş olan tüm radarların topoğrafya analizi yapılabilir ve herhangi bir noktanın hangi radar tarafından en iyi görülebileceği tespit edilebilir. Özellikle bir bölgenin son durumu takip edilirken radar verilerinin daha sağlıklı analiz edilmesi mümkün olacaktır. Uygulama, doğal engellerin yanı sıra yapay engellerinde (yüksek kule, bina vb.) tanımlanmasıyla daha verimli hale getirilebilir.

#### KAYNAKLAR

[1] https://www.e-education.psu.edu/meteo3/I5\_p7.html, How Radar Works.

# HSAF Yağış Ürünlerinin Gözlem Verileri ile Doğrulanması

Necati Kunter Cevher Meteoroloji Genel Müdürlüğü Dalaman Havalimanı Meteoroloji Müdürlüğü Muğla kcevher@mgm.gov.tr

Oğuzhan Kolay Meteoroloji Genel Müdürlüğü Milas-Bodrum Havalimanı Meteoroloji Müdürlüğü Muğla okolay@mgm.gov.tr

### ÖZET

EUMETSAT'ın HSAF projesi kapsamında geliştirilen P-AC-SEVIRI-PMW (H61) ve P-AC-SEVIRI\_E (H90), saatlik olarak 1 saatlik birikmiş yağışı ve her altı saatte bir 24 saatlik birikmiş yağışı sunan 3. seviye uydu ürünleridir. Bu çalışma kapsamında, bu ürünlerin, yaşadığımız deprem felaketi sonrası deprem bölgesinde yaşanan etkili yağışları incelemek maksadı ile 12.03.2023-17.03.2023 tarihleri arasında Türkiye coğrafyası için ürettiği 24 saatlik yağış verilerinin doğrulaması yapılmıştır. Doğrulamada ülke coğrafyası boyunca homojen bir dağılıma sahip 1765 ila 1776 adet meteorolojik gözlem istasyonundan elde edilen 24 saatlik yağış ölçüm değerleri kullanılmıştır. Ölçüm değerleri Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (IDW) ile genişletilerek uydu verilerini doğrulamak için daha kapsamlı hale getirilmiştir. Uydu verileri ve gözlem verileri haritalandırılarak görsel karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca her bir uydu verisine denk gelen gözlem değeri En Yakın Komşu Eşleştirme yöntemiyle tespit edilerek sayısal karşılaştırma yapılmış ve istatistiki skorlar tespit edilerek ürünlerin performansı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler — HSAF, uydu, yağış, IDW.

## 1. GİRİŞ

Kuvvetli yağışlar, sel ve su baskınları, kuraklık gibi etkili meteorolojik koşulların izlenmesi ve bunların erken tespiti için ayrıca su kaynaklarının verimli bir şekilde yönetilebilmesi için yeryüzüne düşen yağış miktarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bilindiği üzere yer gözlemleriyle dünya üzerinde mevcut binlerce meteorolojik istasyon sayesinde yağış verileri sürekli bir şekilde toplanmaktadır. Direkt ölçüme dayanan geleneksel yer gözlemlerinin yanı sıra uydudan çeşitli uzaktan algılama yöntemleriyle yağış tespiti de mümkündür. Uydu kaynaklı yağış verileri, daha geniş bir kapsama alanına sahip olmaları ve yüksek bir mekânsal-zamansal çözünürlüğe sahip olmaları sebebiyle yer gözlemlerine önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır [1]. Bu yöntemde temel olarak infrared / görünür ışıkla bulutların yükseklikleri ve kalınlıkları tespit edilirken, mikrodalga ışınlarınla da bulut içine nüfus edilerek yağış partikülleriyle etkileşime geçilmekte ve mevcut veriler bir araya getirilerek yeryüzüne düşen yağış miktarı kestirilmektedir [2].

Avrupa Meteorolojik Uydulardan Yararlanma Teşkilatı'nın (EUMETSAT - European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites) Operasyonel Hidroloji ve Su Yönetimine Destek (H-SAF - Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management) projesi kapsamında geliştirilen ve kullanıma sunulan çeşitli yağış ürünleri mevcuttur. Bunlardan P-AC-SEVIRI-PMW (H61) ve P-AC-SEVIRI\_E (H90) uydu ürünleri her saat başı 1 saatlik, her 6 saatte bir de 24 saatlik birikmiş yağış verilerini sunmaktadır. Tüm uydu yağış ürünleri yağışı dolaylı olarak tespit etmeye çalıştığından ve çeşitli hatalara maruz kaldığından bu ürünlerin mevsimsel ve bölgesel olarak değerlendirilmesi, bu amaçla yer gözlemleri gibi güvenilir referans değerleriyle karşılaştırılması gerekmektedir [3]

Çalışmamız kapsamında H61 ve H90 ürünün 12.03.2023-17.03.2023 tarihleri arasında Türkiye coğrafyası için ürettiği 24 saatlik yağış verilerinin doğrulaması yapılmıştır. Çalışmamızın amacı yaşadığımız deprem felaketi sonrasında deprem bölgesinde etkili olan yağışları da kapsayan bu periyotta ürünün performansını, enterpole edilmiş yer ölçüm değerlerini referans alarak belirlemektir.

### 2. VERİ VE METOT

### 2.1. HSAF H61 ve H90 Verilerinin Temini

HSAF, sabit yörüngeli MSG (Meteosat Second Generation) uydularının SEVIRI 10.8 µm kanal görüntülerini pasif mikrodalga taraması yapan mevcut alçak dünya yörünge uydularından (LEO) elde edilen yağış ölçümleriyle kalibre ederek anlık yağış ürünleri geliştirmiştir. Kısaca infrared ve mikrodalga radyometrelerinin kombinasyonu olan bu ürünlerin belirli periyotlarda bir araya getirilmesiyle SEVIRI sensörünün çözünürlüğünde veri sağlayan H61 ve H90 adında birikmiş yağış ürünleri geliştirilmiştir. [4]

H61 ve H90, her saat başı 1 saatlik, her 6 saatte bir de (00, 06, 12 ve 18 UTC) 24 saatlik birikmiş yağış verilerini sunmaktadır. Ürünler benzer prensiplerle oluşturulmuş olmasına rağmen kullandıkları SEVIRI sensörlerinin farklı boylamlarda yer alması sebebiyle (0° ve 45.5°E) farklı kapsama alanlarına sahiptir. Şekil 1'de görüldüğü üzere Türkiye her iki ürününden ortak kapsama alanında yer almaktadır.



Şekil 1: Ürünlerin kapsama alanları, solda H61, sağda H90.

Çalışmamız kapsamında incelenecek ürün dosyaları HSAF'ın resmi FTP ortamından (<u>ftp://ftphsaf.meteoam.it</u>) NetCDF dosya formatında temin edilmiştir. HSAF'ın H60 ve H91 ürünleri için hazırlamış olduğu ürün kullanım kılavuzundaki yönlendirmeler takip edilerek dosyadaki grid noktalarına enlem ve boylam değerleri atanmış, böylece istenilen enlem ve boylam aralığında veri seçmek mümkün hale getirilmiştir.

Sonrasında 12.03.2023-17.03.2023 tarihleri arasında 06 GMT itibariyle hesaplanan 24 saatlik yağış verileri (6 Günlük) Python yazılımı ortamına aktarılmış sadece Türkiye kara yüzeyine düşen yağış değerleri alınıp, Marmara Denizi de dahil olmak üzere deniz yüzeyine ve komşu ülkelere düşen yağış değerleri kırpılıp değerlendirme dışı bırakılmıştır. Böylece doğrulama çalışması için her bir kara coğrafyamız için yağış değerlerini gösteren H61 ürününden 39982, her bir H90 ürününden de 54313 adet nokta veri elde edilmiştir.

### 2.2. Gözlem Verilerinin Temini ve Enterpolasyonu

Yer gözlem verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Meteorolojik Veri Bilgi Satış ve Sunum Sistemi (MEVBİS) üzerinden temin edilmiştir. Sisteme veri sağlayan otomatik meteoroloji gözlem istasyonlarından bir kısmı günlük bakım çalışmaları ve çeşitli arızalar sebebiyle değer üretmediğinden günlük yağış verisi temin edilen istasyon sayısı değişiklik göstermiştir. Çalışma yaptığımız periyotta veri sağladığımız meteoroloji istasyon sayısı Tablo 1'deki gibidir.

Gün	Yağış Ölçüm Periyodu	İstasyon Sayısı
12.03.2023	11.03.2023 06 UTC – 12.03.2023 06 UTC	1776
13.03.2023	12.03.2023 06 UTC - 13.03.2023 06 UTC	1765
14.03.2023	13.03.2023 06 UTC - 14.03.2023 06 UTC	1771
15.03.2023	14.03.2023 06 UTC – 15.03.2023 06 UTC	1772
16.03.2023	15.03.2023 06 UTC – 16.03.2023 06 UTC	1772
17.03.2023	16.03.2023 06 UTC - 17.03.2023 06 UTC	1773

Tablo 1: 24 saatlik yağış verisi temin edilen istasyon sayıları

Uydu kaynaklı yağış ürünleri genellikle grid veriler şekli temin edildiği için, yani belirli aralıklarla düzenlenmiş veri noktaları içerdiğinden, bu verilerin yer gözlemleriyle doğrulaması yapılırken istasyon ölçümlerinin genelleme işlemi yapılarak grid veriler haline getirilmesine ihtiyaç duyulur. Bu genelleme işlemi için de çeşitli enterpolasyon yöntemleri uygulanmaktadır. Yağış gözlemlerinin enterpolasyonunda Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (IDW) ve Kriging yönteminin başta olmak üzere çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin tutarlılığının karşılaştırıldığı çalışmalar [5,6] neticesinde çalışmamızda elde ettiğimiz yer gözlemleri IDW yöntemiyle genişletilmiştir.

Kullandığımız IDW yönteminde güç parametresi 2 olarak, oluşturulacak grid sisteminin çözünürlüğü ise 4 km olarak ayarlanmıştır. Bu şekilde oluşturduğumuz grid değerleri, tıpkı uydu verilerinde olduğu gibi Python ortamında kırpma işlemine tabi tutulmuş, sadece Türkiye kara coğrafyası üzerindeki değerler elde edilmiştir. Neticede her bir gün için, uydu verileri doğrulayabileceğimiz 48606 noktasal veri sağlanmıştır.

Enterpolasyonun doğruluğu kullanılan kaynak noktaların mekânsal dağılımına bağlı olduğundan, bu çalışmalarda genellikle kaynak noktaların ortalama minimum mesafesine değinilmektedir. Bu değer kaynak noktaların birbirine ne kadar yakın olduğunu gösterip, enterpolasyonun doğruluğu hakkında fikir vermektedir. Çalışmamızda kaynak olarak kullandığımız istasyonlar arası ortalama minimum mesafesi 13,1 km bulunmuştur. Şekil 2' de görüldüğü üzere istasyonlar ülke coğrafyası boyunca homojen bir dağılıma sahiptir.



Şekil 2: 15.03.2023 Tarihinde veri temin edilen meteoroloji istasyonların mekânsal dağılımı.

# KARŞILAŞTIRMA SONUÇLARI

Doğrulama çalışmasında değerlendirilecek H61 ve H90 yağış verileri ve referans olarak kullanılan IDW gözlem verileri haritalandırılarak görsel karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca her bir uydu verisine denk gelen gözlem değeri En Yakın Komşu Eşleştirme Yöntemiyle eşleştirilmiş ve istatistiki skorlar belirlenerek doğrulama analizi yapılmıştır.

## 2.3. Haritaların Karşılaştırılması



Şekil 3: 12.03.2023 (solda) ve 13.03.2023 (sağda) tarihlerine ait 06 UTC 24 saatlik yağış haritaları. Yukardan aşağı sırasıyla Gözlem (IDW), H61, H90.

<u>14.03.2023</u>

<u>15.03.2023</u>





Şekil 4: 14.03.2023 (solda) ve 15.03.2023 (sağda) tarihlerine ait 06 UTC 24 saatlik yağış haritaları. Yukardan aşağı sırasıyla Gözlem (IDW), H61, H90.



Şekil 5: 16.03.2023 (solda) ve 17.03.2023 (sağda) tarihlerine ait 06 UTC 24 saatlik yağış haritaları. Yukardan aşağı sırasıyla Gözlem (IDW), H61, H90.

Oluşturulan yağış haritaları incelendiğinde 12 Mart tarihinde tahminler ve gözlem verileri arasında büyük bir tutarsızlık olduğu dikkat çekmektedir (Şekil 3). Aynı şekilde 13 (Şekil 3 )ve 14 Mart (Şekil 4) tarihlerinde de hem H90 hem de H61 yağış verileri gözlemlerle neredeyse uyuşmamaktadır. Sadece 13 Mart tarihinde Antalya çevresindeki yağışlarda kısmen tutarlılık görülmektedir. 15 Mart tarihinde Güneydoğu Anadolu Bölgesinde gerçekleşen kuvvetli yağışların

HSAF ürünleri tarafından oldukça tutarlı biçimde simüle edilmiş olduğu dikkat çekmektedir (Şekil 4). Aynı gün Türkiye'nin batısında gerçekleşen düşük miktarlı yağışlar HSAF ürünlerinde görülememektedir. 16 Mart tarihinde ise hem kuvvetli yağış alanları hem de düşük miktarlı yağışların başarılı bir şekilde yansıtıldığı görülmektedir. 17 Mart tarihinde Antalya çevresinde gerçekleşen kuvvetli yağış alanları hem H90 hem de H61 ürünleri tarafından simüle edilmiştir. Fakat Türkiye genelinde gerçekleşen düşük miktarlı yağışlar HSAF ürünlerinde çok tutarlı değildir (Şekil 5).

### 2.4. Doğrulama Analizi

Veriler analiz edilirken temel istatistiki formüller ve tanımlayıcılar kullanılmıştır. Uydu verileri ile IDW gözlem verileri 0.25, 1, 5 ve 10 mm eşik değerleri kullanılarak sınıflandırılmış ve bu formüller her sınıf için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Uygulanan tanımlayıcı değişkenler;

- Yanlılık (Bias/Mean Error): Tahmin edilen, modellenen veriler ile gerçek gözlemlerin arasındaki uzaklığı belirten bir terimdir. Uydu verileri ile gözlem verilerinin farkları toplamının veri sayısına bölünmesi ile bulunur. Yanlılık değeri 0'a yaklaştıkça model ideal yani hatasız hale gelmektedir.
- Standart sapma (SD): Değerlerin ortalama etrafında yayılımını temsil eden bir değişkendir.
   Uydu verileri ile gözlem verilerinin farklarından yanlılık değeri çıkarılarak elde edilen sayıların kareleri toplanır. Bu toplam değerin karekökü standart sapmayı ifade eder. Fark büyüdükçe standart sapma değeri artar.
- Korelasyon Katsayısı (CC): İki farklı değişkenin arasındaki ilişkinin derecesini ifade eden bir terimdir. Bu katsayı -1 ile +1 arasında değerler alır. 0 değeri iki değişken arasında ilişki olmadığını ifade eder. Katsayının (-) yönde artması negatif ilişkiye (+) yönde artması ise pozitif ilişkiye işaret eder.
- Hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE): Tahmin edilen veriler ile gözlem verileri arasındaki farkın karesinin toplam veri sayısına bölümünün kareköküdür. Aynı zamanda ortalama hatanın karekökü olduğu için hatanın boyutları ve verinin boyutları aynı büyüklükte incelenebilmektedir. Büyük değerler hatanın artışına işaret etmektedir.
- Ortalama mutlak hata (MAE): Tahmin edilen ve gözlenen veriler arasındaki farkın mutlak değeridir. Hatanın büyüklüğünü mutlak değer olarak ifade eder fakat yönü hakkında bilgi vermez. Büyük değerler hatanın arttığını ifade eder.
- Hataların gerçek değerlere oranı (FSE): Tahmin edilen verilerin RMSE değerlerinin gözlem değerlerinin ortalamasına oranının yüzdelik ifadesidir. Daha düşük bir FSE değeri, tahmin modelinin daha doğru sonuç verdiğini ifade eder.

Gün	H61				H90			
	>=0,25	>=1	>=5	>=10	>=0,25	>=1	>=5	>=10
12	1,3647	1,5154	0,3355	-5,1675	0,7374	0,8127	-0,6046	-6,5835
13	2,7380	2,7385	3,2050	2,8138	2,0990	2,0129	1,8857	1,4103
14	2,3806	2,3479	1,3489	-0,4013	2,9999	3,0692	2,2056	-0,2809
15	2,1083	2,3086	4,1523	6,6749	1,2037	1,3174	1,8571	2,0289
16	-0,5917	-0,7705	-1,0755	-0,7296	-0,3540	-0,5123	-0,8333	-0,2931
17	-1,2739	-2,2485	-4,9031	-7,2997	0,2160	-0,4038	-2,7954	-4,2652

Tablo 2: Yanlılık (Bias)

İki yağış ürünü farklı günlerde farklı değerler göstermektedir.17'sinde H61 -1,2 civarı bir yanlılığa sahipken H90 0,2 civarı bir yanlılık göstermektedir. Bu durumda H90'da yağış verileri gözleme oldukça yakınken H61'de yağış verileri tahminden oldukça uzaktır. 15'inde ise H61 2,1 iken H90 1,2 değeri vermektedir. Yanlılık değerlerine bakarak en tutarlı günün 16'sı olduğu görülmektedir. 16'sında H61 -0,6 civarında iken H90 -0,5 civarındadır. Bu gün için hem iki ürün hem de gözlem verileri birbirine yakın değerler vermektedir.

Gün	H61				H90			
	>=0,25	>=1	>=5	>=10	>=0,25	>=1	>=5	>=10
12	12,4448	13,3244	14,9613	15,0383	12,4220	13,1872	14,7688	14,0818
13	9,2998	10,0675	12,8976	15,2496	9,1770	9,8221	12,1980	13,7832
14	9,5366	9,9890	10,3575	11,4919	9,5144	9,9718	10,9582	11,8255
15	11,4184	12,3023	15,6615	20,0985	11,3345	12,3627	15,4536	19,8391
16	6,5695	7,1496	8,7790	11,3547	6,4197	6,9144	8,4475	10,7926
17	8,6323	9,1788	11,4693	15,1791	7,9429	8,7716	12,1793	17,3258

Tablo 3: Standart sapma (SD)

Standart sapma değerleri iki farklı yağış ürünü için de birbirine yakın değerler vermektedir. Yayılım miktarları en tutarlı gün olan 16'sında oldukça düşüktür.

Gün	H61				H90			
	>=0,25	>=1	>=5	>=10	>=0,25	>=1	>=5	>=10
12	0,1441	0,0297	-0,1831	-0,2375	0,1146	0,0183	-0,2147	-0,2519
13	0,4724	0,4352	0,2654	0,0966	0,4930	0,4636	0,3511	0,2856
14	0,3225	0,2482	0,1289	-0,0229	0,3365	0,2653	0,0868	0,0250
15	0,7721	0,7599	0,6924	0,5842	0,7790	0,7629	0,7107	0,6142
16	0,7517	0,7283	0,6564	0,4644	0,7842	0,7665	0,7070	0,5460
17	0,6144	0,6269	0,6398	0,6337	0,6440	0,6481	0,6720	0,6746

Tablo 4: Korelasyon Katsayısı

Korelasyon katsayısı değerleri 12'sinde en düşük seviyededir. Devam eden iki gün boyunca korelasyon katsayısı 0,5 değerinin altındadır. Bu değerler tahmin tutarlılığının oldukça düşük olduğuna işaret etmektedir. En yüksek tahmin tutarlılığı 15 ve 16'sında 0,75 üzeri değerler ile yakalanmıştır. Korelasyon katsayısı değerleri incelendiğinde iki farklı yağış ürününün neredeyse tüm karşılaştırmalarda birbirine yakın değerler verdiği görülmektedir.

Gün	H61				Н90			
	>=0,25	>=1	>=5	>=10	>=0,25	>=1	>=5	>=10
12	12,5194	13,4103	14,9651	15,9014	12,4439	13,2122	14,7812	15,5448
13	9,6945	10,4333	13,2899	15,5070	9,4140	10,0262	12,3429	13,8551
14	9,8292	10,2613	10,4449	11,4989	9,9761	10,4334	11,1780	11,8288
15	11,6114	12,5170	16,2026	21,1779	11,3982	12,4327	15,5648	19,9425
16	6,5961	7,1910	8,8446	11,3782	6,4295	6,9333	8,4885	10,7966
17	8,7258	9,4502	12,4734	16,8431	7,9458	8,7808	12,4960	17,8431

#### Tablo 5: Hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE)

Hata kareleri ortalamasının karekökü değerlerine bakıldığında 12'sinde ve 15'inde en yüksek değerlere 16'sında ise en düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Genel olarak iki yağış ürünü de benzer sonuçlar vermektedir.

Gün	H61				H90			
	>=0,25	>=1	>=5	>=10	>=0,25	>=1	>=5	>=10
12	9,0600	10,2740	12,2082	13,7006	8,9870	10,0285	12,0376	13,5834
13	6,3809	7,0680	9,8550	12,4271	6,3569	6,9624	9,3351	11,2556
14	6,4610	6,9500	7,6108	8,8797	6,5111	7,0610	8,1190	9,2859
15	6,5647	7,4295	11,1363	15,9513	6,7495	7,8540	11,1235	15,5983
16	4,3310	5,0169	6,7373	9,0977	4,2820	4,8603	6,4749	8,5571
17	5,1506	5,7744	8,7516	13,4602	4,5336	5,1979	8,4884	14,0160

Tablo 6: Ortalama mutlak hata (MAE)

Ortalama mutlak hata değerleri de hata kareleri ortalamasının karekökü değerleri ile paralel olarak 12'sinde en yüksek değerleri verirken 16'sında en düşük değerleri vermektedir. Benzer şekilde her iki yağış modeli de yakın mutlak hata değerleri vermektedir.

Gün	H61				H90			
	>=0,25	>=1	>=5	>=10	>=0,25	>=1	>=5	>=10
12	136,6602	128,6144	122,9035	144,8709	144,7693	137,4364	130,4448	163,0728
13	116,0349	110,9699	99,6972	88,5102	113,8367	109,3547	98,0639	85,6095
14	103,7076	98,8007	87,0071	84,9383	106,1753	100,3479	88,6932	86,5892
15	106,2251	99,8822	81,3646	67,7048	99,6093	92,3335	77,0780	64,2421

16	92,6794	85,9275	73,5622	61,0933	83,0517	77,6350	66,7318	55,0966	
17	159,9788	155,7438	145,9855	129,2465	143,4452	136,9222	129,1752	110,4634	
Tablo 7: Hataların gerçek değerleri oranı (FSE)									

FSE, RMSE değerlerinin gerçek değerler ortalamasına oranını göstermektedir. HSAF Ürün Doğrulama Grubu, H61 ürünü için Avrupa coğrafyasında yaptığı doğrulama çalışmalarında FSE değerinin 1 mm ve üzerindeki yağışlar için 150 ve altında olmasını hedeflemektedir. Çalışma periyodumuz boyunca 1 mm ve üzeri yağışlar için sadece H61'in 17. Gün verileri 150 mm ve üzerinde değer vermiştir. Hata oranlarının 12 ve 17. Günlerde görece yüksek, diğer günlerde 77-110 aralığında olduğu tespit edilmiştir.

#### **3. SONUÇLAR**

Yağış ürünleri ayın 12'sinde Ege ve İç Anadolu'nun batısında 13'ünde ise İç Anadolu'da gerçekleşen kuvvetli yağışları daha doğuda konumlandırmıştır. 14'ünde gerçekleşen kuvvetli yağışlar ise her iki ürün tarafından daha düşük ve pürüzsüz değerlerle gösterilmiştir. Buna karşın 16-17'sinde gerçekleşen ve deprem bölgesinde sel felaketine sebep olan kuvvetli yağış alanları ürün tarafından başarılı bir şekilde gösterilmiştir. Bu günlerde meydana gelen hem kuvvetli hem de hafif yağışların iyi simüle edildiği gözlemlenmiştir. 18'inde ise Antalya ve çevresindeki kuvvetli yağış alanları da doğru gösterilirken diğer yağış bölgelerinde tutarsızlıklar meydana gelmiştir.

İstatistiki değerlendirme için kullanılan tanımlayıcı değişkenler ürünlerin tutarlılığı ile ilgili önemli oranda fikir vermektedir. Hata belirten skorlarda en yüksek değerler 12'sinde en düşük değerler ise 16'sında elde edilmiştir. Hata skorları (MAE, RMSE) yağış miktarı arttıkça artış göstermektedir. Korelasyon katsayısı ilk 3 gün için düşük 15 ve 16'sı için ise 0,25 mm ve üzeri yağış grubu için yüksek (0,61-0,80 aralığında) bulunmuştur. Hataların orası (FSE) ise 12 ve 17. Günlerde görece yüksek olduğu bulunmuştur. Burada 12. Gündeki yüksek FSE hata miktarının diğer günlere göre fazla olmasından kaynaklıyken 17. Gün ise ortalama yağışın diğer günlere göre düşük olması sebebiyle gerçekleşmiştir. H61 ve H90 ürünlerinin tutarlılıkları genel olarak yakın bulunmuştur. Genel olarak iki ürün de istatistiki olarak anlamlı ve tutarlı kabul edilebilir.

Yaptığımız çalışmada ürünlerin tutarlılığı genel olarak tatmin edici bulunmuştur. Ürünlerin daha tutarlı hale getirilmesi için doğrulama çalışmalarının ve saha çalışmaların devamlı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu yolla algoritmaların güncellenmesi ve tutarlılığın artırılması mümkündür. Ayrıca bu tür uydu ürünleri ürünler infrared görüntülerin pasif mikrodalga radyometreleriyle kalibre edilmesi yoluyla elde edildiğinden ilerleyen yıllarda mikrodalga taraması yapan uyduların sayısının artmasıyla daha tutarlı ürünler geliştirmek mümkün olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Kidd, C.; Levizzani, V. (2011). Status of satellite precipitation retrievals. Hydrology and Earth System Sciences, 15(4), 1109–1116. doi:10.5194/hess-15-1109-2011
- [2] Liao, R.W.; Zhang, D.B.; Shen, Y. Validation of six satellite-derived rainfall estimates over China. Meteorol. Mon. 2015, 41, 970–979.
- [3] Qin, Y.X.; Chen, Z.Q.; Shen, Y.; Zhang, S.P.; Shi, R.H. Evaluation of satellite rainfall estimates over the Chinese Mainland. Remote Sens. 2014, 6, 11649–11672.
- [4] https://hsaf.meteoam.it/Products/ProductsList?type=precipitation
- [5] İlker, A., Terzi, Ö. & Şener, E. (2019). Yağışın Alansal Dağılımının Haritalandırılmasında Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Akdeniz Bölgesi Örneği . Teknik Dergi , 30
  (3) , 9213-9219 . DOI: 10.18400/tekderg.334186
- [6] Chen, D., Ou, T., Gong, L. et al. Spatial interpolation of daily precipitation in China: 1951–2005. Adv. Atmos. Sci. 27, 1221–1232 (2010). https://doi.org/10.1007/s00376-010-9151-y

# Ağrı Dağı'nın Kuzeydoğusunda Meydana Gelen Sellerin GPM İlk Verileri Kullanılarak Sabit Eşik Değer Yöntemi ile Analizi

Ramazan Koçak Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 16. Bölge Müdürlüğü Iğdır ramazankocak111@gmail.com

Senayi DÖNMEZ Biyosistem Mühendisliği Bölümü Iğdır Üniversitesi Iğdır senayi.donmez@igdir.edu.tr

Ahmet Emre TEKELİ İnşaat Mühendisliği Bölümü Iğdır Üniversitesi Iğdır aemre.tekeli@igdir.edu.tr

# ÖZET

Noktasal olarak ölçülen yağış miktarlarının büyük alanları temsil etmesi, atmosferin kaotik yapısı ve değişken topografya nedeniyle mümkün değildir. 2000'li yıllardan itibaren kullanılmaya başlayan uzaktan algılama verileri sayesinde topografyadan etkilenmeyen yağış ürünleri üretilmektedir. Küresel Yağış Ölçümü (Global Precipitation Measurement GPM) uydusu Şubat 2014'ten itibaren 0.1 derecelik mekânsal ve 0.5 saatlik zamansal çözünürlükte çeşitli yağış ürünleri sağlayarak Tropikal Yağış Ölçüm Misyonu (Tropical Rainfall Measuring Mission TRMM) uydusunun görevini devam ettirmektedir. Çalışmada, GPM için Uydulardan Bütünleştirilmiş Veriler (Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM, IMERG), yağış verilerinden ilk (Early) ürünleri ile Ağrı Dağı'nın Kuzeydoğusunda gözlenmiş seller Sabit Eşik Değer (SED) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak, bölgede konvektif yağıların sebep olduğu sellerin yapılan analizler ile tespit edilebildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler — GPM, Sel, Iğdır, Aralık, Uzaktan Algılama, Konvektif Yağış

## 1. GİRİŞ

İklim değişimi ile birlikte küresel sıcaklıktaki artış buharlaşma ve nem dengesini bozacağından toplam yağışın artacağı öngörülmektedir. Bu bağlamda küresel ısınma ile birlikte ekstrem yağışların gözlenme sıklık ve şiddetinde de artış beklenmektedir [1]. Buzulların erimesi ve deniz seviyelerinin yükselmesine ek olarak aşırı yağış ve sel olaylarının yoğunluğunda da artış gözlenmektedir. Buna zıt olarak; artan küresel sıcaklık ile atmosferin su tutma kapasitesi artacağından, su azlığı çekileceği teorisi de geçerliliğini korumakla beraber gelecek için farklı senaryolara hazırlıklı olunması gerektiği açıktır [2].

İklim değişimine uyum, planlı bir şekilde uygulanması gereken önlemler ile mümkündür. Bu kapsamda, dünya devletleri fikir birliği oluşturmak ve birlikte çalışarak güç birliği sağlamak adına anlaşmalar gerçekleştirerek, iklim değişimi ile ortak mücadele yöntemleri geliştirmektedir. 1992 yılında imzaya açılan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) ile başlayan ve günümüzde devam eden Paris Anlaşması ile toplumların birlikte hareket ederek iklim değişimine uyum ve olumsuz etkilerini azaltmak için çalışmaları devam etmektedir [3].

Afetlerin Epidemiyolojisini Araştırma Merkezi (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CERD) tarafından yapılan araştırmada son yirmi yılda meydana gelen doğal afetlerin sayısının ve verdiği zararın arttığı görülmektedir. Ayrıca, sellerin etki ve meydana gelme sayısı bakımından toplam zarar içerisinde önemli bir yer tuttuğu ortaya konmuştur [4].

Yağış miktarı ölçümünde kullanılan klasik yer-gözlem sistemleri sel afeti sırasında veri aktarımında, sonrasında bakım onarımının sebep olacağı maliyetler, ekonomik sebeplere bağlı olarak sayıca nispeten az ve kentsel alanlara daha yakın konumlandırılması gibi dezavantajlarına karşın uydu sistemleri bu dezavantajlardan muaf olup ekstrem yağış şartlarında klasik yer-gözlem sistemlerine göre avantajlıdır. Ayrıca, uydu verileri yükselti, eğim, arazi yüzeyi karmaşıklığı ve toprak nemi değişiminden uydu yağış verilerinin doğruluğu etkilenmesine rağmen yağış verisi toplama konusunda GPM Uydularından Bütünleştirilmiş Veriler (Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM IMERG) diğer yağış verisi üreten uydulara göre daha doğru sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu kapsamda, yer gözlemi destekli uydu sistemleri ile taşkın izleme ve tahmin sistemlerinin kurulumu konusunda yapılan araştırmaların sayısı artmaya başlamıştır [5-6].

GPM misyonu, Tropikal Yağış Ölçümü Görevi (TRMM)'in başarısı üzerine geliştirilen küresel ölçekte yağış gözlemleri sağlayan bir uydu ağıdır [7].

Çalışmada, GPM IMERG yağış verilerinden ilk (Early) ürünleri ile Ağrı Dağı'nın Kuzeydoğusunda gözlenmiş seller Sabit Eşik Değer (SED) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilecek bulgular, çalışmanın devamı niteliğinde sonraki çalışmalara ve geliştirilmesi düşünülen sel erken uyarı sistemlerine temel oluşturacaktır.

# 2. ÇALIŞMA ALANI

Iğdır ovası Aras havzası içerisinde yer almaktadır. Aras nehri kuzeyinde, Küçük Karası güneydoğusunda, Küçük ve Büyük Ağrı, Saloha, Kale ve Pamuk dağları güney ve batısını çevrelemektedir. Çevresinde nispeten yüksek rakımlı yerlere göre düşük rakıma sahip olan Iğdır ovasında mikroklima özelliği göstermektedir [8].



Şekil 1. Iğdır Sayısal Yükseklik Haritası ve Iğdır ovasında yer alan 0.1°GPM pikselleri

Çalışma alanı olan, Ağrı dağının Kuzeydoğusunda seller ile taşınan taş, kaya ve yüzey toprağı ile beraber toprağın yapısı bozulduğundan tarımsal bakımdan kullanım imkanı azalmaktadır. Ayrıca, bölge toprak neminin düşük olmasının yanında kurak ve yarı kurak iklim yapısına sahip olması sebebiyle Sub-tropikal step iklimi (BSk) sınıfındadır [9].

Iğdır'da bahar ve yaz aylarında meydana gelen yağışlar genellikle konvektif yağışlar şeklinde olmaktadır. Toplam yağış miktarının önemli kısmının ve yaşanan sellerin bahar ve yaz aylarında



olmasının temel sebebi de budur. Bununla beraber bahar ve yaz aylarında Ağrı dağında meydana gelen buzul erimesi ile beraber lahor akışlarının meydana geldiği bilinmektedir (Şekil 2).

Şekil 2. Iğdır ili Sıcaklık, Yağış, Sel grafiği

# **3. MATERYAL VE METOT**

# 3.1. Materyal

Çalışmada kullanılan noktasal gözlemler Meteoroloji Genel Müdürlüğüne (MGM) ait olan 17100 kodlu Merkez ve 18195 kodlu Aralık Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonlarından (OMGİ) elde edilmiştir.

IMERG yağış verilerinin bulunduğu 2014-2021 yılları arasında meydana gelen sellerin tarihleri ve yerleri geçmiş haber kaynakları taranarak elde edilmeye çalışılmıştır. Üç adet sel bilgisine ulaşılmasına rağmen kaydı bulunamayan ya da kayda geçmeyen yerleşim yerlerine uzak yerlerde de sellerin meydana gelmiş olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 1. Ağrı dağının kuzeydoğusunda bilgisine ulaşılabilen sel tarihleri

Sel Tarihi (Gün.Ay.Yıl)	Selin Gerçekleştiği Yer
05.06.2015	Aralık, Merkez
07.05.2018	Aralık, Gödekli
23.05.2021	Aralık, Gödekli

IMERG İlk verileri NASA'nın resmi internet sitesinden (https://gpm.nasa.gov/data) indirilmiştir. Uydu yağış verileri 0.1°x0.1° mekansal, 30 dakika zamansal çözünürlük formatındadır. IMERG verileri içerisinde İlk ürününün kullanılmasının sebebi geleceğe dönük tahmin yapabilmek amacıyla üretilmiş olmalarıdır [10]. Elde edilen IMERG verileri Mekansal Veri Ayırma Kitaplığı (GDAL) yazılımı kullanılarak çalışma alanı üzerine denk gelen pikseller ayıklanmıştır. Şekil 3'te Ağrı dağının kuzeydoğusunu kaplayan piksellerin 27-30 ila 44-47 olduğu görülmektedir. Ayrıca eğim sebebiyle kuzey ve kuzeydoğu yönünde sel anında su ve sediment akışı olacağı görülmektedir.



Şekil 3. Çalışma alanını kapsayan GPM pikselleri (27-30 ila 44-47)

# 3.2. Metot

Sabit Eşik Değer analizi sayısal yöntemler kullanarak sabit bir yağış değeri elde etmektir. Bu çalışmada kuramsal temeller ışığında SED yöntemi ve çalışma alanının durumu dikkate alınarak

yapılan geliştirme ile Ağrı dağının kuzeydoğusunda meydana gelen sellerin incelenmesi için uygun ve doğru veriler ortaya konulabileceği düşünülmüştür [11-12-13].

MGM'ye göre belirli bir sürede belirli miktarda ve üzerinde meydana gelen yağışları şiddetli yağışlar olarak tanımlamaktadır. Ayrıca, şiddetli yağışlar Eşitlik 1 ile tanımlanmıştır:

$$R = \sqrt{5t + \left(\frac{t}{24}\right)^2} \tag{1}$$

Burada R; mm birimiyle yağış miktarını, t; dakika birimiyle süreyi göstermektedir. IMERG ilk verileri 30 dakika zamansal çözünürlüğe sahip olduğundan Sabit Eşik Değer 12.2 mm olarak bulunmuştur. Elde edilen SED ile IMERG İlk verileri karşılaştırılarak eşik değeri geçen yağış verileri ile kayıtlı sel tarihleri karşılaştırılmıştır. Ardından çalışma alandaki eğimden kaynaklı sel sırasında 44-47 piksellerinden 27-30 piksellerine yani kuzeye doğru bir akış olabileceği öngörülerek piksel değerleri 2'liler halinde toplanarak 12.2 mm değerini aşan değer olup olmadığına bakılmıştır. Ayrıca, bu bakış açısının daha iyi bir sonuç verip vermediği değerlendirilmiştir.

#### 4. BULGULAR

Haziran 2015'de 11520 tane IMERG yağış verisi, Mayıs 2018 ve Mayıs 2021'de 11904'er tane IMERG yağış verisi arasında Eşitlik 1 ile hesaplanan 12.2 mm değerine eşit ya da aşan değer olmadığı bulunmuş ve Şekil 4, 5 ve 6'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Haziran 2015 için IMERG ilk ürünü yağış değerleri



Şekil 5. Mayıs 2018 için IMERG ilk ürünü yağış değerleri



Şekil 6. Mayıs 2021 için IMERG ilk ürünü yağış değerleri

Çalışma alanının Ağrı dağının eteklerinde bulunmasından kaynaklı ortalama olarak yaklaşık 15 derecelik bir eğim mevcuttur. Bu eğimin kuzey yönünde bir akışa sebep olacağı gerçeğinden yola çıkarak sel sırasında 44-47 piksellerinden 27-30 piksellerine yani kuzeye doğru piksel değerleri 2'liler halinde toplanarak 12.2 mm değerini aşan değer olup olmadığına bakılmıştır. Yapılan analiz sonucunda, Şekil 7, 8 ve 9'da görüldüğü gibi sel tarihlerinden biri tespit edilebilmiştir.



Şekil 7. Haziran 2015, IMERG ilk ürünü yağış verileri için piksellerin ikili olarak toplanmış dağılımı



Şekil 8. Mayıs 2018, IMERG ilk ürünü yağış verileri için piksellerin ikili olarak toplanmış dağılımı



Şekil 9. Mayıs 2021, IMERG ilk ürünü yağış verileri için piksellerin ikili olarak toplanmış dağılımı

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Çalışmada, IMERG verileri ile SED yöntemi kullanılarak Ağrı dağının kuzeydoğusunda meydana gelen sellerin tespit edilebilirliği incelenmiştir. Ayrıca, çalışma alanında ciddi derecede eğim olması sebebiyle kuzey yönünde piksel değerleri toplanarak eşik değeri aşan veri olup olmadığına bakılmıştır. IMERG verilerinin hiç birinin sabit eşik değeri geçmediği görülmüştür. Diğer yandan, piksel değerleri toplanarak daha iyi sonuç alındığı ortaya konmuştur.

Yapılan analizler sadece IMERG yağış verilerinin ilk ürünü ile yapılmıştır. Uydu yağış verilerinin yer gözlem verileri ile kalibrasyona ihtiyaç duyduğu bilinmektedir [6]. Dolayısıyla kalibrasyon çalışmaları neticesinde elde edilen verilerin daha iyi sonuç vereceği düşünülmektedir.

Iğdır ili mikroklima özelliği nedeniyle hem Doğu Anadolu hem de Türkiye'ye göre daha kurak olduğu [8] göz önünde bulundurulduğunda sadece yağış verisinin zamansal çözünürlüğüne bağlı Eşitlik 1'in toprak nemi [14] gibi sellerle bağlantılı olabilecek parametreler ile geliştirilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, ekstrem yağışlar için eşik değerlerin belirlenmesinde küreselden ziyade bölgesel eşik değerlerin belirlenmesi bulgusu [15] ile uyumlu olarak bölgenin yeryüzü özellikleri dikkate alınarak yağış piksel değerleri eğim yönünde toplanmış ve 12.2 mm değeri ile karşılaştırılmasının daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Sonuç olarak, çalışmada sadece yağış verileri ile analiz yapılmış olup diğer sele sebep olan faktörler dikkate alınmamıştır. Bölge de yersel yağış verisinin az olması sebebi ile IMERG yağış verilerinin doğrulama işlemi yapılamamıştır. Sellerin zamansal ve mekansal verilerine tam olarak erişim mümkün olmadığından kaydına ulaşılamayan sellerin de var olabileceği düşünülmektedir.

### KAYNAKLAR

- [1] Pour S. H., Abd Wahab A. K., Shahid S., Asaduzzaman M., Dewan A., Low Impact Development Techniques to Mitigate the Impacts of Climate-change-induced Urban Floods: Current Trends, Issues and Challenges, Sustainable Cities and Society, Montreal, (102373), 2020.
- [2] Tabari H., Climate Change Impact on Flood and Extreme Precipitation Increases with Water Availability, Scientific reports, Londra, (1-10), 2020.
- [3] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. İklim Değişikliği ve Uluslararası Müzakereler, Ankara, 2022.
- [4] Afetlerin Epidemiyolojisini Araştırma Merkezi. Human Cost of Disasters: An Overview of the Last 20 Years (2000-2019), Cenova, 2020.
- [5] Tuğrul M.T., Amjad M., Bulut B., Yücel İ., TRMM ve GPM Uzaktan Algılama ve ECMWF Numerik Model Kaynaklı Yağış Verilerinin Doğrulanması, UZALMET III. Uzaktan Algılama Sempozyumu, Ankara, 2017.
- [6] Amjad M., Evaluating and Merging Model And Satellite Based Precipitation Products Over Varying Climate and Topography, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (113), Ankara, 2020.
- [7] NASA. GPM Mission Concept, Amerika Birleşik Devletleri, 2022.
- [8] Yaltı S., Aksu H., Drought Analysis of Iğdır Turkey, Turkey Journal of Agriculture Food Science and Technology, (2227-2232), Sivas, 2019.
- [9] Türkeş M., *Climate and Drought in Turkey*, Water Resources of Turkey, (85-125), Türkiye, 2019.

- [10] Mazzoglio P., Chapter 4 Insight on a Global Extreme Rainfall Detection System. Precipitation Science, (805-817), Amsterdam, 2022.
- [11] Asante K.O., Dezanove R.M., Artan G., Lietzow R., Verdin J., Developing a Flood Monitoring System from Remotely Sensed Data for the Limpopo Basin, IEEE Transaction on Geoscienced and Remote Sensing, (1709-17014), Kanada, 2007.
- [12] Tekeli A.E., Uydu Tabanlı Yağış Verileri ile Gaziantep Taşkınlarının İncelenmesi, II. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu, (553-562), Ankara, 2015.
- [13] Koçak R., Global Yağış Ölçümü (GPM) Uydu Verileri Kullanılarak Iğdır İli Aralık İlçesi Sellerinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, (24-29), Iğdır, 2023.
- [14] Tekeli A.E., Fouli H., Reducing False Flood Warnings of TRMM Rain Rates Tresholds over Riyadh City, Saudi Arabia by Utilizing AMSR-E Soil Moisture Information, Water Resour. Manage., (1243-1256), Atina, 2017.
- [15] Hamada A., Murayama Y., Takayabu Y.N., Regional Characteristics of Extreme Rainfall Extracted from TRMM PR Measurement, J. Clim., (8151-8169), Amerika Birleşik Devletleri, 2014.

# Yıldırım Aktivitesi ve Şiddetli Yağışlar Arasındaki İlişkinin Analizi

Rıdvan Aktepe Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yazılım Geliştirme Şube Müdürlüğü Ankara raktepe@mgm.gov.tr

Zikri Öztaş Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yazılım Geliştirme Şube Müdürlüğü Ankara zoztas@mgm.gov.tr

# ÖZET

Şiddetli yağışların, su kaynakları, tarım, hava kalitesi ve insan sağlığı gibi birçok alanda olumsuz etkileri bilinmektedir. Bu olayların izlenmesi ve anlaşılması, gelecekteki riskleri azaltmak adına kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmanın amacı, Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi'nden (YTTS) elde edilen veriler (Yıldırım/şimşek yeri, yıldırım/şimşek akım şiddeti ve yönü, şimşeğin yerden yüksekliği vb.) ve Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu (OMGİ) aracılığı ile elde edilen yağış miktarı verileri arasındaki ilişkiyi incelemeyi amaçlamaktadır. Örneklem yöntemi ile seçilen istasyonların ve bu istasyonların temsil bölgesinde meydana gelen yıldırım şimşek aktivitelerinin; özellikle şiddetli yağış sürecine, parametre bazında doğrudan ya da dolaylı etkileri ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler — örneklem, YTTS, Yıldırım, Şimşek, Şiddetli Yağış, OMGİ

# 1. GİRİŞ

İklim değişikliği, son yıllarda dünya genelinde artan hava olaylarının artmasına ve şiddetlenmesine yol açan önemli bir sorundur. Bu hava olayları arasında özellikle yıldırımlar ve şiddetli yağışlar, çevre, ekonomi ve insan hayatı üzerinde olumsuz etkileri olan önemli doğa olaylarıdır. Bu nedenle, yıldırım aktivitesi ile şiddetli yağışlar arasındaki ilişkinin anlaşılması ve analiz edilmesi, iklim değişikliği ile mücadele ve afet yönetimi konularında büyük önem taşımaktadır.

Yıldırımlar, bulut ile yer arasında meydana gelen yüksek gerilimli bir elektrik boşalmasıdır. Yıldırım aktivitesi, hem çevresel faktörler hem de iklim değişikliği etkileriyle birlikte artmaktadır. Ayrıca, yıldırımların; yangınlar, altyapı hasarları ve hatta insan ölümleri gibi olumsuz etkileri de bilinmektedir.

Öte yandan, şiddetli yağışlar da benzer şekilde çevre ve toplum üzerinde büyük etkilere sahiptir. Toprak erozyonu, sel, taşkınlar ve altyapı hasarları gibi sorunlara yol açabilirler. İklim değişikliği, atmosferde daha fazla nem taşıyan hava kütlelerinin oluşmasına neden olarak şiddetli yağışların yoğunluğunu ve sıklığını artırabilir.

Bu çalışma, yıldırım aktivitesi ile şiddetli yağışlar arasındaki ilişkiyi incelemeyi amaçlamaktadır. Bu ilişkinin anlaşılması, özellikle afet yönetimi ve iklim değişikliği ile mücadele alanlarında önemli bilgiler sunabilir. Ayrıca, yıldırım aktivitesi ile şiddetli yağışlar arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılması, meteorolojik tahminlerin geliştirilmesi ve halkın erken uyarılarla bilgilendirilmesi için de önemlidir.

# 2. YÖNTEM

#### 2.1. Veri Toplama

Çalışmamızın temel veri kaynakları, Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu (OMGİ) aracılığı ile Türkiye genelinde bulunan 10 adet meteoroloji istasyonundan elde edilen saatlik yağış miktarı verileri ile bu istasyonların enlem-boylam bilgilerini içermektedir. Bu veriler, 2019 ile 2022 yılları arasında Mayıs - Ağustos ayları süresince yoğun yıldırım aktivitesinin yaşandığı dönemleri kapsamaktadır. Meteorolojik hadiselerin şiddet sınıflandırmasına göre, bir yağışın 'şiddetli yağış' olarak kabul edilmesi için 12 saatlik periyotta 76-100 mm arasında bir yağış miktarına ulaşması gerekmektedir. Bu nedenle, çalışmamızda verilerimiz, 24 saatlik yağış verisinin, <u>12 saatlik</u> <u>periyodunda şiddetli yağış alan günler</u> olarak değerlendirilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sunulan, Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi (YTTS) aracılığıyla istasyonların enlem ve boylam bilgileri kullanılarak, 15 km yarıçaplı bir daire içinde gerçekleşen yıldırım verileri toplanmıştır. Sonuç olarak, elde edilen 24 saatlik yıldırım sayısı ve yağış miktar verileri Tablo 1'de sunulmaktadır.

Yıl	Ay	Gün	İstasyon	Şehir	Yağış (mm)	Yıldırım
2022	6	13	İkizce	ORDU	175,3	373
2019	6	20	İkizce	ORDU	216,4	459
2020	7	8	Çanakçı	GİRESUN	158.2	344
2022	7	10	Sarıyer	İSTANBUL	153,8	2104
2022	8	15	Çekmeköy/Ömerli	İSTANBUL	105,2	1169
2021	6	1	Pozantı/Akçatekir	ADANA	120,0	184
2020	5	2	Yumurtalık	ADANA	157.8	151
2020	5	1	Sarıçam	ADANA	112,2	188
2021	7	14	Çayeli	RİZE	199,3	56
2020	7	13	Çayeli	RİZE	261,8	115

Tablo 1: Meteorolojik İstasyonlar ve İstasyonlara Ait Yağış ile Yıldırım Miktarları

#### 2.2. Veri Entegrasyonu

Meteoroloji istasyonlarından elde edilen saatlik yağış verileri, Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi (YTTS) verileriyle coğrafi konumlarına göre eşleştirilerek analiz için uygun hale getirilmiştir. Bu veriler .json ve .csv formatlarına dönüştürülerek, SPSS uygulamasında kullanılmak üzere düzenlenmiştir. SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), araştırmacıların verileri analiz etmelerine, istatistiksel sonuçlar üretmelerine ve grafikler oluşturmalarına yardımcı olan güçlü bir istatistiksel analiz yazılımıdır.

#### 2.3. Veri Analizi

Veri analizi aşamasında, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi ölçen bir istatistiksel yöntem olan Korelasyon Analizi kullanılmıştır. Korelasyon, değişkenler arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü ölçmek için kullanılır. En yaygın korelasyon yöntemleri: Pearson ve Spearman Korelasyonudur.

Çalışmada, Pearson Korelasyon Analizi tercih edilmiş olup, incelenen tüm istasyonlar için ayrı ayrı bu hesaplamalar yapılmıştır. Örnek olarak, İstanbul Sarıyer istasyonu için hesaplama sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir, bu tabloda 24 saatlik ortalama yağış ve yıldırım verileri yer almaktadır.

	Ortalama	Saat Sayısı
Yağış (mm)	6,5	18
Yıldırım (adet)	117	18

Tablo 2 – İstanbul Sarıyer 10 Temmuz 2022 24 saatlik ortalama yağış miktarı ve yıldırım sayısı

Tablo 3'de elde İstanbul Sarıyer istasyonu için ikili korelasyon sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 3 – İstanbul Sarıyer istasyonu Pearson Korelasyon Analiz Sonuçları						
		Yıldırım				
	r	,473*				
Yağış	р	,047				
	n	18				

\* Korelasyon p<0.05 düzeyinde anlamlıdır.

Pearson Korelasyon Katsayısı, iki değişken arasındaki ilişkiyi ölçen bir istatistiksel metriktir. Bu katsayı, iki sürekli değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi değerlendirir.

$$\mathbf{r} = \Sigma((\mathbf{X} - \bar{\mathbf{X}})(\mathbf{Y} - \bar{\mathbf{Y}})) / \sqrt{(\Sigma(\mathbf{X} - \bar{\mathbf{X}})^2 * \Sigma(\mathbf{Y} - \bar{\mathbf{Y}})^2)}$$
(1)

Burada r; Pearson Korelasyon Katsayısını, X ve Y; değişkenlerin değerlerini,  $\overline{X}$  ve  $\overline{Y}$  ise değişkenlerin ortalama değerlerini göstermektedir.

Pearson korelasyonu, -1 ile +1 arasında bir değere sahiptir.

+1: Mükemmel pozitif korelasyon: İki değişken arasında tamamen pozitif bir ilişki vardır. Bir değişken artarken diğeri de artar.

**0:** Korelasyon yok: İki değişken arasında bir ilişki yoktur. Değişkenler arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamsızdır.

-1: Mükemmel negatif korelasyon: İki değişken arasında tamamen negatif bir ilişki vardır. Bir değişken artarken diğeri azalır.

Korelasyon katsayısı (r)

- 0.00 için Doğrusal İlişki yok.
- 0.01 0,29 Zayıf Korelasyon.
- 0,30 0,70 Orta Düzeyde Korelasyon.

- 0,71 0,99 Güçlü Korelasyon.
- 1,00 Mükemmel Korelasyon 'u ifade eder denilebilir.

Analiz sonuçlarındaki **p değeri**, anlamlılık değerini ifade etmektedir. p<0,05 ise ilişki anlamlıdır, p>0,05 ise ilişki anlamlı değildir. Anlamlılık, istatiksel olarak bu iki değerin birbiri için önemli olmasını ifade eder.

Son olarak, n değeri ise, analize dâhil edilen değer sayısını göstermektedir.

Şekil 1' de seçilen istasyonun analiz sonuçları grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1 – Örnek İstasyonun Analiz Sonuç Grafiği

# **3. BULGULAR**

Örneklem metodu kullanılarak seçilen 10 istasyonun verileri SPSS programı ile Korelasyon analizine tabi tutulmuş ve istasyon bazlı korelasyon analiz sonuçları Tablo 4'te sunulmuştur.

	_		Korelasyon	Anlamlılık	Değer	Korelasyon
Yıl	İstasyon	Şehir	Katsayısı (r)	Değeri (p)	Sayısı	Sonucu
2019	İkizce	ORDU	0,478	0,084	14	Orta
2022	İkizce	ORDU	0,781	0,013	9	Güçlü
2020	Çanakçı	GİRESUN	0,330	0,212	16	Orta

Tablo 4 – İkili Korelasyon Analiz Sonuçları

2022	Sarıyer	İSTANBUL	0,473	0,047	18	Orta
2022	Çekmeköy/Ömerli	İSTANBUL	0,991	0,001	6	Güçlü
2021	Pozantı/Akçatekir	ADANA	0,582	0,061	11	Orta
2020	Yumurtalık	ADANA	0,714	0,020	10	Güçlü
2020	Sarıçam	ADANA	0,899	0,001	12	Güçlü
2021	Çayeli	RİZE	0,930	0,001	13	Güçlü
2020	Çayeli	RİZE	0,851	0,001	12	Güçlü

Elde edilen verilerde, 6 istasyonda güçlü korelasyon gözlenirken, diğer 4 istasyonda orta dereceli korelasyon tespit edilmiştir. Anlamlılık değerlerine bakıldığında, p<0,05 eşiğine uygun olan 7 istasyon bulunmaktadır. Buna dayanarak elde edilen sonuçların %70 oranında anlamlı olduğu görülmektedir. Tüm istasyonların birleştirilmiş verilerinin korelasyon analiz sonuçları, Şekil 2'de gösterilen Birleştirilmiş Korelasyon Analiz Grafiği ile birlikte sunulmaktadır.



Şekil 2 - Birleştirilmiş Korelasyon Grafiği

### 4. SONUÇ

Bu çalışma, 10 farklı insansız ölçüm yapan meteoroloji istasyonunda yıldırım aktivitesi ve şiddetli yağışlar arasındaki korelasyonu incelemiştir. Elde edilen sonuçlar, bu iki değişken arasında **önemli ölçüde pozitif ilişki** olduğunu göstermektedir. Özellikle, Çekmeköy/Ömerli, Sarıçam ve Çayeli oldukça yüksek korelasyon katsayılarına sahiptir.

Bu sonuçlar, meteorolojik olayların anlaşılması ve tahmin edilmesi açısından önemlidir. Şiddetli yağışlar, yıldırım aktivitesi ile ilişkilendirilerek daha iyi izlenebilir ve anlaşılabilir. Ayrıca, bu sonuçlar, afet yönetimi ve halkın uyarılması için kullanılabilir.

Ancak, bu sonuçlarda yorumlanması gereken bazı önemli noktalar bulunmaktadır. Bu çalışma sadece belirli bir zaman dilimini ve bölgenin ele alınmış olması, istasyonlar arasındaki coğrafi farklılıklar, topografik özellikler ve diğer çevresel etkenler, bu korelasyonun sonuçlarını etkileyebilir.

Gelecekte, bu çalışmanın sonuçları daha fazla araştırma ve analizle desteklenmelidir. Ayrıca, daha geniş bir coğrafi alan ve farklı hava koşulları dikkate alınarak benzer çalışmalar yapılabilir. Bu, şiddetli yağışlar ve yıldırım aktivitesi arasındaki ilişkiyi daha derinlemesine anlamamıza yardımcı olabilir.

# KAYNAKLAR

- [1] https://www.mgm.gov.tr/FILES/Haberler/2015/yildirim.pdf Meteoroloji Genel Müdürlüğü
   Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi (YTTS)
- [2] https://tr.wikipedia.org/wiki/Korelasyon Korelasyon

# Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi (FFGS) Çıktılarının Taşkın Tahmini Performans Analizi

#### Salih BABAGİRAY

Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Taşkın Tahmini ve Erken Uyarı Merkezi (TATUM) Çalışma Grubu Ankara salih.babagiray@tarimorman.gov.tr

Cihat ADSIZ Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Taşkın Tahmini ve Erken Uyarı Merkezi (TATUM) Çalışma Grubu Ankara cihat.adsiz@tarimorman.gov.tr

# ÖZET

Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından belirli bölgelerde kurulan Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi'nin (FFGS) işleyişi ve etkinliği örnek bir olay üzerinde incelenmiştir. FFGS, yersel ve uzaktan algılama ürün girdilerini (yağış, sıcaklık, kar örtüsü vb.) kullanarak ani taşkınları tahmin etmeye çalışmaktadır. Sistemde taşkın uyarıları, gerçekleşen veya tahmin edilen yağışların, daha önce belirlenmiş havza eşik değerini aşması durumunda üretilmektedir. Bu çalışmada, aşırı yağışlardan kaynaklanan olumsuz etkilere sıkça maruz kalan Adana ilinde gerçekleşen şiddetli yağışlarla, sistemin ürettiği uyarılar karşılaştırılmış ve sistemin başarı oranları analiz edilmiştir. Ayrıca, uyarıların uydu görüntüleri ve olay raporları ile doğrulaması yapılmıştır. Sonuç olarak; çalışma alanında yer alan 52 adet havzadan 24 tanesinde taşkın, su baskını, göllenme vb. olumsuzlukların yaşandığı tespit edilmiştir. Taşkın uyarısı olarak üretilen iki ürün (IFFT ve FFFT) de ayrı ayrı incelenmiş ve FFGS'in gerçekleşen taşkınları yaklaşık %50 oranında doğru tahmin ettiği tespit edilmiştir. Başarısız tahminler ise ortalama %40 oranında kalmıştır. Sistem, taşkınları olabildiğince başarılı bir şekilde tahmin etmeye çalışsa da, bu başarı oranlarını artırmak için hala geliştirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

## Anahtar Kelimeler — Adana; taşkın; uzaktan algılama; OMGİ; FFGS.

# 1. GİRİŞ

Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi (FFGS), Dünya Meteoroloji Örgütü (DMO) tarafından belirli bölgelerde kurulan ve ani taşkınları mekânsal (havza bazlı) ve zamansal olarak tahmin eden bir sistemdir. Sistemin ana çalışma prensibi yağış yüksekliğidir (mm).

Sistem; uydu, radar ve yer gözlemlerinin (Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu, OMGİ) yağış verilerini, sıcaklık verilerini (OMGİ'den), karla kaplı alan (uydudan) verilerini kullanarak; kar-su eşdeğerini (SNOW-17), kar erimesini (SNOW-17), toprak nemini (SAC-SMA) hesaplar ve bu değeri kullanarak eşik değerlerini (FFG) her 6 saatte bir günceller. Gerçekleşen ve tahmini yağışların, o havzaya ait güncel FFG değerini aşması durumunda sistem uyarı verir.

Küresel ani taşkın erken uyarı sistemi FFGS, dünya genelinde birçok ülkede çalışmaktadır. Bu çalışmalar bölge bazlı yürütülmektedir. Söz konusu bölgeler ve bu bölgelere dâhil olan ülkeler Şekil 1'de verilmiştir [1].



Şekil 1: Global Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi

Çalışma kapsamında yapılan analizlerde; yağış girdi verisi olarak sistem tarafından üretilen "Birleştirilmiş Ortalama Alansal Yağış (Merged MAP, Mean Areal Precipitation)" ürünü,

kullanılmış olup, tahmin ürünleri çalışmaya dahil edilmemiştir. OMGİ'lerden elde edilen alansallaştırılmış yağış verileri ile 24 saatlik yağış tahminleri karşılaştırılmıştır. Sonrasında ise; Merged MAP ürünleri ile FFGS havzaları bazında karşılaştırma yapılmış ve yapılan analizler üçüncü bölümde sunulmuştur.

Dördüncü bölümde, gerçekleşen yağışların FFG eşik değerini aşma durumunda uyarı üreten IFFT (Imminent Flash Flood Threat) değerleri ve tahmini yağış değerlerinin FFGS eşik değerini aşması durumnda uyarı veren FFFT (Forecast Flash Flood Threat) değerleri analiz edilmiştir.

Beşinci bölümde; gerçekleşen yağışlardan kaynaklı oluşan olumsuzlukların (taşkın, göllenme vb.) tespiti üzerinde çalışılmıştır. Taşkın yaşanan FFGS havzaları, hem ilgili Kuruluşların taşkın raporlarından hem de uydu görüntüleri vasıtasıyla tespit edilmiştir. Son olarak bu havzalar, FFGS tarafından taşkın uyarısı verilen havzalar ile karşılaştırılmış ve uyarı performansı incelenmiştir.

Altıncı ve son bölümde ise; sonuçlar toparlanmış ve genel bir değerlendirme yapılarak FFGS hakkında öneriler sunulmuştur.

# 2. ÇALIŞMA ALANI

Akdeniz bölgesinde yer alan Adana ilindeki; Seyhan, Çukurova, Sarıçam, Yüreğir ve Karataş ilçeleri çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Söz konusu çalışma alanı sınırları Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2: Çalışma alanı

Aşırı yağışlardan kaynaklı olumsuzluklar, özellikle Yüreğir ve Karataş ilçe sınırları içerisindeki tarım alanlarında ve Seyhan ilçesinde de kısmen gözlenmiş. Havzanın kuzeyinde bulunan dağlık kısımdaki yağış etkisinin de görülebilmesi için, Çukurova ve Sarıçam ilçeleri de çalışmaya dâhil edilmiştir.

Çalışma alanındaki kot değişimini göstermek maksadıyla 10 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli hazırlanmıştır (Şekil 3a). Çalışma alanının güney kısmı, Seyhan ve Ceyhan Nehirlerinin yıllar boyunca taşıdığı alüvyonlar sebebiyle oldukça düz ve verimli arazilerden oluşmaktadır. Ortalama eğim % 6 olmasına rağmen özellikle dağlık kısmın güneyindeki bölgede 0 eğime kadar düşen yerler mevcuttur (Şekil 3b).



a) Sayısal yükseklik modeli

b) Eğim haritası

Şekil 3: Sayısal yükseklik modeli ve eğim haritası

Çalışma alanına giren FFGS havzaları Şekil 4'te verilmiştir. Havzalara ait FFGS kodlarının 10 haneli sayılardan oluşması sebebiyle, haritada gösterim kolaylığı sağlaması için havzalara farklı bir kod (FID) verilmiştir. Bu kodlara karşılık gelen FFGS kodları ve havza alanları ise Tablo 1'de verilmiştir. Alanları yaklaşık 1 km<sup>2</sup> ile 215 km<sup>2</sup> arasında değişen 52 adet FFGS havzasında analizler yapılmıştır.



Şekil 4: FFGS havzaları

Tablo 1: FFGS havzalarına ait FID kodları ve havza alanları

FID	FFGS_ID	km <sup>2</sup>	FID	FFGS_ID	km <sup>2</sup>	FID	FFGS_ID	km <sup>2</sup>
0	2021505096	55.49	18	2021505607	73.33	35	2021505609	39.21
1	2021505092	31.08	19	2021505616	84.19	36	2021506087	91.07
2	2021506066	80.86	20	2021505926	49.49	37	2021506082	120.38
3	2021505266	52.44	21	2021505611	85.98	38	2021505922	170.77
4	2021505080	21.58	22	2021505924	215.36	39	2021505618	44.27
5	2021505079	84.41	23	2021505613	92.76	40	2021506088	36.02
6	2021505265	66.69	24	2021506081	54.29	41	2021505608	74.87
7	2021505315	113.22	25	2021506079	63.13	42	2021505658	43.61
8	2021505267	39.26	26	2021505704	179.48	43	2021505657	61.91
9	2021505606	112.47	27	2021506080	114.56	44	2021505898	84.82
10	2021506067	38.72	28	2021505617	43.09	45	2021505899	37.31
11	2021505268	23.50	29	2021505610	39.60	46	2021506086	11.55
12	2021506065	21.87	30	2021505615	9.37	47	2021506085	44.02
13	2021505264	31.52	31	2021505614	43.91	48	2021506084	39.09
14	2021505078	2.62	32	2021506078	10.42	49	2021506083	43.73
15	2021506068	45.65	33	2021505612	0.87	50	2021505921	2.80
16	2021505706	120.22	34	2021506077	13.76	51	2021505920	45.06
17	2021505705	49.01						

# 3. GERÇEKLEŞEN YAĞIŞLAR VE FFGS GİRDİSİ

Bu bölümde; gerçekleşen yağışlar çalışma alanı içerisindeki FFGS havzaları özelinde analiz edilmiştir. Ayrıca, FFGS'e yağış girdisi olan "Merged MAP" ürünü de ölçülen yağış değerleri ile karşılaştırılmıştır.

### 3.1. OMGİ Ölçümleri

Yağışlar, 18 adet OMGİ'nin günlük toplam değerleri ile analiz edilmiştir. Söz konusu OMGİ konumları Şekil 5'te verilmiştir. Çalışmada kullanılan istasyonlar ve 24.12.2019 - 26.12.2019 (06:00 UTC, Koordine Edilmiş Evrensel Zaman) tarihleri arasında istasyonların ölçtüğü 3 günlük değerler Tablo 2'de verilmiştir [2]. En fazla yağış görülen istasyon, Yüreğir/Çukurova Tarım Arş. İstasyonu olmuş ve en yüksek yağışı 24 Aralık 2019 tarihinde 182 mm olarak ölçmüş, 24 ve 25 Aralık 2019 tarihlerinde ise toplamda 320 mm yağış ölçmüştür. Bu istasyonun 3 gün boyunca kaydettiği toplam yağış miktarı ise 346 mm'dir (Tablo 2).



Şekil 5: OMGİ konumları ve ölçümleri

İstasyon Adı	24.12.2020	25.12.2019	26.12.2021	Toplam (mm)
Ceyhan TİGEM	53	107	46	207
Ceyhan	53	131	60	244
Karaisalı	65	62	37	164
Karataş	42	35	61	138
Yumurtalık	11	96	78	185
Adana Bölge	92	147	24	264
Tarsus	64	46	13	122
Mersin	45	27	14	86
İmamoğlu	58	159	26	243
Yüreğir/Çukurova T.A.	182	138	26	346
Çamlıyayla/Meyvecilik A.	51	28	28	107
Çukurova	89	100	29	217
Sarıçam	84	158	24	266
Sarıçam/Hacı Sabancı OSB	129	91	29	249
Sarıçam/Yağızlar Göleti	80	167	23	271
Karaisalı/Sadıkali Köyü	96	107	25	227
Karataş/Konaklı Köyü	148	102	19	269
Akdeniz/Yanpınar Köyü	38	29	17	84

Tablo 2. 24.12.2019 (06UTC) - 26.12.2019 (06UTC) tarihleri arasındaki OMGİ ölçümleri

Yağışlar, OMGİ'lerden alınan nokta verilerine göre Ters Mesafe Ağırlıklı Yöntemi (Inverse Distance Weighted, IDW) kullanılarak alansallaştırılmıştır. Alansallaştırma; 24, 25 ve 26 Aralık 2019 tarihleri için (24 saat toplam, 06UTC) ayrı ayrı yapılmış ve gerçekleşen yağışların alansal etkileri görülmüştür. 24 Aralık 2019 tarihinde Yüreğir/Çukurova Tarım Arş. İstasyonu civarında etkili olan yağışların ertesi gün kuzeye kaydığı, son gün ise etkisini kısmen azalttığı görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6: 24, 25 ve 26 Aralık 2019 tarihlerinde gerçekleşen yağışlar (24 saat toplam)

## 3.2. FFGS Yağış Girdisi (MAP)

Sistemde yağış girdisi olarak; Radar (RADAR Precipititation), mikrodalga yağış verileri ile düzeltilmiş uydu yağış verileri (MWGHE Precipitation), uydu yağış ürünleri (Global Hydro Estimator, GHE Precipitation) ve alansal yer yağış gözlemleri (Gauge MAP, Mean Areal Precipitation) kullanılmaktadır. Ancak en önemli yağış girdi verisi "Birleştirilmiş Ortalama Alansal Yağış (Merged MAP, Mean Areal Precipitation)" ürünüdür. Yapılan analizlerde bu ürün kullanılmış ve çalışma kapsamında incelenen üç gün için de, uygulamadan alınan MAP (24 saat toplam) görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir (MAP olarak verilen ürünler Merged MAP ürünleridir).



a) 24.12.2019 (06UTC) b) 25.12.2019 (06UTC) c) 26.12.2019 (06UTC) Şekil 7: MAP ürünleri (24 saat toplam)

FFGS havzalarına ait MAP değerleri ayrıca Tablo 3'de verilmiştir. Bu tabloya ayrıca, OMGİ'lerden elde edilen alansallaştırılmış yağış değerleri de eklenmiş ve sisteme giren "yağış girdisi" değerinin OMGİ değerlerine yakınlığı karşılaştırılmıştır. Tablodaki son sütunda MAP değerlerinin OMGİ ölçümlerine oranı verilerek tutarlılık analizi de yapılmıştır. Buna göre özellikle ilk gün, gerçekleşen yağışlara oranla çok düşük değerlerin sisteme yağış girdisi olarak verildiği tespit edilmiştir. Birinci gün; %0.01 - %54 arasında, ikinci gün; %22 - %95 arasında, üçüncü gün ise %56 - %99 arasında değişen oranlar elde edilmiştir. MAP değerleri; ikinci gün %55 (MAP/OMGI ortalaması) son gün ise, %95 (MAP/OMGI ortalaması) oranında alansallaştırılmış OMGİ değerlerine yaklaşmıştır.

	24.12.2019		25.12.2019			26.12.2019			
FFGS	Merged_MAH	P OMGI_IDW	MAP/OMGI	Merged_MAP	OMGI_IDW	MAP/OMGI	Merged_MAP	OMGI_IDW	MAP/OMGI
FID	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	
0	36	86	0.42	59	135	0.44	29	27	1.07
1	25	91	0.28	116	105	1.11	30	26	1.17
2	11	80	0.14	59	158	0.38	32	26	1.22
3	47	86	0.54	88	143	0.62	34	27	1.25
4	15	94	0.16	108	113	0.95	31	26	1.19
5	17	92	0.19	105	119	0.88	32	26	1.24
6	47	88	0.53	29	135	0.22	32	27	1.19
7	6	83	0.07	56	91	0.62	29	29	0.99
8	5	92	0.06	65	108	0.60	29	27	1.08
9	6	79	0.08	47	79	0.59	30	24	1.25
10	14	84	0.16	57	144	0.40	34	29	1.18
11	5	91	0.06	58	107	0.54	28	27	1.05
12	1	77	0.02	44	136	0.32	33	33	1.01
13	11	89	0.13	89	138	0.65	33	26	1.27
14	9	91	0.10	102	118	0.86	34	27	1.26
15	3	88	0.04	49	126	0.39	34	33	1.03
16	22	91	0.25	80	138	0.58	34	28	1.21
17	5	88	0.05	88	149	0.59	29	25	1.17
18	8	86	0.09	48	87	0.55	28	23	1.22
19	7	93	0.08	55	104	0.53	26	26	1.01
20	4	73	0.05	40	123	0.32	37	43	0.86
21	6	97	0.06	61	113	0.54	24	27	0.88
22	17	101	0.17	50	108	0.46	33	36	0.92
23	5	96	0.06	73	123	0.59	25	27	0.91
24	6	108	0.05	63	114	0.55	32	31	1.02
25	4	102	0.04	67	128	0.52	31	30	1.02
26	6	120	0.05	64	116	0.55	15	26	0.50
20	6	110	0.05	60	110	0.55	27	20	0.39
27	7	110	0.00	40	150	0.50	27	27	0.99
20	/	91	0.08	49	90	0.51	20	25	1.12
29	8	109	0.07	59	113	0.52	18	26	0.69
30	10	98	0.10	51	100	0.51	20	24	0.85
31	-	119	0.06		129	0.60	19	26	0.75
32	5	109	0.04	54	122	0.44	26	31	0.84
33	7	109	0.06	59	116	0.51	18	26	0.70
34	11	110	0.10	55	121	0.45	30	32	0.94
35	8	105	0.07	53	103	0.52	19	25	0.74
36	5	157	0.03	60	132	0.46	22	28	0.78
37	26	102	0.25	62	108	0.58	36	36	1.01
38	5	104	0.05	55	111	0.49	32	37	0.87
39	5	118	0.04	62	111	0.56	15	26	0.56
40	4	137	0.03	58	125	0.46	25	30	0.83
41	9	103	0.09	50	89	0.56	23	22	1.04
42	3	88	0.03	69	110	0.63	44	42	1.04
43	8	116	0.07	54	90	0.60	23	21	1.08
44	3	135	0.02	52	116	0.45	17	29	0.60
45	2	109	0.02	46	100	0.46	24	35	0.68
46	1	116	0.01	48	108	0.45	24	34	0.70
47	2	121	0.02	49	115	0.42	26	33	0.80
48	1	93	0.01	43	88	0.49	30	41	0.72
49	1	79	0.01	52	83	0.63	34	46	0.74
50	1	79	0.01	44	76	0.58	29	46	0.64
51	0	58	0.00	40	54	0 74	34	54	0.63

# Tablo 3: MAP ve OMGI\_IDW değerleri

FFGS havzalarına ait üç günlük toplam MAP ve OMGİ\_IDW değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Tablodaki son sütunda üç günlük toplam MAP değerlerinin OMGİ ölçümlerine oranı verilerek tutarlılık analizi de yapılmıştır. Buna göre; üç günlük toplam değerlerde, %26 - %77 arasında değişen oranlar elde edilmiştir. Özellikle ilk gün, gerçekleşen yağışlara oranla çok düşük değerlerin sisteme yağış girdisi olarak verilmesi nedeniyle %41 (MAP/OMGI ortalaması) oranında MAP değerleri, OMGİ değerlerine yaklaşmıştır.

FFGS FID	Merged_MAP	OMGI_IDW	MAP/OMGI	FFGS FID	Merged_MAP	OMGI_IDW	MAP/OMGI
	(mm)	(mm)			(mm)	(mm)	
0	124.18	248	0.50	26	84.9	272	0.31
1	172.03	222	0.77	27	101.62	273	0.37
2	102.37	264	0.39	28	84.7	212	0.40
3	168.91	256	0.66	29	84.05	248	0.34
4	153.19	233	0.66	30	81.34	222	0.37
5	154.65	237	0.65	31	103.23	274	0.38
6	108.02	250	0.43	32	84.5	262	0.32
7	90.62	203	0.45	33	84.32	251	0.34
8	99.52	227	0.44	34	95.43	263	0.36
9	82.85	182	0.46	35	79.73	233	0.34
10	105.32	257	0.41	36	87.25	317	0.28
11	91.62	225	0.41	37	124.05	246	0.50
12	78.69	246	0.32	38	92.14	252	0.37
13	133.56	253	0.53	39	81.68	255	0.32
14	144.31	236	0.61	40	86.81	292	0.30
15	86.91	247	0.35	41	81.59	214	0.38
16	136.3	257	0.53	42	115.1	240	0.48
17	121.43	262	0.46	43	84.73	227	0.37
18	84.18	196	0.43	44	72.18	280	0.26
19	88.51	223	0.40	45	71.31	244	0.29
20	80.22	239	0.34	46	73.63	258	0.29
21	90.44	237	0.38	47	77.28	269	0.29
22	100.1	245	0.41	48	73.93	222	0.33
23	102.52	246	0.42	49	86.69	208	0.42
24	99.99	253	0.40	50	74.28	201	0.37
25	101.54	260	0.39	51	74.14	166	0.45

Tablo 4: MAP ve OMGI\_IDW değerleri (3 günlük toplam)

FFGS tarafından üretilen MAP ürünü değerlerinin; %50, %60, %70, %80 ve %90 oranında OMGİ değerlerine yakınlığı, havza sayısı bazında Tablo 5'te verilmiştir. Buna göre ilk gün, OMGİ değerleri %50 oranında bile yaklaşan yalnızca 2 adet havza olmuştur. İkinci gün bu oran 34'e yükselmiş, son gün ise çalışılan havzaların tamamında tutturulmuştur. Son gün çok tutarlı verilerin üretildiği tespit edilmiş olup, 31 havzada %90 oranında OMGİ değerlerine yaklaşılmıştır (Tablo 5).

Yüzde	24.12.2019	25.12.2019	26.12.2019	3 Günlük Toplam
90%	0	2	31	0
80%	0	4	37	0
70%	0	5	45	1
60%	0	12	49	5
50%	2	34	52	9

Tablo 5: Merged MAP değerlerinin miktar bazında OMGİ'lerle tutarlılık analizi (havza sayısı)

Yapılan bu analizleri alansal bazda analiz edebilmek maksadıyla OMGİ'den elde edilen alansal yağışlar ile FFGS tarafından üretilen Merged\_MAP verileri incelenen her gün için ayrı ayrı Şekil 8'de verilmiştir. Söz konusu haritalarda da 24.12.2019 tarihindeki MAP değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir (Şekil 8-a). 25.12.2019 tarihine ait haritadan; değerlerin miktar bazında düşük alındığı ve konum olarak ise, şiddetli yağışların OMGİ değerlerinin aksine bir miktar batıya kaydığı görülmektedir (Şekil 8-b). Son gün ise hem miktar hem de konum olarak oldukça tutarlı MAP verileri üretildiği tespit edilmiştir (Şekil 8-c).



a) 24.12.2019-06UTC (24 saat toplam)



b) 25.12.2019-06UTC (24 saat toplam)



c) 26.12.2019-06UTC (24 saat toplam)

Şekil 8: OMGİ\_IDW değerleri ve MAP ürünleri (24 saat toplam)

24.12.2019 tarihinde üretilen MAP verilerinin OMGİ'lere göre oldukça düşük kalması konusu üzerinde yapılan araştırmada; sisteme veri sağlayan 10 adet radardan Hatay Radarında, o tarihte veri alınamadığı tespit edilmiştir. 24, 25 ve 26 Aralık 2019 tarihlerinde (06UTC) sisteme veri sağlayan radarlar Şekil 9'da verilmiştir.



a) 24.12.2019-06UTC



b) 25.12.2019-06UTC



c) 26.12.2019-06UTC

Şekil 9: Radar yağış verileri (24 saat toplam)

Hatay Radarının 23.12.2019 tarihinde çalıştığı ancak ürettiği ürünleri FFGS'in alamadığı tespit edilmiştir. Bahsi geçen radarın örnek bir görüntüsü Şekil 10'da verilmiştir [3].


Şekil 10: 23.12.2019 (21UTC) Hatay Radarı PPI görüntüsü

Modelde birleştirilmiş ortalama alansal yağış ürünü öncelikli olarak Radar'dan sağlamaktadır. Radar yağış verileri OMGİ'ler ile düzeltilmektedir. Ancak burada "ln" alınarak işlem yapıldığı için OMGİ katkısı oldukça düşüktür (ln (Toplam Radar yağış ürünü / OMGİ)).

Radar'dan veri alınamayan yerlerde ise; sabit yörüngeli EUMETSAT MSG uydusundan elde edilen yağış ürünü, mikrodalga uydu yağış verisi ve yer gözlemleri ile gerçek zamanlı hata düzeltmesi (Bias Correction) yapıldıktan sonra birleştirilmiş alansal yağış ürünü olarak verilmektedir.

## 4. FFGS TAŞKIN UYARILARI

#### 4.1. Olası Ani Taşkın Tehlike (IFFT)

IFFT; olası taşkın tehlike haritası tahmincilere hangi alt havzalarda ani taşkın olma olasılığının yüksek olduğunu gösterir. 1, 3 ve 6 saatlik IFFT değerleri, güncelleme zamanındaki "Birleştirilmiş Yağış (Merged MAP)" değeri ile bir önceki FFG değerinin farkıdır [4]. Bu değerler gerçekleşen yağışlarla üretilmektedir ancak, özellikle toplama süresi büyük olan havzalarda ile burada riskli olarak gözüken havzalara yeni bir yağış sisteminin gelme ihtimaline karşın bu veriler elverişli bir şekilde kullanılabilir. Sistemin ürettiği 6 saatlik IFFT ürünleri incelenen her gün için (06UTC'de) Şekil 11'de verilmiştir.



a) 24.12.2019 (06UTC) b) 25.12.2019 (06UTC) c) 26.12.2019 (06UTC) Şekil 11: IFFT ürünleri (6 saat toplam)

Çalışma kapsamında incelenen günlerdeki 6 saatlik IFFT değerleri ise Tablo 11'de verilmiştir. Bu tabloya göre özellikle 24.12.2019 (18UTC) tarihinde 14 havzada taşkın uyarısı alınmıştır. Çalışılan bütün günlerde ise toplamda 17 havzada taşkın uyarısı alınmıştır (Tablo 5). (Sistemin veri üretilmediği 0, 1, 4, 5, 8, 11, 14, 22, 38, 50 ve 51 FFGS FID'li havzalar tablodan çıkarılmıştır.)

FECS FID	23.12.2019			24.12.2019				25.12.2019				26.12.2019	
rrgsrib	06UTC	12UTC	18UTC	00UTC	06UTC	12UTC	18UTC	00UTC	06UTC	12UTC	18UTC	00UTC	06UTC
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	11	0	48	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	2	0	56	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	1	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	4	0
17	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
31	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	1 ()	0	0	0	0	0	0	0	. 0	0

Tablo 5: IFFT değerleri	(6	saat	toplan	ı)
-------------------------	----	------	--------	----

#### 4.2. Tahmini Ani Taşkın Tehlike (FFFT)

Tahmini ani taşkın erken uyarı haritası (FFFT); IFS (ECMWF), WRF ve ALADIN sayısal hava tahmin modellerinin yağış verilerinden elde edilen tahmini alansal yağış verileri (FMAP) ile FFG değerlerinin farkına göre üretilmektedir. Havzaya mevcut eşik değerinden daha fazla yağışın gerçekleşme tahmini yapılması durumunda uyarı üretir. Geçerlilik süreleri ise hesaplama zamanından; 1, 3 ve 6 saat sonraki periyodu kapsamaktadır. Sistemin ürettiği 6 saatlik örnek bir FFFT ürünü (IFS\_FFFT) Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12: 24.12.2019 (06UTC) tarihli IFS\_FFFT haritası (6 saat toplam)

Çalışma kapsamında incelenen ancak burada sunulmayan analizlere göre; 6 saatlik FFFT değerleri için, bu çalışma özelinde en tutarlı tahmini IFS (ECMWF) üretmiştir. Bu sebeple, bundan sonraki analizler için IFS\_FFFT çıktıları üzerinden devam edilmiştir. IFS\_FFFT'ye göre; özellikle 24.12.2019 (06UTC) tarihinde 20 adet havzada taşkın uyarısı alınmıştır. Çalışılan bütün günlerde ise toplamda 22 havzada taşkın uyarısı alınmıştır (Tablo 6). (Sistemin veri üretilmediği 0, 1, 4, 5, 8, 11, 14, 22, 38, 50 ve 51 FFGS FID'li havzalar tablodan çıkarılmıştır.)

FECS EID	23.12.2019		24.12.2019			25.12.2019			26.12.2019				
rres rib	06UTC	12UTC	18UTC	00UTC	06UTC	12UTC	18UTC	00UTC	06UTC	12UTC	18UTC	00UTC	06UTC
2	0	0	0	0	16	13	0	1	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	26	19	0	0	0	0	0	0	0
б	0	0	0	0	37	15	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	32	29	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	19	22	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	9	1	42	19	0	0	2	0	0	0	0
17	0	0	13	7	20	9	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	18	13	2	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	20	15	13	6	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	27	3	0	0	2	0	0	0	0
25	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	6	4	14	6	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0		0
20	0	0	10	2	20	2	0		0	0	0		0
22	0	0	12	0	20	0	0		0	0	0		0
24	0	0	0	2	21	4	0		0	0	0		0
35	0	0	10	0	0	-	0	l õ	0	0	0		0
36	õ	ő	0	ő	1	ő	ő	ŏ	ő	ő	ő	Ň	ő
37	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	20	4	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	5
39	ŏ	ŏ	õ	ŏ	0	0	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	0
40	0	0	0	0	0	õ	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Tablo 6: IFS\_FFFT değerleri (6 saat toplam)

## 5. FFGS UYARILARI VE YAŞANAN TAŞKINLAR

Bu bölümde; havza genelinde yaşanan taşkın, su baskını ve göllenmeler uydu görüntüleri ve ilgili Kuruluşların olay sonrasında tuttukları raporlar değerlendirilerek belirlenmiştir. FFGS havzası içerisinde, gerçekleşen yağışların sebep olduğu herhangi bir olumsuzluk tespit edilmişse, söz konusu havzada taşkın yaşanmış kabul edilmiştir.

## 5.1. Uydu Görüntüleri ile Taşkın Yaşanan Havzaların Tespiti

Çalışmada, Avrupa Birliği tarafından Copernicus programı çerçevesinde üretilen Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılmıştır [5]. FFGS havzalarındaki göllenmeler 27.12.2019 tarihli Sentinel-2 uydu görüntüsü ile tespit edilmiştir. Gerçekleşen yağışlardan kaynaklı problem yaşanan FFGS havzaları kırmızı renkte Şekil 13'de verilmiştir. Buna göre 25 adet FFGS havzasında göllenme veya taşkın yaşandığı belirlenmiştir.



a) Yağışlar öncesindeki görüntü (Google Earth) b) 27.12.2019 tarihli Sentinel-2 uydu görüntüsü Şekil 13: Yağışlar öncesi ve sonrasındaki uydu görüntüleri

## 5.2. Olay Raporları ile Taşkın Yaşanan Havzaların Tespiti

Yağışlardan kaynaklı zararlar, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından da raporlanmıştır. DSİ tarafından hazırlanan taşkın ilk bilgilendirme formunda; "... Yüreğir ilçesine bağlı Ptt Evleri, Şehit Erkut Akbay, Levent, Serinevler, Dadaloğlu,

Bahçelievler, Selahattin Eyübi ve Karacaoğlan Mahallelerinde yapısal zarar meydana gelmiştir." denilmektedir [6].

MGM fevk raporunda ise; "... Aşırı yağışlardan dolayı Adana il genelinde tarım arazilerinin büyük çoğunluğu su altında kalmıştır. Ayrıca şehir merkezinde sular trafikte aksamalara neden olmuş bazı ev, iş yerleri ve eğitim kurumlarının bodrum ve zemin katlarını su basmıştır. Merkez dört ilçede (Seyhan, Çukurova, Yüreğir, Sarıçam) eğitime iki gün (24-25 Aralık) ara verilmiş, İmamoğlu-Adana karayolunun Mustafalar mevkiinde karayolunda çökme meydana gelmiştir. " denilmektedir [7].

Bu raporlarda geçen lokasyonlar incelenmiş ve çoğunluğu şehir içerisinde olan taşkın noktaları tespit edilmiştir. Bahsi geçen taşkın noktaları Şekil 23'de verilmiştir. Buna göre; içerisinde taşkın yaşandığı bilgisi alınan FFGS havzalarında taşkın yaşandığı kabul edilerek, 4 adet FFGS havzası (FFGS FID: 16, 17, 23, 27) kırmızı renkle belirtilmiştir (Şekil 14).



Şekil 14: Olay sonrası raporlarına göre taşkın yaşanan lokasyonlar

## 5.3. FFGS Uyarıları ile Yaşanan Taşkınların Karşılaştırılması

Çalışma alanında yer alan 52 adet havzadan 28 tanesinde taşkın, su baskını, göllenme vb. olumsuzlukların yaşandığı tespit edilmiştir. Sistem tarafından çeşitli nedenlerle (baraj, göl veya büyük nehirlerin yer aldığı havzalar) hesap modüllerinden çıkartılan ve dolasıyla veri üretilmeyen 11 adet havza mevcuttur ve bahsi geçen havzaların 4 tanesinde taşkın yaşandığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak FFGS uyarıları ile karşılaştırabilecek 24 adet taşkın yaşanmış havza olduğu tespit edilmiştir.

IFFT (açık yeşil dolgulu) ve IFS\_FFFT (koyu yeşil dolgulu) ürünlerinin verdiği taşkın uyarıları, taşkın yaşandığı tespit edilen havzalar (havza sınırları kırmızı) ve veri üretilmeyen havzalar (içi taralı) Şekil 15'te verilmiştir.



a) IFFT ürününün taşkın uyarıları b) IFS\_FFFT ürününün taşkın uyarıları Şekil 15: IFFT ve IFS\_FFFT taşkın uyarıları ve taşkın yaşanan havzalar

Uyarı başarısını değerlendirmek üzere yapılan analizlerde; veri üretilmeyen 4 adet havza çıkartılarak, 28 havza değil 24 havza üzerinden değerlendirme yapılmıştır. IFFT ürünü 17, IFS\_FFFT ürünü ise 22 havzada taşkın uyarısı vermiştir. Bu uyarılardan IFFT 11 tanesini, IFS\_FFFT ise 12 tanesini doğru tahmin etmiştir ve söz konusu havzalarda taşkın yaşanmıştır. Buna göre, gerçekleşen taşkınları; IFFT %46, IFS\_FFFT ise %50 oranında doğru tahmin etmiştir (taşkın yaşanan 24 havzaya göre). Ürettikleri taşkın uyarı sayılarının başarılı olma durumuna bakılacak olursa; IFFT %35 ve IFS\_FFFT ise %45 oranında başarısız tahminler üretmiştir (Tablo 7).

	IFFT	IFS_FFFT
Taşkın Uyarısı	17	22
Taşkın Yaşanan Havza	11	12
Uyarı Başarısı	0.46	0.50
Başarısız Uyarı	0.35	0.45

Tablo 7: IFFT ve IFS\_FFFT uyarıları ve performans analizi

#### 6. SONUÇLAR

24, 25 ve 26 Aralık 2019 tarihlerinde Adana ili ve civarında gerçekleşen yağışlar FFGS ürünleri ve gözlem verileri ile analiz edilmiştir. Çalışma alanında yer alan ve incelenen 18 adet OMGİ içerisinde en fazla yağışı ölçen Yüreğir/Çukurova Tarım Arş. İstasyonu olmuş ve üç günde toplam 346 mm yağış kaydetmiştir. OMGİ'lerden alınan günlük yağış verileri IDW metodu kullanılarak alansallaştırılmış ve FFGS havzalarına düşen ortalama alansal yağışlar bulunmuştur. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ve öneriler maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- 1. FFGS'e girdi olarak alınan radar verilerinin sisteme düzenli olarak veri sağladığı kontrol edilerek, herhangi bir aksaklıkta müdahale edilebilir olmasında fayda vardır. FFGS tarafından yağış girdisi olarak kullanılan Merged\_MAP verisinin, özellikle radardan veri alamadığı durumlarda, etkili yağışlar gerçekleşse bile OMGİ katkısının sınırlı olması nedeniyle oldukça düşük MAP değerleri ürettiği gözlenmiştir. MAP ürünü hesaplarının tekrar gözden geçirilmesi ve özellikle OMGİ'lerden alınan verilerin Merged\_MAP üretimine katkısının artırılması durumu da incelenmelidir. Hesap denklemlerinde yer alan verilerde, verinin iletiminde yaşanan veya gözlem istasyonundan kaynaklanan herhangi bir sorun sebebiyle veri alınamadığı durumlarda, formülasyon değiştirilerek veri alınamayan ürün denklemlerden çıkartılması düşünülebilir.
- FFGS havzaları içerisindeki göreceli olarak çok küçük havzaların komşu havzalar ile birleştirilmesi (özellikle 1 km<sup>2</sup> havza alanının altındaki havzalarda bu birleştirme işlemi yapılabilir), sistemin çalışma yükünün azaltması yanında olay sonra analizlerde de kullanıcıların hızını artıracaktır.
- 3. FFGS havza sınırları yersel koşullara göre yeniden gözden geçirilmeli ve gerekirse yeniden belirlenmesi düşünülmelidir (Bu çalışmalarda Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) tarafından yapılan sayısal "Türkiye Su Kaynakları Haritası" içerisinde yer alan alt havza sınırları kullanılabilir.).
- 4. Sistemde havza olarak yer alan ancak yağış tahmini verisi dışında veri üretilmeyen havzalar güncel su kaynakları verilerine göre güncellenmeli ve yeni yapılan baraj veya göl

alanlarındaki havzalar da sistemden çıkarılması değerlendirilmelidir (Bu çalışmalarda yine "Türkiye Su Kaynakları Haritası" kullanılabilir.).

5. FFG eşik değerleri de toprak yapısı ve yağış rejimine göre yeniden gözden geçirilmesi düşünülmelidir. Bu sayede, özellikle şehir merkezlerine denk gelen havzalarda söz konusu eşik değerleri düşürülerek, FFGS sisteminin Ülkemizde sıkça yaşanan şehir taşkınlarına karşı da etkili uyarılar üretmesi sağlanabilir.

**NOT:** FFGS ürünlerine ait ham veriler kendi veritabanından alınmış ve gerekli veri analizleri yapılarak bu çalışma için kullanıma hazır hale getirilmiştir [8].

#### KAYNAKLAR

[1] https://public.wmo.int/en/projects/ffgs, Dünya Meteoroloji Örgütü (World Meteorological Organization, WMO), 20.06.2020.

- [2] https://mevbis.mgm.gov.tr/, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 19.06.2020.
- [3] https://uzal.mgm.gov.tr/, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 19.06.2020.
- [4] Black Sea and Middle East Flash Flood Guidance System User Guide (29), Ocak 2015.

[5] https://glovis.usgs.gov/, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu (United States Geological Survey, USGS), 10.07.2020.

[6] http://tambis.dsi.gov.tr/, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 19.06.2020.

[7] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi, Hidrometeorloji Şube Müdürlüğü.

[8] https://212.175.180.79/CONSOLE?region=8, FFGS veritabani, 21.06.2020

## Meteorolojik Uzaktan Algılama Ürünlerinin Acil Durum ve Afet Yönetimi Sistemlerinde Kullanılması

Selçuk Tütüncü İstanbul Büyükşehir Belediyesi Afet Koordinasyon Merkezi Müdürlüğü İstanbul selcuk.tutuncu@ibb.gov.tr

Billur Ellialtı İstanbul Büyükşehir Belediyesi Afet Koordinasyon Merkezi Müdürlüğü İstanbul billur.ellialti@ibb.gov.tr

Osman Çaylak İstanbul Büyükşehir Belediyesi Afet Koordinasyon Merkezi Müdürlüğü İstanbul osman.caylak@ibb.gov.tr

Sinan Şahinoğlu İstanbul Büyükşehir Belediyesi Afet Koordinasyon Merkezi Müdürlüğü İstanbul sinan.sahinoglu@ibb.gov.tr

Salim Özmen İstanbul Büyükşehir Belediyesi Afet Koordinasyon Merkezi Müdürlüğü İstanbul salim.ozmen@ibb.gov.tr

## ÖZET

Küresel iklim değişikliği ile beraber meteorolojik karakterli olayların gündelik hayatımızı daha fazla etkilediği kaçınılmaz bir gerçek haline gelmiştir. Dolayısıyla seller, taşkınlar, fırtına, dolu, yoğun şimşek ve yıldırım aktiviteleri gibi yaşamı olumsuz etkileyebilecek hava olaylarına karşı erken uyarı, tedbir ve müdahale gibi konularda hassasiyetler her geçen gün daha da artmaktadır.

16 milyonu aşkın nüfusu ile dünyanın en kalabalık sayılı metropollerinden biri olan İstanbul'da yaşamın olağan akışının yanı sıra acil durum ve afet anlarında şehir dinamiğinin en az şekilde etkileneceği bir müdahale planın yapılması ve uygulanması hayati önem taşımaktadır. Bu amaca yönelik olarak İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Afet Koordinasyon Merkezi (AKOM) tarafından Afet Yönetim Bilgi Sistemi (AKOMAYS) kurulmuştur. Meteorolojik radar ve gözlem verileri, coğrafi tabanlı altlıklar gibi uzaktan algılama ürünlerinin yanı sıra, araç takip verileri, kamera görüntüleri, riskli nokta ve birim sorumluluk alanları gibi farklı kaynak ve türden birçok veriyi bünyesinde bulunduran bu sistem ile birlikte İBB'nin afet ve acil durumlardaki kapasitesinin en etkin şekilde yönetimi sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, İstanbul'da yaşanan şiddetli meteorolojik olaylar üzerinden AKOMAYS meteoroloji modülünün çalışma sistemi gösterilecek olup, ileriki süreçte sistemin yapay zeka ile geliştirilmesine yönelik yapılacak olan çalışmalar anlatılacaktır.

Anahtar Kelimeler — meteorolojik radar; İBB; AKOM; AKOMAYS; AKOMAYS meteoroloji modülü; afet yönetim bilgi sistemi; yapay zeka.

#### 1. GİRİŞ

İnsanlığın yerleşik hayata geçtiği günden beri yapılaşmanın artması ile hava ve yer kaynaklı olaylara olan maruziyet de artmıştır. Endüstri devrimi ile birlikte atmosfere salınan insan kaynaklı emisyon miktarları yükselmeye başlamış ve bu artış günümüzde de devam etmektedir. Sera gazı olarak da bilinen karbondioksit, metan gibi gazların konsantrasyonunun artması dünyanın ortalama sıcaklığının artmasına ve ekolojik canlılığın düzeninin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Antropojenik küresel ısınma ile birlikte hava sistemlerinin sayıları ve şiddetleri değişmektedir [1]. Çin Halk Cumhuriyeti'nde afetlerin önlenebilmesi için hidrolojik modeller kullanılarak en şiddetli akış, su seviyesi gibi değişkenler hesaplanmış ve bu hesaplanan değerlere göre eşik değerler belirlenip Yapı Uyarı İndeksi (İngilizce: Compound Warming Index, CWI) geliştirilmiştir [2]. Türkiye'de ise İstanbul'da nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde kısa sürede gerçekleşen şiddetli yağışların sebep olduğu can ve mal kayıplarının azaltılması için Erken Uyarı Sistemleri geliştirilmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Afet Koordinasyon Merkezi (AKOM) tarafından Meteoroloji Genel Müdürlüğünün (MGM) radar ürünleri ve yer yağış ölçümleri arasında bulanık mantık sistemi geliştirilerek model oluşturulmuştur [3]. Bu çalışmada İstanbul'da gerçekleşen şiddetli meteorolojik hadiselerin AKOM tarafından kullanılan modüller aracılığı ile çalışma prensipleri gösterilecek olup gelecekte geliştirilmesi planlanan yapay zeka ile kamera sistemlerinin etkileşiminin sağlanılmasına yönelik çalışmalardan bahsedilecektir.

### 2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE AŞIRI YAĞIŞLAR

İnsan kaynaklı küresel ısınma; buzulların erimesi, deniz seviyelerinin yükselmesi, iklim kuşaklarının kayması gibi değişikliklerinin yanı sıra, aşırı hava olaylarına sebep olmakta (şiddetli fırtınalar, aşırı yağışlar vb.) ve bu olaylara bağlı olarak oluşan taşkın ve sellerin şiddetinde, sıklığında ve etkinlik alanında değişiklikler meydana getirmektedir.

Dünya genelinde meydana gelen doğal afetlerin türlerine göre dağılımına bakıldığında 2000-2019 periyodunda meydana gelen sel, firtina, aşırı sıcaklık değerleri, kuraklık, kırsal yangın ve heyelan sayılarında 1980-1999 periyodunda meydana gelen afetlere göre önemli artışlar olduğu görülmektedir [4]. Benzer şekilde Türkiye'de 2022 yılında yaşanan meteorolojik afetler incelendiğinde, şiddetli yağışlara bağlı sel, taşkın gibi hadiselerin % 33.6 oranla birinci sırada yer

aldığı gözlemlenmektedir. Şekil 1'de Türkiye geneli meteorolojik afet dağılımı grafiği gösterilmiştir [5].



Şekil 1: Türkiye geneli meteorolojik afet dağılımı.

İstanbul, Avrupa, Asya, Orta Doğu ve Afrika arasında yer alan, önemli bir geçiş noktasında bulunmaktadır. Üç tarafının denizlerle çevrili olması, kara ile deniz suyu sıcaklığı farkının yükselmesi ve farklı iklimlerin etkili olması nedeniyle meteorolojik afetlerin sık yaşandığı şehirlerin başında gelmektedir.

İstanbul başta olmak üzere Türkiye'de, son yıllarda artan meteorolojik karakterli afetler (sel, taşkın, hortum vb.) ile daha etkin mücadele sağlanabilmesi için uzaktan algılama sistemleri ile erken uyarı sistemleri kullanılmakta, tüm verileri bir araya getiren sistemlerin kullanılmasının önemi ortaya çıkmaktadır.

Ani taşkın tahminlerinde yeni modelleme tekniklerinin ve veri türlerinin kullanımına yönelik araştırmalar son on yılda artmıştır. Özellikle niceliksel yağış tahminleri ve tahminlerinin kullanımı, hidrolojik modellemede uzaktan algılama verilerinin kullanımı, tahmin model ve tekniklerindeki gelişmeler ve belirsizlik tahminleri üzerinde yoğunlaşılmaktadır [6].

Dünyada ve Türkiye'de olduğu gibi İstanbul özelinde de meteorolojik karakterli afetler incelendiğinde şiddetli yağışlar ilk sırada gelmektedir. Ani gelişen ve kısa zaman diliminde ciddi miktarda yağışa neden olan sistemlerin sayısı ve sıklığında belirgin bir artış yaşanmaktadır. Aşağıdaki Tablo 1'de 2004-2023 yılları arasında yaşanan şiddetli yağışların en etkili oldukları süre, şiddet ve alan bilgileri gösterilmiştir.

Tarih	Anlık (Pik) Yağış Miktarı (kg/m2)	Anlık Yağışın Etkili Olduğu Süre (dk)	Anlık Yağışın En Etkili Olduğu Yer
Ağustos 2004 (15-16-17 Ağustos)	45	45	Alibeyköy
Ekim 2004 (7-8 Ekim 2004)	40	40	Mecidiyeköy, Alibeyköy, Fatih, Beykoz, İstinye
Temmuz 2005 (3-4 Temmuz)	25	45	Topselvi, Kemik, Çinçin, Tavukçu ve Ayamama Dereleri taştı
Ekim 2006 (14-15 Ekim)	45	30	Samandıra, Kartal
Ekim 2006 (30-31 Ekim-1 Kasım)	20	30	Sarıyer, Ümraniye, Beykoz, Çekmeköy
Ekim 2007 (14-15 Ekim)	35	40	G.O.Paşa, Esenler, Alibeyköy, Eyüp, Kağıthane, Beykoz
Temmuz 2008 (29 Temmuz)	15	15	Eminönü, Aksaray
Eylül 2008 (25-26-27 Eylül)	90	180	Istirancalar
Ekim 2008 (25-26 Ekim)	45	45	Silivri, Aksaray, Eminönü, Eyüp, Samandıra, Şişli
Eylül 2009 (7-8-9 Eylül)	90	60	İkitelli, G.O.Paşa, Esenler, Alibeyköy, Eyüp, Kağıthane, Beykoz
Ekim 2009 (30-31 Ekim)	20	20	Çatalca
Haziran 2010 (6-8 Haziran 2010)	45	25	Göztepe, Tuzla, Pendik, Maltepe
Haziran 2010 (23 Haziran 2010)	20	20	Eminönü, Beşiktaş, Florya, Aksaray, AHL
Ekim 2010 (7-8 Ekim 2010)	45	45	Eminönü, Beşiktaş, Florya, Aksaray, AHL, Samandıra, Sarıyer, Kartal
Ekim 2010 (27-29 Ekim)	25	35	Eminönü, Aksaray, Kartal, Samandıra, Sarıyer
Mayıs 2012 (18 Mayıs)	20	20	Fatih, Beşiktaş, Tuzla, Pendik, Üsküdar, Kartal, Samandıra
Ağustos 2012 (12 Ağustos)	20	20	Fatih, Beşiktaş, Tuzla, Pendik, Üsküdar, Kartal, Samandıra
Ekim 2012 (23 Ekim)	90	180	Beykoz, Tokatköy, Poyrazköy, M.Şevketpaşa, Sarıyer
Haziran 2014 (16 Haziran)	33- 50	25-40	Hadımköy, İkitelli, Esenler, Beşiktaş, Kadıköy, Ümraniye
Haziran 2015 (23 Haziran)	20 - 50	20-40	Kartal, Maltepe, Esenyurt
Eylül 2015 (12 Eylül)	30 - 55	45-60	Beykoz, Ümraniye, Ataşehir, Sancaktepe, Çekmeköy, Pendik ve Kartal
Temmuz 2017 (18 Temmuz)	45 - 65	45-55	Silivri, Büyükçekmece, Başakşehir, Üsküdar, Şişli, Fatih, Bakırköy
Temmuz 2017 (27 Temmuz)	20 - 30	20-25	Büyükçekmece, Üsküdar, Şişli, Fatih, Bakırköy, Güngören
Eylül 2018 (11 Eylül)	28 - 35	35-55	Fatih, Üsküdar, Sancaktepe, Pendik
Eylül 2018 (13 Eylül)	20	15-20	Başakşehir, Büyükçekmece, Arnavutköy
Eylül 2018 (30 Eylül)	52	45-50	Eyüp, Arnavutköy, Sarıyer, Beykoz, Çekmeköy, Sancaktepe, Şile
Aralık 2018 (11 Aralık)	50 - 55	100-120	Eyüp, Arnavutköy, Sarıyer, Beykoz, Çekmeköy, Sancaktepe, Şile
Aralık 2018 (18 Aralık)	40 - 45	55-60	Eyüp, Kemerburgaz Arnavutköy, Sarıyer, Çatalca
Ağustos 2019 (17 Ağustos)	100	60	Fatih, Beşiktaş, Sarıyer, Üsküdar, Kadıköy, Ümraniye
Ağustos 2019 (21 Ağustos)	36	30 - 35	Şile, Kadıköy, Pendik, Tuzla, Ümraniye
Kasım 2019 (01 Kasım)	45	40 - 50	Kilyos, Çatalca, Beykoz, Arnavutköy, Sarıyer
Ocak 2020 (5-6-7 Ocak)	112	120-180	Kemerburgaz, Üsküdar
Haziran 2020 (19 Haziran)	40	60	Davutpaşa
Haziran 2020 (23 Haziran)	72	45	Silivri
Eylül 2020 (29 Eylül)	34	30	Şişli

Tablo 1: 2004-2023 İstanbul'daki şiddetli yağışlar.

Haziran 2021 (18 Haziran)	35	45	Şişli
Temmuz 2022 (10 Temmuz)	45	40	Sarıyer
Ağustos 2022 (15 Ağustos)	70-90	60	Çekmeköy, Sarıyer
Ağustos 2022 (25 Ağustos)	50-70	30-45	Arnavutköy, Eyüpsultan ve Sarıyer
Ağustos 2022 (26 Ağustos)	40-50	20-30	Başakşehir, Büyükçekmece ve Esenyurt
Eylül 2023 (05 Eylül)	90	60	Arnavutköy, Başakşehir
Eylül 2023 (28 Eylül)	200	120	Arnavutköy, Başakşehir

Buna göre Haziran ve Ekim ayları arasındaki dönem içerisinde gerçekleştiği gözlenen ani yağışlarda, 15-30 dakikalık zaman diliminde etkili olan yağışlarda metrekareye 15 ila 45 kg aralığında yağış gözlemlenmiş olup Sarıyer, Beykoz, Beşiktaş, Fatih, Üsküdar, Florya, Tuzla gibi İstanbul Boğazı çevresi ile şehrin güney bölgesinde bulunan ilçelerde, yollarda ve alçakta kalan yerlerde su baskını, göllenme vb. hadiseler yaşanmıştır. Benzer şekilde 30-180 dakikalık zaman diliminde etkili olan daha kuvvetli yağışlar ise Çatalca, Arnavutköy, Beykoz, Çekmeköy, Başakşehir ve Büyükçekmece gibi daha büyük havzaların olduğu alanlarda gözlemlenmiş olup, metrekareye 20 ila 200 kg aralığında yağış kaydedildiği görülmüştür. Dere taşması, su baskınları gibi daha büyük ölçekli afetler daha çok bu tarz yağışlarda gözlenmiştir. Özellikle geçtiğimiz Eylül ayında yaşanan sel felaketinde MGM'ye ait Arnavutköy AWOS istasyonundan 120 dk içerisinde yaklaşık olarak metrekareye 200 kg yağış kaydedilmiş olup, İstanbul Büyükşehir Belediyesi ekipleri il genelinde 3.430 personel, 1.658 araç ve iş makinesi ile alınan ihbarlara müdahale etmiştir.

Değişen yağış rejimin yanı sıra dere taşması, su baskını, göllenme gibi hadiselerin artmasındaki diğer bir önemli husus ise hızla artan nüfus ve düzensiz yerleşimdir. Aşağıda Şekil 2'de görüldüğü üzere İstanbul'daki irili ufaklı 102 alt havzanın büyük çoğunluğu nüfus yoğunluğunun yaşandığı bölgeleri kapsamaktadır.



Şekil 2: İstanbul'daki dere havzaları.

Son 30 yılda havza sınırları değişmese de, havzanın topografik yapısında şehirleşme nedeni ile yaşanan değişiklikler havzanın su tutma kapasitesinde ve havzanın su taşıma hızında olumsuz yönde değişiklilere neden olmuş, beraberinde şiddetli yağışlara bağlı afet sayısında ciddi artış yaşanmıştır.

## 3. AKOMAYS METEOROLOJİ MODÜLÜ

Nüfusun hızla artması ile birlikte sürekli gelişmekte olan şehirlerin yönetimi her geçen gün daha da zorlaşmaktadır. Şehrin meteorolojik afetlere olan hassasiyetleri belirlenmeli ve uygun bir müdahale planı uygulanmalıdır. Teknolojik gelişmelerin de katkısıyla birçok kurum ve kuruluş farklı format, tür ve yapıdaki birçok veriyi bir araya toplayıp karar vericilere destek amaçlı yazılımlar geliştirmeye başlamışlardır.

İstanbul'da yaşanabilecek herhangi bir afet durumunda olayın yönetiminin etkin ve hızlı sağlanabilmesi amacıyla AKOM tarafından 2017 yılında çalışmalarına başlanan web tabanlı ve mobil platformları da destekleyen AKOM Afet Yönetim Bilgi Sistemi (AKOMAYS) yazılımı devreye alınmıştır. AKOMAYS yazılımı, İBB Acil Durum ve Afet Müdahale Planı kapsamında görevlendirilen ve İstanbul geneline hizmet verebilmek için geniş bir alana yayılan kapasitenin (personel, araç, malzeme, ekipman kapasitesi) yönetilmesini sağlamaktadır. Öncelikle sistemin en

önemli girdisi olan grid bazlı meteorolojik radar verisi ile yer istasyonlarında ölçülen yağış verilerinin arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Radar yansıma (reflektivite) ve yer istasyonlarında yapılmış eş zamanlı veri kümelerinin ayrı ayrı olasılık yoğunluk fonksiyonlarının belirlenmesinden sonra bu iki dağılım fonksiyonlarının birbiri ile çakıştırılması ile radar verilerinin tam anlamı ile kullanılması sağlanmıştır [8]. Meteorolojik radar verileri ile birlikte Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyon (AWOS) verileri, dereler üzerinde kurulmuş olan Taşkın Erken Uyarı Sistemi (TEUS) istasyon verilerini analiz ederek ilçe bazlı yağış miktarlarını hesaplamakta ve anlık yağış durum bilgisi ile daha önceden taşkın yaşanmış olan kritik noktalar için belirlenen karar vericilere ve saha ekiplerine uyarı mesajı göndermektedir [7]. Aşağıda Şekil 3'te 17.08.2019 tarihinde Avrupa Yakası genelinde birçok ilçede etkili olan kuvvetli sağanak yağış neticesinde sistem tarafından üretilen kuvvetli yağış mesajları ile birlikte; su baskını, taşkın, vb. hadiselerin yaşanması muhtemel konumları gösterilmiştir.



Şekil 3: 17.08.2019 Kuvvetli yağış uyarı mesajları ve kritik noktalar.

Sistem tarafından üretilen kuvvetli yağış ve muhtemel taşkın risk noktaları ile ilgili bu mesajlar AFAD'ın acil durum eylem planları kapsamında İBB'nin sorumluluk alanındaki kişi ve ekiplere gönderilmektedir. AKOMAYS'ın bu özelliği aşağıda Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4: AKOMAYS uyarı mesajları.

Coğrafi tabanlı altlıklar gibi uzaktan algılama ürünlerinin yanı sıra, araç takip verileri, kamera görüntüleri, riskli nokta ve birim sorumluluk alanları gibi farklı kaynak ve türden birçok veriyi bünyesinde bulunduran bu sistem ile birlikte İBB'nin afet ve acil durumlardaki kapasitesinin en etkin şekilde yönetimi sağlanması hedeflenmektedir.

İstanbul'da son yıllarda gerçekleşen aşırı yağışlara bakıldığında, yerel olarak çok kuvvetli yağışlar düştüğü gözlemlenmektedir. Bu tür yağışlar ani olarak gelişmekte, önceden tahmin edilmeleri mümkün olamamaktadır. Radar görüntüleri sayesinde ani gelişen yağışların 30-60 dakikalık sürelerle tahmini ve takibi mümkün olmakta, ekiplerin bölgeye önceden intikali sağlanıp olaylara etkin müdahale gerçekleştirilmektedir.

5 Eylül 2023'te Arnavutköy istasyonunda 60 dakikada 90 kg yağış ölçmüş olup, günlük 128 kg yağış birikimi gerçekleşmiştir. 28 Eylül 2023'te ise yine Arnavutköy istasyonu, 2 saatte yaklaşık 200 kg yağış ölçmüş olup, günlük 221 kg yağış birikimi gerçekleşmiştir. Şekil 5 ve Şekil 6'da bu iki olaya ait radar görüntüleri verilmektedir.



Şekil 5: 5 Eylül 2023 Arnavutköy/Başakşehir yağış.



Şekil 6: 28 Eylül 2023 Çatalca/Arnavutköy yağış.

Her iki şiddetli yağışın etkili olduğu bölgede MGM Arnavutköy AWOS istasyonu dışında hiçbir ölçüm istasyonu olmadığından yağıştan etkilenen Başakşehir, Sultangazi, Eyüpsultan gibi diğer

ilçeler AKOMAYS'ın radar verisi ile yapılan hesaplamalar ve uyarı mesajları doğrultusunda bilgilendirilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmadan anlaşıldığı üzere içinde bulunduğumuz yüzyılda iklim değişikliği ile birlikte hava olayları ve coğrafyadaki değişimler, hızla artan nüfus ve 7/24 canlı şehir hayatı afet yönetimi çalışmalarını zorlaştıran faktörlerin başında gelirken, gelişen teknoloji sayesinde ortaya çıkan uzaktan algılama ürünleri, büyük veri analizleri ve yapay zeka öğrenimleri de afet yönetim sürecine katkı sağlayan faktörler olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, İBB AKOM tarafından 2017 yılında kullanıma alınan AKOMAYS sistemi; yaşanan afetler, iklim değişikliği ve şehirleşmenin hızlanması nedeniyle değişen meteorolojik koşullar ve teknolojiler göz önünde bulundurularak geliştirilmeye, yeni kabiliyetler kazandırılmaya devam edilmektedir.

Bu kapsamda, halihazırda 2019 yılından itibaren arşivlenen meteorolojik radar verisinin, havzalar ile coğrafi olarak kesiştirilip akışa dönüştürülmesi planlanmaktadır. Akış verisi ile oluşturulan modeller ve bu modellere karşılık oluşan taşkınlar sisteme öğretilecektir. Yapay zeka ve derin öğrenme kullanılarak yağış modelleri ve taşkın arasında kurulacak bağ ile yeni oluşacak bir radar izinin nasıl bir taşkına sebebiyet vereceği gelecek çalışmalarda hesaplanacaktır. Sistem bu korelasyonu kullanarak riskli noktaları tahmin edecek, dere yataklarında kurulu kameralar ile su yükselmesindeki anomaliyi takibe alacak ve kullanıcıya raporlayacaktır.

AKOMAYS'ın geliştirilmesine yönelik planlanan diğer bir çalışma ise, 112'den (Acil Yardım) gelen telefon çağrıları ile radar verisi arasında bir korelasyon kurulmasıdır. 112 sistemi ile yapılmış olan entegrasyon sayesinde, çağrılara ait konum verileri ve çağrının aciliyeti aktif olarak sistemimize gelmektedir. Yağışın yoğun olduğu günlerde radar izi ve çağrılar arasında net bir korelasyon gözlenmektedir. Derin öğrenme yöntemi ile radar izi ve 112 çağrıları arasında kurulacak ilişki ile radar modelinin nerelerde daha çok şikayet oluşturduğu sisteme öğretilecek ve yeni bir radar modeli ile tahminler oluşturulacaktır.

Bunlara ek olarak radar verisi ile mevcut kamera sistemleri eşleştirilerek kuvvetli yağış hesaplanan alanlardaki kamera görüntülerinin otomatik olarak AKOM koordinasyon ekranlarına yansıtılması sağlanacak, dere ve ulaşım kameralarından dijital okuma ile deredeki su seviyeleri ile birlikte yollardaki göllenme hadiseleri takip edilebilecektir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Lawrence, J., B. Mackey, F. Chiew, M.J. Costello, K. Hennessy, N. Lansbury, U.B. Nidumolu, G. Pecl, L. Rickards, N. Tapper, A. Woodward, and A. Wreford, In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University NY. Press. Cambridge, UK and New York, USA. pp. 1581-1688, doi:10.1017/9781009325844.013, 2022.
- [2] Liu, C., Guo G., Ye Lei., Zhang S., Zhao Y., Song T., A review of advances in China's flash flood early-warning system, Natural Hazards, 2018.
- [3] Köse A., Güçlü Y.S., Arslan M., Çaylak O., Tütüncü S., Baybaş F., Şen Z., Radar Yansımaları (Reflektivite) ve Yer Ölçümlerinin Ortak İhtimal Dağılım Modeli, 9th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD), Antalya, 2016.
- [4] **CRED&UNDRR.** Human cost of disasters; an overview of the last 20 years (2000-2019), 2020.
- [5] 2022 Yılı İklim Değerlendirmesi, İklim ve Zirai Meteoroloji Dairesi Başkanlığı, Şubat 2023
- [6] Hapuarachchi, H. a. P., Wang, Q., & Pagano, T. S., A review of advances in flash flood forecasting, Hydrological Processes, 25(18), 2771–2784, 2011.
- [7] Tütüncü S., Özmen S., Çaylak O., Er C., Ekmekçioğlu M.H., AKOM Afet Yönetim Bilgi Sistemi (AKOMAYS) Meteoroloji Modülü, UZALMET, Antalya, 2019.
- [8] Köse A., Güçlü Y.S., Arslan M., Çaylak O., Tütüncü S., Baybaş F., Şen Z., Radar Yansımaları (Reflektivite) ve Yer Ölçümlerinin Ortak İhtimal Dağılım Modeli, 9th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD), Antalya, 2016.

# EUMETSAT H SAF Pasif Mikrodalga Radyometresi Tabanlı H13 ve H65 1.Kar Suyu Eşdeğeri Ürünleri ve 2021 Kar Sezonu için Doğrulama Sonuçları

#### **Semih Kuter**

Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü Çankırı semihkuter@karatekin.edu.tr

#### Çağrı Hasan Karaman

HidroSAF Ltd. Şti. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Teknokent Ankara cagri.karaman@hidrosaf.com

#### Mustafa Berkay Akpınar

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Ankara berkay.akpinar@metu.edu.tr

Zuhal Akyürek Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Ankara zakyurek@metu.edu.tr

#### ÖZET

Kriyosferin önemli bir bileşeni olan kar örtüsü, gezegenin iklimi ve su döngüleri üzerinde derin etkiler yaratarak geniş kapsamlı sonuçlar doğurur. Yıllık bazda mevsimsel kar, Kuzey Yarımküre'deki karasal yüzeyin yaklaşık %40'ını kaplayarak Dünya yüzeyinin önemli bir bölümünü örtmektedir. Atmosferik dolaşım ve bölgesel iklim değişkenlikleri ile doğal iklim

salınımları gibi faktörler, kar vağısının yıldan yıla ve hatta tek bir mevsim icinde bile değiskenlik göstermesine vol açabilmektedir. Kar örtüsünün bu dinamik yapısı, farklı bölgelerdeki su mevcudiyetini, sel risklerini ve su erişilebilirliğini etkilediği için meteoroloji, hidroloji ve iklim dahil olmak üzere çeşitli alanlar üzerinde önemli etkilere sahip olmaktadır. Mikrodalga frekansında çalışan uzay tabanlı sensörler önemli bir kar parametresi olan kar suyu eşdeğerini (KSE) küresel ölçekte tahminlemek ve izlemek için değerli araçlar olarak hizmet vermektedir. Bu çalışmada Avrupa Meteoroloji Uyduları İşletme Teşkilatının (EUMETSAT) Operasyonel Hidroloji ve Su Yönetimine Destek (H SAF) projesi kapsamınca geliştirilen pasif mikrodalga radvometresi tabanlı günlük operasvonel Pan-Avrupa kapsamlı H13 ve kuzev varımküre kapsamlı H65 KSE ürünleri tanıtılarak 2021 yılı Ocak ve Mart ayları arasında bu ürünlerin validasyonuna vönelik yapılan calısmaların sonucları aktarılacaktır. H13 ve H65 ürünlerinin Türkiye üzerinde yapılan validasyon çalışmalarında Meteoroloji Genel Müdürlüğü yer gözlem ağından elde edilen ölçümler kullanılmış olup RMSE değerleri sırasıyla 40,00 mm ve 39,27 mm olarak bulunmuştur. Kuzey yarımküre kapsamlı H65 ürünün validasyonu ayrıca ABD üzerinde NOAA Ulusal Buz ve Kar Veri Merkezi'nin 1 km gridli KSE veri seti referans alınarak yapılmıştır. ABD için RMSE değeri 15,19 mm olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, H SAF H13 ve H65 KSE ürünlerinin hem düzlük/ormanlık hem de dağlık alanlar için ürün gereksinimi eşiklerine uyduğunu göstermekle birlikte, ücretsiz olarak sunulan ve yüksek mekânsal kapsama alanına sahip bu ürünlerin hidrolojik ve iklimsel uygulamalara yönelik olarak etkin bir sekilde kullanılabilirliğini desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler — kar suyu eşdeğeri, karın uzaktan algılanması, EUMETSAT, H SAF.

#### 1. GİRİŞ

Başlıca iklimsel etkenlerden biri olan kar örtüsü, Dünya'nın radyasyon bütçesi [1] ve hem bölgesel hem de küresel ölçekte hidroloji, ekoloji ve meteoroloji ile doğrudan ilgili birçok çevresel süreç üzerinde önemli bir rol oynayan kriyosferin önemli bir fiziksel unsurudur [2-4]. Dünya gözlem uyduları tarafından karın tutarlı bir şekilde izlenmesi 1960'lara kadar uzanan uzun bir geçmişe sahiptir [5]. Uzaktan algılama, kar kaplı alan (KKA) ve kar suyu eşdeğeri (KSE) olmak üzere iki ana kar parametresinin elde edilmesinde etkili bir araç olarak hizmet vermektedir. KSE, kar paketinde bulunan sıvı su miktarını ifade eder ve aktif/pasif mikrodalga teknikleri kullanılarak elde edilir [6]. Önemli bir mevsimsel kar özelliği olan KSE tahminlerine, ilkbaharda kar erimesi sırasında nehir deşarjı ve taşkın tahmini, iklim modeli değerlendirmesi, hidroelektrik üretimi ve tatlı su mevcudiyeti tahmini gibi hidrolojik ve klimatolojik uygulamalarda kesinlikle ihtiyaç duyulmaktadır [7, 8]. Kar yağışı ölçümleri [9] veya yüzey kar derinliği (KD) enterpolasyonu [10] yoluyla KSE tahmini mümkün olsa da, yersel ölçümlerin geniş alanlarda, özellikle de orman örtüsüne sahip kuzey enlemlerde veya karmaşık topografyaya sahip alanlarda KD ekstrapolasyonu, kar kütlesindeki mekansal değişkenliği yüksek doğrulukla yakalamada belirli bir sınırlamaya sahiptir [11, 12].

Öte yandan, küresel kapsama sahip uzay tabanlı pasif mikrodalga radyometre verilerinden KSE tahminlemesi, 19 GHz civarında kuru kara duyarsız ve 37 GHz civarında kuru kara duyarlı frekanslarda ölçülen parlaklık sıcaklıklarındaki farka davalı olarak yapılabilmektedir [7, 8]. Kuru kar durumu; kar kütlesi içinde sıfır kar su ihtivası olma durumudur. H13 ve H65, Avrupa Meteoroloji Uyduları İşletme Teşkilatı'nın (EUMETSAT, https://www.eumetsat.int/) Operasyonel Hidroloji ve Su Yönetimine Destek Uvdu Uvgulamaları (H SAF) programi (https://hsaf.meteoam.it/) kapsamında pasif mikrodalga verilerine dayalı olarak üretilmekte olan KSE ürünleridir [13].

Uydu tabanlı kar ürünlerinin doğrulanması, *i*) ürün güvenilirliğini doğru bir şekilde değerlendirmek ve ölçmek, *ii*) olası hataları belirlemek ve son olarak da *iii*) ilgili algılama algoritmalarında daha fazla kalibrasyon ve iyileştirme için girdi sağlamak için hayati öneme sahiptir [14]. Bu çalışmada H SAF H13 ve H65 KSE ürünlerinin Ocak-Mart 2021 tarihleri arasında Türkiye üzerinde yersel KD ölçümleri kullanılarak yapılan doğrulama sonuçlarının sunulması amaçlanmaktadır. Çalışmada ayrıca H65 ürünü için *Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi* (NOAA) *Ulusal Kar ve Buz Veri Merkezi* (NSIDC) tarafından sağlanan 1 km grid çözünürlüklü KSE veri seti referrans alınarak aynı tarih aralığında ABD üzerinde yapılan doğrulama sonuçları

### 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, H13 ve H65 KSE ürünlerinin Türkiye ve ABD üzerinde doğrulanmasında kullanılan materyal ve yöntemler sunulmaktadır. H13 ve H65 KSE ürünlerinin genel teknik özellikleri tanıtılarak, doğrulama çalışmalarında kullanılan referans veri setleri özetlenmektedir. Doğrulama

analizlerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamak için gerekli metodoloji, veri toplama/işleme ve kullanılan istatistiksel ölçütler ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

## 2.1. H SAF H13 ve H65 Kar Suyu Eşdeğeri Ürünleri

H13 ve H65 günlük operasyonel KSE ürünleri temel olarak *Savunma Meteoroloji Uydu Programı* (DMSP - https://www.ospo.noaa.gov/Operations/DMSP/index.html) uydularında bulunan SSM/I ve SSM/IS [15] mikrodalga sensörlerinden elde edilen veriye dayanmaktadır. H13 0,25° (~25 km) mekansal çözünürlükle 25°W - 45°E boylamları ve 25°N - 75°N enlemleriyle sınırlı Pan-Avrupa alanını kapsamaktadır (bkz. Şekil 1).



Şekil 1: a) H13 ürünü (28 Ocak 2021), ve b) dağ maskesi.

Aynı mekansal çözünürlüğe sahip yeni jenerasyon KSE ürünü olan H65 ise H13 ürününe önemli ölçüde benzemekle birlikte, coğrafi kapsam olarak Kuzey Yarımküre'ye uzanan kayda değer bir artış sergilemektedir. Geleneksel enlem-boylam gridini benimseyen H13'ün aksine H65, Eşit Alan Ölçeklenebilir Dünya (EASE) grid versiyon 2.0'ı kullanmaktadır (bkz. Şekil 2).



Şekil 2: H65 ürünü (27 Ocak 2021) ve dağ maskesi.

H13 ve H65 ürünlerinde kullanılan KSE algoritması temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır: *i*) düz ve ormanlık bölgeler için olan kısım, Finlandiya Meteoroloji Enstitüsü (FMI) tarafından yer tabanlı KD gözlemlerinin ve pasif mikrodalga kaynaklı KSE tahminlerinin veri asimilasyonu yoluyla elde edilirken, *ii*) dağlık alanlar için olan kısım, yalnızca pasif mikrodalga gözlemleri kullanılarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından üretilmektedir [13]. Daha sonra bu iki kısım nihai ürünü elde etmek için Şekil 1 ve 2'de gösterilen dağ maskeleri kullanılarak FMI'da birleştirilmektedir. Bu ürünlerin üretilmesinde kullanılan KSE algoritmasının ayrıntıları Pulliainen *ve diğ.* [16], Pulliainen *ve diğ.* [17], Kruopis *ve diğ.* [18] ve Sorman ve Beser [19]'in çalışmalarında verilmektedir. Türkiye üzerinde 2020-2021 kar yılı için yapılan doğrulama çalışmaları sırasında, 1 Ocak 2021 ile 31 Mart 2021 tarihleri arasındaki H13 ve H65 KSE verileri kullanılmıştır.

#### 2.2. Yersel Kar Derinliği Ölçümleri

H13 ve H65 ürününlerinin doğrulama çalışmaları, 1 Ocak 2021 ile 31 Mart 2021 tarihleri arasındaki dönemi kapsamaktadır. MGM yersel gözlem ağındaki 62 otomatik hava gözlem sistemi (AWOS) ve 6 kar paketi analizöründen (SPA) elde edilen KD ölçümleri analizlerde kullanılmıştır. Doğrulamada kullanılan AWOS ve SPA istasyonlarının konumları Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3: H65 Doğrulama analizlerinde kullanılan MGM istasyonları.

Yersel KD ölçümleri aylık ortalama kar yoğunluğu değerleri kullanılarak KSE değerlerine dönüştürülmektedir (yoğunluk değerleri tipik olarak 0,25 g/cm<sup>3</sup> ile 0,30 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir [19]). Doğrulama analizlerinde, yersel KD ölçümleri H13 ve H65 KSE ürünlerine

karşılık gelen 25 x 25 km<sup>2</sup>'lik piksel ayak izindeki KSE ile karşılaştırılmaktadır. Her bir yersel KD ölçüm konumunun yüksekliği daha sonra ölçümün kendi mekansal kapsamı içine düştüğü H13 ve H65 pikselinin medyan yükseklik değeri ile karşılaştırılmakta olup, analizlerin geçerliliğini sağlamak için, pikselin medyan yükseklik değerinden 400 metreyi aşan yükseklik farkı olan yersel KD ölçümleri doğrulama analizinden çıkarılmaktadır. H13 ve H65 ürünleri özellikle kuru kar koşulları için tasarlandığından, doğrulama dönemi stratejik olarak bu tür koşulların yaygın olduğu dönem olan Ocak-Mart ayları arası olarak seçilmiştir.

## 2.3. SNODAS Kar Suyu Eşdeğeri Ürünü

H65 ürününün aynı dönemdeki performansının değerlendirilmesi NOAA Ulusal Hava Servisi'nin Ulusal Operasyonel Hidrolojik Uzaktan Algılama Merkezi (NOHRSC) SNOw Veri Asimilasyon Sistemi'nden (SNODAS) (https://nsidc.org/data/g02158/versions/1) elde edilmekte olan ve 28 Eylül 2003'ten günümüze kadar mevcut olan günlük 1 km'lik gridli KSE veri seti kullanılarak da gerçekleştirilmiştir. SNODAS, kar örtüsünü simüle etmek için fiziksel tabanlı, mekansal olarak dağıtılmış bir enerji ve kütle dengesi kar modeli kullanının yanı sıra sayısal hava tahmin modellerinden veri alma ve ölçeği küçültme yöntemlerini de entegre etmekte ve uydular, hava platformları ve yer tabanlı ölçümler gibi kaynaklardan gelen çeşitli karla kaplı alan ve KSE gözlemlerini asimile eden prosedürleri içermektedir [20]. SNODAS 1-km gridli KSE ürününün mekansal kapsamı Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4: 1-km grid çözünürlüklü ABD SNODAS KSE ürünü kapsama alanı.

#### 2.4. Doğrulama Metrikleri

Türkiye ve ABD üzerindeki doğrulama sonuçları, aşağıdaki ifadede verildiği gibi hataların ortalama kare kökü (RMSE) cinsinden ifade edilmektedir:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} \left( KSE_{Ref} - KSE_{H13/H65} \right)^2}{N}}.$$
 (1)

Burada KSE<sub>*Ref*</sub> ilgili yer istasyonu konumundaki KSE değerini, KSE<sub>*H13/H65*</sub> ise H13 veya H65 ürünündeki ilgili pikselin KSE değerini ifade ederken, *N* toplam gözlem sayısını göstermektedir. RMSE'ye ek olarak, doğrulama sonuçları dağılım grafikleri aracılığıyla görselleştirilmiştir. Bu grafikler, her bir 25 mm'lik KSE aralığındaki H13 veya H65 tarafından tahmin edilen ortalama KSE'yi göstermektedir. Bu ortalamalar, her bir doğrulama alanı için aynı 25 mm KSE aralıklarına karşılık gelen ortalama referans KSE değerleriyle karşılaştırılmıştır.

#### 3. BULGULAR

## 3.1. H13 ve H65 Türkiye Üzerindeki Doğrulama Sonuçları

H13 ve H65 ürünlerinin doğrulaması MATLAB ortamında geliştirilen rutin kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yukarıda belirtilen doğrulama döneminde ortalama KD değeri 23,51 cm olarak hesaplanırken, aylık ortalamalar Ocak, Şubat ve Mart ayları için sırasıyla 22,12 cm, 24,25 cm ve 21,31 cm'dir. Doğrulama dönemi içinde kaydedilen minimum ve maksimum SD değerleri sırasıyla 2,80 cm ve 95,34 cm'dir. H13 ürünü için genel RMSE 1 Ocak - 31 Mart 2021 için 40,00 mm'dir. Aylık bazda RMSE değerleri Ocak, Şubat ve Mart ayları için sırasıyla 40,54 mm, 39,31 mm ve 38,77 mm olarak hesaplanmıştır. H13 için doğrulama sonuçları Tablo 1'de sunulmuş olup, elde edilen ve gözlemlenen KSE değerleri arasındaki karşılaştırma Şekil 5'te gösterilmiştir.

KSE aralık (mm)	H13 KSE (mm)	Ref. KSE (mm)	Std. Sap. (mm)	Ort. Hata (mm)	Veri Sayısı
0-25	0,27	33,41	1,42	-33,13	656
25-50	42,50	53,89	4,98	-11,39	36
50-75	64,89	58,75	7,75	6,14	66
75-100	89,65	82,18	6,19	7,47	184
100-125	112,56	100,68	7,16	11,88	221
125-150	133,96	110,50	6,08	26,75	105
150-175	154,10	135,12	3,21	31,16	10
175-200	186,00	165,59	8,98	20,41	4

Tablo 1: H13 için Türkiye üzerinde yer ölçümleri ile yapılan doğrulama sonuçları.



Şekil 5: H13 tahmini ortalama KSE (y ekseni) ve referans KSE değerleri (x ekseni).

H65 performans değerlendirmesi için, Ocak 2021 ile Mart 2021 arasını kapsayan genel RMSE 39,27 mm olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, her bir ay için RMSE değerleri sırasıyla Ocak ayı için 39,92 mm, Şubat ayı için 39,33 mm ve Mart ayı için 38,02 mm olarak hesaplanmıştır. H65 için Türkiye üzerindeki doğrulama sonuçları Tablo 2'de sunulurken, elde edilen ve gözlemlenen KSE değerleri arasındaki karşılaştırma Şekil 6'da verilmektedir.

KSE aralık (mm)	H65 KSE (mm)	Ref. KSE (mm)	Std. Sap. (mm)	Ort. Hata (mm)	Veri Sayısı
0-25	0,30	32,64	1,42	-32,34	636
25-50	41,15	43,85	4,98	-2,70	20
50-75	65,37	60,34	7,75	5,03	59
75-100	88,36	74,79	6,19	13,57	177
100-125	111,98	97,57	7,16	14,41	188
125-150	133,38	108,36	6,08	25,02	99
150-175	153,00	101,03	3,21	51,97	1
175-200	185,25	195,74	8,98	-10,49	4

Tablo 2: H65 için Türkiye üzerinde yer ölçümleri ile yapılan doğrulama sonuçları.



Şekil 6: Türkiye için H65 tahmini ortalama KSE (y ekseni) ve referans KSE değerleri (x ekseni).

## 3.2. H65 ABD Üzerindeki Doğrulama Sonuçları

H65 için ABD üzerinde yapılan doğrulama sonuçları, Ocak, Şubat ve Mart ayları için aylık RMSE değerlerini sırasıyla 14,61 mm, 18,25 mm ve 12,77 mm olarak vermektedir (bkz. Tablo 3). H65 ürününün genel RMSE değeri 15,19 mm olarak hesaplanmıştır. Tablo 3'den anlaşılacağı üzere, veri seti dağılımı esas olarak 0 ila 25 mm KSE aralığında yoğunlaşmaktadır (veri kümesinin %86,5'ini kapsamaktadır). Şekil 7'de verilen grafik, H65 KSE veri setinin 1:1 referans çizgisi boyunca tutarlı bir davranış sergilediğini, ancak 0 ila 25 mm aralığını aşan aralıklar için KSE değerlerini fazla tahminleme yönünde bir eğilim sergilediğini göstermektedir.

Tablo 3: H65 için ABD üzerinde SNODAS 1-km gridli KSE veri seti ile yapılan doğrulama sonuçları.

KSE aralık (mm)	H65 KSE (mm)	Ref. KSE (mm)	Std. Sap. (mm)	Ort. Hata (mm)	Veri Sayısı
0-25	1,26	4,12	4,40	-2,86	904 670
25-50	36,74	25,92	7,18	10,82	66 980
50-75	60,91	43,33	7,07	17,58	40 760
75-100	86,65	66,37	6,92	20,28	20 972
100-125	110,58	99,68	6,87	10,90	9778
125-150	134,42	120,96	6,23	13,47	2078
150-175	156,87	133,27	6,94	23,60	224
175-200	187,07	159,67	8,23	27,40	27



Şekil 6: ABD için H65 tahmini ortalama KSE (y ekseni) ve referans KSE değerleri (x ekseni).

Amerika Birleşik Devletleri üzerinde yapılan bu değerlendirme analizi, H65 KSE ürününün performans özelliklerini değerlendirmeyi amaçlayan ilgi çekici bir örnek teşkil etmektedir. Bununla birlikte, bu çalışmada kullanılan referans veri kaynağının da aynı şekilde asimile edilmiş bir KSE ürünü olduğunu ve dolayısıyla ilgili ürünün kullanım kılavuzunda belirtildiği gibi [20] doğası gereği bazı hatalar içerdiğini kabul etmek çok önemlidir.

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Uydu tabanlı kar ürünlerinin doğrulanması, kar hidrolojisi çalışmalarında uzaktan algılama verilerinin güvenilirliğini ve doğruluğunu sağlamada hayati öneme sahiptir. Bu çalışmada, H SAF H13 ve H65 KSE ürünlerinin Türkiye ve ABD olmak üzere farklı iki coğrafi bölgedeki performansları değerlendirilmiştir. Türkiye'de doğrulama için yerinde KD ölçümlerinden türetilen KSE değerleri ve ABD için SNODAS'ın 1 km'lik gridli KSE ürünü kullanılmıştır.

HSAF H13 KSE ürünü 2010 yılından bu yana pan-Avrupa alanı için üretilmektedir. H65 ürünü tüm kuzey yarım küre için 2022 yılından bu yana operasyonel olarak üretilmektedir. İki ürün için de kullanılan algoritmalar benzerdir. Doğrulama çalışmalarında elde edilen yakın değerler SSM/I ve SSM/IS verilerinin gridlenmesinden kaynaklanmaktadır.

Uydu kar ürünlerinin doğrulanmasının önemi, su kaynakları yönetimi, iklim modellemesi ve hava tahminleri gibi çeşitli uygulamaları destekleme potansiyelinde yatmaktadır. Pan avrupa kapsamlı H13 ve kıta ölçeğinde kapsama alanı sunan H65 KSE ürünleri bu bağlamda değerli veriler sunmaktadır.

Bununla birlikte, düşük mekansal çözünürlüğe sahip bir kar ürününün doğrulanması bazı zorluklar içermektedir. Karşılaşılan temel zorluklardan biri, noktasal karakteristikteki yersel ölçümlerin H13 ve H65 KSE ürünlerindeki geniş mekansal kapsamı olan tek bir pikseli temsil edebilirliği ile ilgilidir. Bu durum özellikle kar örtüsünün doğal değişkenliğinin nispeten küçük bir alanda bile önemli olabileceği engebeli dağlık bölgelerde belirgindir. Bu tür arazilerin karakteristik özelliği olan yükseklik eğimleri, yerel topografya ve mikroklimatik etkiler, noktasal gözlemler ile mekansal olarak entegre edilmiş uydu ölçümleri arasında tutarsızlıklara yol açabilmektedir.

Bir diğer önemli zorluk, ister yerinde gözlemler isterse çalışmada kullanılan 1-km gridli ABD KSE veri seti gibi alternatif kaynaklar olsun, uygun yüksek kaliteli referans veri setlerine erişim kısıtından kaynaklanmaktadır. Bu tür referans veri setlerinin azlığı, mekansal dağılımı ve zamansal değişkenliği, dikkatli bir seçim ve kalibrasyon gerektirmekte ve doğrulama sürecinin karmaşıklığını artırmaktadır. Yüksek rakımlarda yer gözlemlerinin sınırlı sayıda olması nedeniyle Türkiye için gridlenmiş kar derinliği, kar suyu eşdeğeri veri setine ihtiyaç duyulmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma H SAF H13 ve H65 KSE ürünlerinin farklı coğrafi alanlardaki performansının anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Doğrulama süreci, hem uydu ürünlerinin hem de yer tabanlı gözlemlerin doğasında var olan sınırlamaların hesaba katılması gerekliliğinin altını çizmektedir. Bu tür çalışmalar, uydudan elde edilen kar ürünlerinin güvenilirliğini arttırmak ve hidrolojik ve çevresel çalışmalarda uygulanabilirliğini ilerletmek açısından önemlidir. Buna paralel olarak, EUMETSAT H SAF'ın uydu tabanlı kar ürünleri alanındaki katkıları, bilimsel anlayışın ilerletilmesinde işbirliğine dayalı çabaların öneminin altını çizmektedir. H SAF'ın doğru ve güvenilir kar ürünleri geliştirme arayışı, çok disiplinli araştırma ve operasyonel uygulamalar için bir platform sağlamaktadır.

#### KAYNAKLAR

- Dietz, A.J., Kuenzer, C., Gessner, U. ve Dech, S., *Remote sensing of snow A review of available methods*. International Journal of Remote Sensing, 2012. 33: p. 4094-4134. DOI: 10.1080/01431161.2011.640964.
- [2] Akyürek, Z., Hall, D.K., Riggs, G.A. ve Sensoy, A., *Evaluating the utility of the ANSA blended snow cover product in the mountains of eastern Turkey*. International Journal of Remote Sensing, 2010. 31: p. 3727-3744. DOI: 10.1080/01431161.2010.483484.

- [3] **Kuter, S., Bolat, K. ve Akyurek, Z.**, *A machine learning-based accuracy enhancement on EUMETSAT H-SAF H35 effective snow-covered area product.* Remote Sensing of Environment, 2022. 272: p. 112947. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112947.
- [4] **Tekeli, A.E., Akyürek, Z., Şorman, A.A., Şensoy, A. ve Şorman, Ü.**, *Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey.* Remote Sensing of Environment, 2005. 97: p. 216-230.
- [5] **Hall, D.K. ve Martinec, J.**, *Remote Sensing of Ice and Snow*. 1985, USA: Chapman and Hall.
- [6] **Brown, R.D. ve Robinson, D.A.**, *Snow and Snow Cover*, in *Encyclopedia of World Climatology*, J.E. Oliver, Editor. 2005, Springer: Netherlands, Dordrecht. p. 658-663.
- [7] Pulliainen, J. ve Hallikainen, M., Retrieval of Regional Snow Water Equivalent from Space-Borne Passive Microwave Observations. Remote Sensing of Environment, 2001. 75: p. 76-85. DOI: https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00157-7.
- [8] Venäläinen, P., Luojus, K., Lemmetyinen, J., Pulliainen, J., Moisander, M. ve Takala, M., Impact of dynamic snow density on GlobSnow snow water equivalent retrieval accuracy. The Cryosphere, 2021. 15: p. 2969-2981. DOI: 10.5194/tc-15-2969-2021.
- [9] **Broxton, P.D., Dawson, N. ve Zeng, X.**, *Linking snowfall and snow accumulation to generate spatial maps of SWE and snow depth.* Earth and Space Science, 2016. 3: p. 246-256.
- [10] **Dyer, J.L. ve Mote, T.L.**, *Spatial variability and trends in observed snow depth over North America*. Geophysical Research Letters, 2006. 33: p. L165033.
- [11] López-Moreno, J.I., Fassnacht, S.R., Heath, J.T., Musselman, K.N., Revuelto, J., Latron, J., Morán-Tejeda, E. ve Jonas, T., Small scale spatial variability of snow density and depth over complex alpine terrain: Implications for estimating snow water equivalent. Advances in Water Resources, 2013. 55: p. 40-52. DOI: https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.08.010.
- [12] Viviroli, D., Archer, D.R., Buytaert, W., Fowler, H.J., Greenwood, G., Hamlet, A.F., Huang, Y., Koboltschnig, G., Litaor, I. ve López-Moreno, Climate change and mountain water resources: overview and recommendations for research, management and policy. Hydrology and Earth System Sciences, 2011. 15: p. 471-504.
- [13] H13-PUM. Product User Manual (PUM) for product H13 SN-OBS-4: Snow Water Equivalent by MW Radiometry. EUMETSAT Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management 2018 [Erişim tarihi: 2022 4th of July]; Web adresi: https://hsaf.meteoam.it/CaseStudy/GetDocumentUserDocument?fileName=SAF\_HSAF\_P UM-13\_1\_0.pdf&tipo=PUM.
- [14] Piazzi, G., Tanis, C.M., Kuter, S., Simsek, B., Puca, S., Toniazzo, A., Takala, M., Akyürek, Z., Gabellani, S. ve Arslan, A.N., Cross-Country Assessment of H-SAF Snow

Products by Sentinel-2 Imagery Validated against In-Situ Observations and Webcam Photography. Geosciences, 2019. 9: p. 129.

- [15] **Emery, W. ve Camps, A.**, *Introduction to Satellite Remote Sensing: Atmosphere, Ocean, Land and Cryosphere Applications.* 2017, Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Pulliainen, J., Karna, J. ve Hallikainen, M., Development of geophysical retrieval algorithms for the MIMR. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1993. 31: p. 268-277. DOI: 10.1109/36.210466.
- [17] Pulliainen, J.T., Grandell, J. ve Hallikainen, M.T., HUT snow emission model and its applicability to snow water equivalent retrieval. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999. 37: p. 1378-1390. DOI: 10.1109/36.763302.
- [18] Kruopis, N., Praks, J., Arslan, A.N., Alasalmi, H.M., Koskinen, J.T. ve Hallikainen, M.T., Passive microwave measurements of snow-covered forest areas in EMAC'95. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999. 37: p. 2699-2705. DOI: 10.1109/36.803417.
- [19] Sorman, A.U. ve Beser, O., Determination of snow water equivalent over the eastern part of Turkey using passive microwave data. Hydrological Processes, 2013. 27: p. 1945-1958. DOI: https://doi.org/10.1002/hyp.9267.
- [20] Webster, K. ve Fetterer, F. National Operational Hydrologic Remote Sensing Center. Snow Data Assimilation System (SNODAS) Data Products at NSIDC, Version 1 [SWE]. Boulder, Colorado USA. 2004 [Erişim tarihi: 2023 1 August]; Web adresi: https://nsidc.org/sites/default/files/g02158-v001-userguide\_2\_1.pdf.

# Uydu Verileri Üzerinden Ülkemizin Bulut Kapalılığı Değişiminin İncelenmesi

#### Sena Çağla Apaydın

İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği, 34469 Sarıyer, İstanbul apaydins15@itu.edu.tr

Ahmet Öztopal İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği, 34469 Sarıyer, İstanbul oztopal@itu.edu.tr

#### ÖZET

Bulut kapalılığı, güneş radyasyonunun uzaya geri yansıtılması ve yerin yayınladığı termal radyasyonun da uzaya yayılımının sınırlandırılması sebebiyle, yerkürenin radyasyon bütçesinde karmaşık ve iklim değişkenliğinde önemli bir role sahiptir. Küresel iklim değişikliğinin etkilerinin her geçen gün daha da fazla hissedildiği günümüzde, bulut kapalılığının geçmişten bugüne olan değişiminin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu kapsamda hazırlanan bu çalışmada, Avrupa Meteorolojik Uyduları İşletme Teşkilatı (EUMETSAT) altındaki CM-SAF birimin elde ettiği CLARA-A2 ürünü kullanılmıştır. Bu, AVHRR verisinden elde edilen bir ürün olup veri aralığı 1982-2018 dönemini kapsamaktadır. Çalışmada, Türkiye üzerinde genel olarak, günlük ortalama bulut kapalılıkları dikkate alınarak, basit bir mantığa sahip olan Yenilikçi Trend Analizi (YTA) yardımıyla mevsimlik ve yıllık değişimlerdeki trendler ortaya konulacak ve değerlendirmelerde bulunulacaktır.

Anahtar Kelimeler - bulut kapalılığı; trend; uzaktan algılam; YTA.

#### 1. GİRİŞ

Bulutluluk, iklimi etkileyen önemli elementlerden biridir. Bulutlar, atmosferin radyasyon bütçesini önemli ölçüde etkileyip buna bağlı olarak iklimi de değiştirmektedir. İklim sistemlerini önemli ölçüde etkilemesine rağmen sıcaklık veya yağış kadar üzerinde çalışılmamıştır. Bulutların özellikleri ve davranışları, gelecekteki iklim değişikliğini belirleyen tanımlanmamış ve az bilinen ana faktörleri oluşturmaktadır. Bu özelliklerden bazılarına bulut türü, bulut konumu, nem içeriği, bulut yüksekliği, bulut parçacıklarının şekli ve boyutu, varlık süreleri gibi örnekler verilebilmektedir. Bu özelliklere bağlı olarak bulutların iklimi ısıtıp soğutmayacağına karar verilmektedir [1].

Yapılan araştırmalara göre alınan sonuçlardan bazıları;

- Dünyanın birçok yerinde toplam bulut miktarının son yıllarda arttığı bildirilmekte ve bu artış, azalan günlük sıcaklık aralığının olası nedeni olarak gösterilmektedir [2].
- Hadley hücresinin kuzeye doğru genişlemesinin olası bir sonucu olarak, Avrupa'da 1970-1990 yılları arasında Akdeniz'de bulut örtüsü azalmıştır [3].
- Dünya genelinde gözlemlenen günlük bazda sıcaklık değişiminin düşüşü ile bulut örtüsündeki artış arasında bağlantı olduğu görülmektedir [1].

Bu çalışmada, Türkiye üzerinde genel olarak, günlük ortalama bulut kapalılıkları dikkate alınarak, basit bir mantığa sahip olan Yenilikçi Trend Analizi (YTA) yardımıyla mevsimlik ve yıllık değişimlerdeki trendler ortaya konulacak ve değerlendirmelerde bulunulacaktır.

## 2. VERİ VE METHOD

## 2.1. Veri

Bu araştırmada, Avrupa Meteorolojik Uyduları İşletme Teşkilatı (EUMETSAT) altındaki CM-SAF birimin elde ettiği CLARA-A2 ürünü kullanılmıştır (Şekil 1). Bu, AVHRR verisinden elde edilen bir ürün olup veri aralığı 1982-2018 dönemini kapsamaktadır.



Şekil 1: Veri bilgilendirmesi ve özelliği

## 2.2. Yenilikçi Trend Analizi

Yenilikçi Trend Analizi (YTA) yöntemi esas olarak herhangi bir veri setinin iki yarım gruba ayrılarak birinci yarım ile ikinci yarımın kıyaslanmasına dayanır. Belirli bir zaman serisindeki olası genel artışı veya düşüşü gösteren teknik analiz yöntemidir. YTA yönteminin uygulanabilmesi için aşağıdaki adımlar sırasıyla takip edilmelidir:

- 1) Tüm veri eşit olacak şekilde ikiye bölünür.
- 2) Yarıya bölünmüş her bir parça kendi içinde küçükten büyüğe sıralanır.
- **3**) Verinin sıralanmış ilk yarısı X ve yine sıralanmış ikinci yarısı da Y ekseninde olacak şekilde kartezyen koordinat sisteminde bir saçılma diyagramı çizilir. Burada X ve Y eksenlerinin aynı uzunlukta olması gerekmektedir.
- *4*) Elde edilen saçılma diyagramına 45°'lik bir doğru çizilir.
5) Örneğin 1960-2019 yılları arasında bulunan verinin 1960-1989 ve 1990-2019 olacak şekilde 2 parçaya bölündüğü düşünülsün. İlk yarı *uzak geçmiş* ve ikinci yarı da *yakın geçmiş* olarak isimlendirilsin. Eğer saçılma grafiğindeki noktalar 45°'lik doğru üzerine düşüyorsa, bu durumda trendden bahsedilemez. Noktalar 45°'lik doğrunun alt tarafında saçılıyorsa, bu durumda *azalan trend* söz konusudur. Eğer noktalar 45°'lik doğrunun üst bölgesinde konumlanıyorsa, bu durumda da *artan trend* vardır denilir. Yukarıdaki adımlar doğrultusunda elde edilen Şekil 2'de genel olarak bir azalan trend olduğu yorumu yapılabilir [4,5,6].



Şekil 2: Örnek bir YTA grafiği.

## 3. ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER

Grid bazında kullanılan aylık veri sayısı 444 olup çalışma, tüm veri ve mevsimler üzerinden yapılmıştır. Aylık bulut kapalılığının istatiksel analizi incelendiğinde, tüm veri zaman aralığında en düşük kapalılık %15,9, ortalama kapalılık %50,9 ve en yüksek kapalılık da %83,7 olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Ayrıca, en yüksek kapalılık değerleri kış mevsiminde görülürken en düşük kapalılık değerleri yaz mevsimine aittir.

			Aylık Bulut Kapalılığı (%)			
Zaman	Gözlemlenen Yıl	Data Sayısı (n)	Minimum	Ortalama	Maksimum	Standart Sapma
Bütün Yıllar	1982-2018	444	15,9	50,9	83,7	18,7
Kış	1982-2018	111	51,9	69,9	83,7	7,2
İlkbahar	1982-2018	111	34,6	58,6	81,7	9,7
Yaz	1982-2018	111	15,9	26,6	46,9	6,9
Sonbahar	1982-2018	111	21,5	47,9	75,3	13,8

Şekil 3 ve Şekil 4'te YTA analizinin mevsimsel grafikleri görülmektedir. Azalan trendin en fazla olduğu mevsim yaz olarak görülmektedir. Sonbahar mevsimi incelendiğinde %55 kapalılığın üzerinde azalan bir trend çok belirgindir. Kış ve ilkbahar mevsimlerinde de genel olarak azalan bir trendin olduğu görülmektedir.



Şekil 3: İlkbahar ve yaz mevsimlerine ait YTA garfikleri.



Şekil 4: Sonbahar ve kış mevsimlerine ait YTA garfikleri.

Yenilikçi trend analizin matematiksel değerlendirmesi incelendiğinde yüzde olarak trend değerlerinin en yüksek olduğu mevsim -%8,5 ile yaz mevsimi ve en düşük olduğu mevsimin de - %1,9 ile kış mevsimi olduğu görülmektedir. İncelenen bütün zaman aralıklarında da azalan bir trend olduğunu gözlemlenmektedir.

Tablo	2:	Trend	analiz	değerl	eri.
-------	----	-------	--------	--------	------

			Ortalama				
Zaman	Gözlemlenen Yıl	Data Sayısı (n)	İlk Yarı	İkinci Yarı	Trend Eğrisi	Yüzde OlarakTrend (ITA)	Trend Türü
Bütün Yıllar	1982-2018	440	52,3	49,3	-0,014	-2,9	Azalan Trend
Kış	1982-2018	110	71,2	68,7	-0,047	-1,9	Azalan Trend
İlkbahar	1982-2018	110	61,1	56,1	-0,090	-4,3	Azalan Trend
Yaz	1982-2018	110	28,9	24,3	-0,083	-8,5	Azalan Trend
Sonbahar	1982-2018	110	49,1	46,7	-0,043	-2,8	Azalan Trend

Şekil 5, Türkiye üzerindeki bulut örtüsü değişimini göstermektedir. Hesaplama 2001-2018 döneminin ortalama bulut kapalılığından 1982-2000 döneminin ortalama bulut kapalılığının çıkarılmasıyla yapılmıştır. Türkiye genelinde genel olarak azalan değerler gözlemlenmektedir, buradan da bulutluluğun zamanla azaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5: Bulut kapalılığı değişimi.

Şekil 6 ve Şekil 7 Türkiye üzerindeki mevsimsel olarak bulut örtüsü değişimlerini göstermektedir. Türkiye geneli incelendiğinde, her mevsimde değişim değerleri azalan olarak görülmektedir. Bu da bulutluluğun her mevsimde zamanla azaldığını göstermektedir.



Şekil 6: İlkbahar ve yaz mevsimlerinde ortalama bulut kapalılığı değişimi (%).



Şekil 7: Sonbahar ve kış mevsimlerinde ortalama bulut kapalılığı değişimi (%).

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Avrupa Meteorolojik Uyduları İşletme Teşkilatı (EUMETSAT) altındaki CM-SAF birimin elde ettiği ve 1982-2018 dönemini kapsayan CLARA-A2 ürünü altındaki bulut kapalılığı değişkeninin ülkemiz üzerindeki değişimi Yenilikçi Trend Analizi (YTA) ile incelenmiştir. Bu analizlere göre, tüm mevsimlerde azalan bir trend görülmektedir; en yüksek değişim yaz ve en düşük değişim de kış mevsiminde tespit edilmiştir.

Değişim haritalarında büyük oranda azalan değerlerin görülmesi YTA analizi sonuçları ile uyuşmaktadır.

Bundan sonraki süreçte, yersel verilerin de analizinin yapılması ile çalışma ilerletilecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] Sfîcă, L., Beck, C., Nita, A., Voiculescu, M., Birsan, M., & Philipp, A. (2020). Cloud cover changes driven by atmospheric circulation in Europe during the last decades. International Journal of Climatology, 41(S1). https://doi.org/10.1002/joc.6841
- [2] Sun, B., & Groisman, P. Ya. (2000). Cloudiness variations over the former Soviet Union. International Journal of Climatology, 20(10), 1097–1111. https://doi.org/10.1002/1097-0088(200008)20:10<1097::aid-joc541&gt;3.0.co;2-5

- Filipiak, J., & Miętus, M. (2008). Spatial and temporal variability of cloudiness in Poland, 1971–2000. International Journal of Climatology, 29(9), 1294–1311. https://doi.org/10.1002/joc.1777
- [4] Şen, Z. (2012). An innovative trend analysis methodology. ASCE J Hydrol Eng. 17(9):1042– 1046.
- [5] Şen, Z. (2014). Trend identification simulation and application. J Hydrol Eng. 19(3):635–642.
- [6] Öztopal, A. and Şen, Z. (2017). Innovative trend methodology applications to precipitation records in Turkey. Water Resour Manage. 31, 727–737.

## FLDAS Modeli Toprak Nemi İçeriği ile Alansal Yağış İlişkisinin 2022 Yılı Uzamsal Değerlendirilmesi: Türkiye Atlası

Sercan AKIL Meteoroloji Genel Müdürlüğü Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü Ankara sakil@mgm.gov.tr

Dr. Muhammed Cem AKCAPINAR Meteoroloji Genel Müdürlüğü Zirai Meteoroloji Şube Müdürlüğü Ankara makcapinar@mgm.gov.tr

#### ÖZET

Dünyanın karşı karşıya olduğu önemli sorunlardan birisi, hidrolojik döngü üzerinde olumsuz etkileri olacak olan iklim değişikliğidir. En önemli iklim değişikliği parametrelerinden olan toprak nem içeriği hidroloji kaynaklı çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Güvenilir yağış ve toprak nemi verileri, hidrojeolojik süreçlerin (akış, erozyon, sızma vb.) araştırılması için çok önemlidir. Teknolojinin ilerlemesi ve uzaktan algılama teknikleri sayesinde eksik gözlem veri seti tamamlanabilmektedir. Uydu verisi genel olarak yapılan çalışmalarda kullanılan etkin yöntemlerden birisidir ve yer gözlemleri ile korelasyonu çalışmaların uygulanabilirliği açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında, Türkiye yüzey alanını temsil eden 0.10 derece mekânsal çözünürlüğe sahip olan FLDAS modeli ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü alansal yağış verilerinden yararlanılmıştır. Çalışmanın güncel olması açısından 1 Ocak-31 Aralık 2022 dönemi seçilmiş ve bu dönemdeki model toprak nemi ile alansal yağışta aylık bazda gerçekleşen değişimler irdelenmiştir. Bu iki veri seti 20 km çözünürlüklü grid katmanıyla ayrı ayrı örtüştürülmüş ve her ay için uzamsal korelasyonlar hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, toprak nemi-yağış ilişkisinin tüm aylarda pozitif olduğunu ve yağışın toprak nemi üzerine olan etkilerinin aylara göre belirgin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Çalışmada ayrıca FLDAS modeli toprak nemi içeriğinin Türkiye'yi temsil etme kabiliyetinin kabul edilebilir düzeylerde olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler — Toprak nemi; FLDAS; hidroloji; kuraklık; Kriging

## 1. GİRİŞ

Dünyanın karşı karşıya olduğu önemli sorunlardan birisi, havzaların hidrolojik döngüsü üzerinde olumsuz etkileri olan iklim değişikliğidir. Söz konusu etkiler, dünya çapında aynı olmamakla birlikte, özellikle yağış dağılımlarında düzensizliklere neden olarak, *taşkın - sel* ya da *kuraklık* gibi afetlerin oluşmasına neden olmaktadır. Türkiye'de yaşanan afetler arasında sel olayları büyük bir paya sahiptir. Öyle ki, 2022 yılı içerisinde oluşan ekstrem olayların büyük çoğunluğunu %33.6'lık bir oranla şiddetli yağışların oluşturduğu kaydedilmiştir [1]. Sel olaylarının şiddet-süre-tekerrür açısından etkileri düzenli bir şekilde artmakla birlikte bunların ölçülmesi ve etkilerinin değerlendirilmesinde hidrolojik modeller yardımcı araçlardır [2,3,4]. Kuraklık ise Türkiye'nin gündemini her geçen gün daha fazla işgal eden, zincirleme bir etkiyle başta tarım olmak üzere hayatın her alanında görülen, ekonomik ve sosyolojik açıdan oldukça yıkıcı olabilen bir doğal afettir.

Toprak nemi tarımsal verim izleme, kuraklık, taşkın ve orman yangını tahmini, su temini yönetimi ve diğer doğal kaynak faaliyetlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Toprak nemi gözlemleri, diğer standart göstergeler tetiklenmeden önce yaklaşan kuraklık veya sel koşulları hakkında önceden uyarı verebilmektedir. Toprak nemi başta yağış ve sıcaklık olmak üzere iklim değişikliğinin ana itici güç olduğu birçok faktörden etkilenmektedir. Yağış, toprak nemi üzerine doğrudan, sıcaklık ise buharlaşmayı kontrol etmesiyle dolaylı olarak etkilidir. İklimsel faktörlere ek olarak arazi örtüleri toprak özelliklerini, buharlaşmayı ve dolayısıyla toprak nem değişimini etkileyebilmektedir [5].

Hidrolojik döngüde toprak nemi, arazi yüzey süreçlerini karakterize eden yağış ile akış arasındaki karmaşık ilişkiyi kontrol etmek ile birlikte hidrolojik modeller toprak nemini simüle etmek için kullanılan etkin yöntemdir ve yüzey akışını, nehir akışını tahmin etmek için kullanılmaktadır [6-7]. Hidrolojik modellerin simülasyon sonuçlarını iyileştirmek için toprak nemine ilişkin uzaktan algılama gözlemlerinin kullanabileceği uzun zamandır bilinmektedir. Birçok bölgede toprak nemine ilişkin çok az sayıda yerinde gözlem olmak ile birlikte, kullanılan ölçüm cihazlarının hassasiyeti ve genel olarak çalışma alanlarını kapsamamasından dolayı uzaktan algılanan toprak nemi ürünleri birçok uzamsal çözünürlükte toprak nemi tahminleri sağlamaktadır [8]. En yaygın kullanılan uzaktan algılama toprak nemi sistemleri sırasıyla; Toprak Nemi Aktif ve Pasif (SMAP), Toprak Nemi ve Okyanus Tuzluluğu (SMOS), Gelişmiş Saçınım Ölçer (ASCAT), Gelişmiş Mikrodalga

Taramalı Radyometre- Dünya Gözlem Sistemi (AMSR-E) ve Gelişmiş Mikrodalga Taramalı Radyometre (AMSR2) şeklindedir [9].

FLDAS veri seti verilerin az olduğu, gelişmekte olan ülke ortamlarında gıda güvenliği değerlendirmelerine yardımcı olmak üzere tasarlanmıştır. Toprak nemi içeriği, nem, buharlaşma, terleme, ortalama toprak sıcaklığı, toplam yağış oranı vb. dâhil olmak üzere iklimle ilgili birçok değişken hakkında bilgi içermektedir [10]. Birden fazla farklı FLDAS veri kümesi vardır; bu modelde, NASA'nın ölçeği küçültülmüş CHIRPS-6 saatlik yağışa sahip NOAH sürüm 3.6.1 yüzey modeli kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında toprak nemi içeriğinin uzaktan algılama yöntemlerinden yararlanılarak, FLDAS modeli aracılığı ile 2022 yılı için aylık ortalamalarının değerlendirilmesi, aynı çözünürlükteki alansal yağış veri seti ile karşılaştırılması ve böylelikle modelin hangi aylarda korelasyon olarak daha başarılı olduğunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

#### 2. MATERYAL ve METOT

#### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Çalışma Alanı

Türkiye, Batı Asya (Anadolu yarımadası) ile Güneydoğu Avrupa (Balkanlar) arasında (yaklaşık 36°-42° kuzey enlemleri ve 26°-45° doğu boylamları arasında) yer almakta olup, 783.602 km<sup>2</sup> araziyi kaplamaktadır. Türkiye'nin üç tarafı denizlerle çevrili olup, kuzey ve güney kıyılarında ani yükseklik değişimlerine maruz kalan dağ sıraları bulunmaktadır. Yağış miktarı iklim özelliklerine göre de değişmektedir. Ülkenin güney kesimleri subtropikal iklime benzer Akdeniz ikliminin, kuzey kesimler yıl boyunca yağışlı olan Karadeniz ikliminin etkisi altındadır. İç kısımlar ise çoğunlukla kuru olan kuru bozkır ikliminden etkilenmektedir. Kuzeydeki (kutup) soğuk hava kütleleri ve güneydeki (tropik) sıcak hava kütleleri mevsimsel olarak ülkeyi etkilemektedir (Şekil 1).



Şekil 1: Sayısal Yükseklik Haritası, Türkiye

## 2.1.2. FLDAS Modeli Toprak Nemi Verileri

FLDAS modeli arazi veri asimilasyon sistemidir. FLDAS'ın amacı kullanılan yüksek kaliteli arazi yüzey durumları ve akış alanları oluşturmak için gözlemsel veri kümelerini ve gelişmiş modelleme ve veri asimilasyon yöntemlerini kullanmaktadır (Şekil 2). FLDAS 0.1° uzamsal çözünürlükte aylık çıktılar üreten üç model sisteminden oluşmaktadır: FLDAS-Global, FLDAS-Central Asia ve FLDAS-Forecast [10] (Tablo 1). Çalışmada veri seti FLDAS modeli ile uygun grid bazında küçültülmüş (downscale) ve eşleştirilmiştir.

	Tablo 1: FLDAS	temel karakteri	istikleri (aylık ve	küresel veri seti)
--	----------------	-----------------	---------------------	--------------------

Veri Seti	Noah Yer Yüzeyi ve Meteoroloji Veri Seti
Format	NetCDF
Enlem Kapsamı	-60°- 90°
Boylam Kapsamı	-180° - 180°
Uzamsal Çözünürlük	-0.1 ° × 0.1 °
Zamansal Çözünürlük	Aylık
Boyut (Enlem × Boylam)	1500×3600



Şekil 2: FLDAS modeli çalışma prensibi

## 2.1.3. Alansal Yağış Verileri

Yağış ölçümleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen gözlem istasyonlarında noktasal olarak yapılmaktadır. Bir bölge için ortalama yağışın hesabı, o bölgeye düşen istasyonlara ait yağışların aritmetik ortalamasının alınmasıdır. Alanın bir bölümünde yağış farklılıklarına neden olabilecek düzensizlikler olduğunda veya yağış farklılıklarına neden olan sıcaklık farklılıklarının (konveksiyon) olduğu durumlarda aritmetik ortalama kullanılmamalıdır [11]. Ayrıca, bu yöntem bölgeyi homojen kabul etmekte ve çevredeki diğer istasyonlardan gelen yağış değerlerini dikkate almamaktadır. İstasyon sayısının yetersiz ve zamansal veri setinin eksik olduğu durumlara için alansal yağış hesaplama metotlarına ihtiyaç duyulmuştur. Meteorolojik veri bazı noktalarda ölçülmekte ve tüm alana ait tahmin haritası mekânsal enterpolasyon yöntemleri ile elde edilmektedir. Alansal yağış hesaplamalarında, uzun sürelerde yağış verisi bulunan 255 adet meteoroloji istasyonun yıllık toplam yağış verileri kullanılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3: Alansal yağış hesaplamalarında kullanılan meteoroloji istasyon dağılımı

## 2.2. Metot

## 2.2.1. Kriging Enterpolasyon Yöntemi

Bu çalışmada kullanılan alansal yağış haritaları (1 Ocak-31 Aralık 2022 dönemi), yer gözlemlerine dayanan aylık kümülatif yağış veri seti ile Kriging enterpolasyon yöntemi uygulanarak oluşturulmuştur. Kriging enterpolasyon yöntemi; bilinen yakın noktalardan gelen bilgileri kullanarak diğer noktalardaki verilerin optimal değerlerini tahmin eden bir enterpolasyon yöntemidir.

Kriging enterpolasyonu, örneklenmemiş noktaların uzaysal değişikliklerinin tarafsız tahmininin variogramın yapısal özellikleri kullanılarak en iyi şekilde gerçekleştirildiği bir tekniktir.

Kriging yöntemini diğer enterpolasyon yöntemlerinden ayıran en önemli özellik, tahmin edilen her nokta veya alan için, tahmin edilen değerin güven düzeyinin bir ölçüsü olan varyans değerinin hesaplanabilmesidir. Kriging tekniği, tahminin minimum varyansını ve standart sapmalarını hesaplamak ve diğer tekniklere göre daha tarafsız sonuçlar elde etmek için kullanılabilecek bir yöntemdir [12-13].

Normal kriging denklemi:

$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s)$$

(1)

Z = Tahmin edilecek öznitelik değeri

 $\mu$  = Sabit ortalama

 $\varepsilon = Mekânsal bağımlılıktan kaynaklanan hatalar$ 

Bilinmeyen noktaların tahminleri, ölçümlerden elde edilen Kriging ağırlıkları kullanılarak hesaplanabilir. Rasgele  $\varepsilon(s)$  işlemlerinin sabit olduğu varsayılarak tahmin, verilerin ağırlıklı toplamı olarak oluşturulur.

$$\boldsymbol{Z}(\boldsymbol{s}_0) = \sum \boldsymbol{\lambda} \boldsymbol{Z} \tag{2}$$

Zi = i noktasında ölçülmüş öznitelik değeri

 $\lambda i =$ i noktasında ölçülmüş öznitelik değeri için bilinmeyen ağırlık

 $s_0 = \text{tahmin noktası}$ 

#### 2.2.2. Uzamsal Korelasyon

FLDAS Modeli toprak nemi içeriği ile alansal yağış verileri arasındaki uzamsal ilişkiye aylık olarak, iki veri profili arasındaki doğrusal ilişkinin gücünü ölçen Pearson Korelasyonu ile bakılmıştır [14].

X ve Y olarak belirlenen iki değişken arasındaki ilişkinin gücünü işaret eden Pearson Korelasyonu (r) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{r} = \frac{\mathbf{n}(\Sigma \mathbf{x}\mathbf{y}) - (\Sigma \mathbf{x})(\Sigma \mathbf{y})}{\sqrt{[\mathbf{n} \Sigma \mathbf{x}^2 - (\Sigma \mathbf{x})^2][\mathbf{n} \Sigma \mathbf{y}^2 - (\Sigma \mathbf{y})^2]}}$$
(3)

Çalışmada her aya ait olan toprak nemi ve yağış haritaları ~20 km uzamsal çözünürlükle oluşturulan grid katmanıyla işleme alınmıştır (Şekil 4 ).



Şekil 4: 20 km çözünürlüklü grid katmanı

Elde edilen ilişkilerin kuvvet düzeyi için aşağıdaki sınıflandırmadan yararlanılmıştır [15]. Korelasyon aralıkları negatif düzeyde de aynı aralıklarda olduğu için mutlak değer olarak gösterim yapılmıştır (Tablo 2).

Korelasyon Kuveti	Korelasyon Aralığı
Çok Zayıf	/0.00 /- /0.19 /
Zayıf	/0.20 /- /0.39 /
Orta	/0.40 /- /0.59 /
Güçlü	/0.60 /- /0.79 /
Çok Güçlü	/0.80 /- /1.00 /

Tablo 2: Korelasyon kuvvet sınıflandırması

## 2.2.3. Normalin Yüzdesi İndeki (PNI)

Normalin Yüzdesi İndeksi (PNI), belirlenen zaman dilimi içindeki yağış miktarının, ortalamasına bölünmesiyle yüzdelik halinde elde edilmektedir. PNI hesaplanırken 12 ay ve daha az yağış periyotları da kullanılabilir [16]. PNI ile kuraklık değerlendirmesinde indeksin sürekli olarak eşik değerinin altında olduğu dönem '*kurak*', eşiğin altına ilk düşen değer '*kuraklığın başlangıc*ı', eşiğin

üzerine çıktığı değer ise '*kuraklığın sonu*' olarak iade edilmektedir. PNI için kuraklık şiddeti Şekil 5'deki kategorilere göre sınıflandırılmıştır. Aylık ve 3 aylık sınıflandırma kriteri aynıdır [17].

Period	3	6	9	12
Normal and Above (No risk)	>%75	>%80	>%83.5	>%85
Slight Drought (Start to monitoring)	%65-%75	% 70-% 80	<u>%73.5-%83.5</u>	%75-%85
Moderate Drought (Warning)	% 55-% 65	% 60-% 70	%63.5-%73.5	%65-%75
Severe Drought (Emergency)	<%55	<%60	<%63.5	<%65

Şekil 5: Normalin Yüzdesi İndeksine göre kuraklık şiddet sınıflandırması

## 3. BULGULAR

## 3.1. FLDAS Modeli Türkiye Geneli Toprak Nemi İçeriği

FLDAS modeli toprak nem içeriği 2022 yılı tüm aylar için haritalı olarak gösterilmiştir. Haritalarda toprak nemi içeriği (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) açıktan koyuya doğru gidildikçe artan miktarı temsil etmektedir. Her ay için alansal ortalama değer hesaplanarak alt kısımda gösterilmiştir. Haritada yer alan toprak nemi içeriği tablo 3'teki şekilde sınıflandırılmıştır [18].

Nem Durumu	Toprak Nemi İçeiği
Çok Nemli	>%30
Nemli	% 25 - 30
Orta	% 20 - 25
Kuru	% 15 - 20
Çok Kuru	<%15

Tablo 3. Toprak nemi içeriği sınıflandırması

Türkiye geneli ortalamalarına göre, en yüksek seviyede toprak nemi içeriğinin *çok nemli* (0.37 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) olarak Mart ayında, en düşük toprak nemi içeriğinin ise *kuru* (0.20 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) olarak Eylül ayında gerçekleştiği belirlenmiştir.



<sup>•</sup>  $sm_m$ : Aylara göre ortalama toprak nemi,  $m^3/m^3$ 

## 3.2. Türkiye Geneli Alansal Yağış Dağılımı

Türkiye için 2022 yılı alansal yağışların aylık dağılımları ve ortalama miktarları (mm) haritalı olarak gösterilmiştir. Haritalarda yağış miktarı dağılımları düşükten (açık mavi) yükseğe (mor) göre sınıflandırılarak sunulmuştur. Türkiye genelinde yağış dağılımlarında bölgesel farklılıklar dikkat

Şekil 6: FLDAS modeli toprak nem içeriği dağılımı, 2022 yılı Türkiye atlası



çekmekle birlikte, ortalama olarak en yüksek yağış miktarının (84.07 mm) Ocak, en düşük yağış miktarının (8.85 mm) ise Temmuz ayında gerçekleştiği belirlenmiştir (Şekil 7).

•  $\overline{P}m$  : Aylara göre alansal yağış ortalaması, mm

## 3.3. Türkiye için Normalin Yüzdesi İndeksine göre Kuraklık Değerlendirmesi

Normalin Yüzdesi İndeksine (PNI) göre, 2022 yılı için 1 aylık zaman ölçeğinde gerçekleştirilen kuraklık analizi haritalı olarak sunulmuştur. Yağışın dağılımında ve şiddetinde, iklim değişikliğinin de etkisiyle ortaya çıkan düzensizlikler, kuraklıkta da aynı etkinin görülmesine neden olmaktadır. Bu nedenle aylara göre farklı bölgelerde ve değişen şiddetlerde kuraklıkların yaşandığı anlaşılırken,

Şekil 7: Alansal yağış dağılımı, 2022 yılı Türkiye atlası

kuraklık açısından herhangi bir mevsimsellikten söz etmek de mümkün görünmemektedir. Kuraklığın en şiddetli görüldüğü aylar, Nisan ve Aralık ayları olarak göze çarparken, Ocak, Mart ve Haziran aylarında bölgesel değişikliklerle birlikte, genel olarak kuraklığın Türkiye genelinde daha düşük yayılımda olduğu değerlendirilmiştir. Alansal yağışların dağılımları ile kurak alanların dağılımları arasındaki benzerlik ise dikkat çekicidir (Şekil 8).



Şekil 8: Türkiye için Normalin Yüzdesi İndeksi (PNI) 2022 yılı 1 aylık kuraklık değerlendirmesi

Alansal yağışlar kuraklık açısından da ele alınmış olup, yağışların şiddetine göre dağılımları ile kuraklığın dağılımları arasında yakın ilişkiler dikkat çekmektedir. Aylara göre kuraklık-alansal yağış değerlendirmeleri şu şekildedir:

- Ocak ayında, Türkiye'nin güney ve kuzey kesimlerinde gerçekleşen yoğun yağışlar, kuraklık açısından bu bölgelerde normali ve üzerinde bir dağılıma neden olurken, Güneydoğu, Marmara, Ege ve Doğu Anadolu'da düşük miktarlarda gerçekleşen yağışlar, değişen şiddetlerde kuraklığın yaşanmasına neden olmuştur.
- *Şubat* ayında, Doğu ve Güney Doğu Anadolu'da daha düşük gerçekleşen yağışlar, bu bölgelerde değişen şiddette kuraklığın görülmesine neden olmuştur.
- *Mart* ayında, özellikle Ege ve Marmara Bölgesinde daha düşük miktarlarda gerçekleşen yağışlar neticesinde bu bölgelerde değişen şiddetlerde kuraklıkların yaşanmasına neden olmuştur.
- *Nisan* ayında, Türkiye'nin kuzey kıyı kesimlerinden güneye inildikçe azalan yağışlarda gerçekleşen azalmalar bu bölgelerde kuraklıkların yaşanmasına neden olmuştur.
- Mayıs ayında, Türkiye'nin doğu kesimlerinde yağışın batı kesimlerine nazaran daha düşük seyrettiği görülmektedir. Yağışın düşük gerçekleştiği bu bölgelerde değişen şiddetlerde kuraklıklar göze çarpmaktadır.
- *Haziran* ayında, Güneydoğu Anadolu ve batı kıyılarında daha düşük seyreden yağışlar, bu bölgelerde kuraklık olarak etkisini göstermiştir.
- *Temmuz* ayında, Marmara, İç Anadolu'nun batı ve kuzeyi ile Karadeniz kıyı kesimlerinde yağışların normali ve üzerinde seyretmiş, bu bölgelerin dışında kalan yerlerde kuraklıklar gerçekleşmiştir.
- *Ağustos* ayında, yağışlar Türkiye'nin orta ve doğu kesimlerinde düşük seyretmiş ve bu alanlarda değişen şiddetlerde kuraklıklar yaşanmıştır.
- *Eylül* ayında, Türkiye'nin orta, batı, güney ve güneydoğu kesimlerinde gerçekleşen düşük yağışlar bu bölgelerde kuraklık olarak etkisini göstermiştir.
- *Ekim* ayında batı, orta ve doğu kesimlerdeki düşük yağışlar etkisini bu bölgelerde kuraklık olarak göstermiştir.
- *Kasım* ayında, Güneydoğu Anadolu, Batı Karadeniz ve Ege'de yağışlar normali ve üzerinde seyretmiş, bu bölgeler hariç geri kalan kesimlerde değişen şiddetlerde kuraklıklar yaşanmıştır.
- *Aralık* ayında, Türkiye'nin kuzey ve Ege kıyıları normali ve üzerinde yağışlar alırken, geri kalan yerlerde kuraklıklar etkisini göstermiştir.

## 3.4. Alansal Yağışların Toprak Nemi Üzerine Etkileri

Çalışmanın temel konusunu oluşturan yağış-toprak nemi ilişkisi yukarıda bahsedildiği gibi uzamsal olarak ele alınmış ve her ay için belirlenen korelasyonlar aşağıda paylaşılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; tüm aylarda pozitif ilişkiler belirlenmiş olup, en yüksek düzeyde ilişkiler sırasıyla, Ekim (r=0.432), Ocak (r=0.431) ve Aralık (r=0.420) aylarında *orta*, en düşük düzeyde ilişkiler ise Haziran (r=0.036), Ağustos (r=0.074) ve Kasım (r=0.153) aylarında *zayıf* olarak gerçekleşmiştir (Şekil 9).



% 95 güven aralığı (P<0.05)</li>
 Şekil 9: Aylara göre toprak nemi içeriği-alansal yağış korelasyonu

## 4. TARTIŞMA ve SONUÇ

FLDAS modeli toprak nemi içeriği, alansal yağış ve kuraklık ekseninde Türkiye atlası olarak ele alınan çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Türkiye'de özellikle hububat üretiminin yoğun yapıldığı ve son yıllarda kuraklığın sıkça yaşandığı Orta Anadolu ile yağış miktarının en yüksek olduğu Doğu Karadeniz'de toprak neminin tüm aylarda genel olarak yüksek düzeyde seyrettiği gözlemlenmiştir. Bu durum meteorolojik kuraklık görülen bazı aylarda tarımsal olarak kuraklığın çok yüksek düzeyde yaşanmamış olabileceğinin bir işareti olarak değerlendirilebilir.
- Analiz ve değerlendirmeler alansal yağış dağılımlarının PNI ile belirlenen kuraklıklarla etkiledikleri alanlar açısından büyük oranda benzerlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Buradan yola çıkarak toprak nemi-alansal yağış ilişkisinin, toprak nemi-kuraklık (PNI ile belirlenmiş) arasında da benzer şekilde olabileceği anlaşılmaktadır.

- 2022 yılında Türkiye genelinde Ekim, Ocak ve Aralık aylarında gerçekleşen yağışların toprak nemi üzerine orta düzeyde (>0.40) etkili olduğu belirlenmiştir. Özelikle su yılının başlangıcı olan Ekim ayında gerçekleşen yağışların toprak nemine olan katkısı hububat ekimlerinin de bu ayda başlaması nedeniyle büyük önem arz etmektedir. Ekinlerin kuvvetli çimlenme ve çıkış yapmalarının bu dönemdeki toprak nemiyle büyük oranda ilişkili olduğu bilinmektedir. Bu nedenle toprak nemine etkili birçok faktör bulunmasına rağmen %40 üzerinde belirlenen etki düzeyi oldukça önem arz etmektedir. Ocak ve Aralık aylarında ise buharlaşmanın düşük olması nedeniyle toprakta depolanan su miktarındaki artış yağışın toprak nemi üzerindeki etkisinin daha net görülmesine (>0.40) neden olmaktadır.
- Toprak nemi içeriğinin bölgesel dağılımlarında farklılıklar olmakla birlikte, kış-ilkbahar döneminde, yaz-sonbahar dönemine göre daha yüksek düzeyde seyrettiği görülmektedir (Şekil 6). Türkiye geneli sıcaklıkların yüksek seyrettiği yaz-sonbahar döneminde yüzeyden gerçekleşen buharlaşma etkisiyle toprak neminde gerçekleşen düşüşlerin FLDAS modeliyle görülebildiği anlaşılmıştır. Buna göre; FLDAS modeli toprak nemi içeriğinin Türkiye'yi temsil etme kabiliyetinin kabul edilebilir düzeylerde olduğu ve çalışmalarda kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] **Meteoroloji Genel Müdürlüğü.** https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2022-iklim-raporu.pdf.
- [2] Ali, M. H., Popescu, I., Jonoski, A., Solomatine, D. P., Remote Sensed and/or Global Datasets for Distributed Hydrological Modelling: A Review. Remote Sensing, 15(6), 1642., 2023.
- [3] MacAlister, C., Subramanyam, N., Climate change and adaptive water management: Innovative solutions from the global South. Water Int. 2018, 43, 133–144.
- [4] Jehanzaib, M., Sattar, M.N., Investigating effect of climate change on drogu propagation from meteorological to hydrological drought using multi-model ensemble projections. Stoch. Environ. Res. Risk Assess. 2020, 34, 7–21.
- [5] Stéfanon, M., Drobinski, P., D'Andrea, F., Lebeaupin-Brossier, C., Bastin, S., Soil moisture-temperature feedbacks at meso-scale during summer heat waves over Western Europe. Clim. Dyn. 2014, 42, 1309–1324.

- [6] Li, Y., Cong, Z., Yang, D., Remotely Sensed Soil Moisture Assimilation in the Distributed Hydrological Model Based on the Error Subspace Transform Kalman Filter. *Remote Sens.* 2023, 15, 1852. https://doi.org/10.3390/rs15071852.
- [7] Merz, B., Plate, E.J., An Analysis of the Effects of Spatial Variability of Soil and Soil Moisture on Runoff. Water Resour. Res. 1997, 33, 2909–2922.
- [8] Ochsner, T.E., Cosh, M.H., Cuenca, R.H., Dorigo, W.A., Draper, C.S., Hagimoto, Y. Kerr, Y.H., Larson, K.M., Njoku, E.G., Small, E.E., et al., State of the Art in Large-Scale Soil Moisture Monitoring. Soil Sci. Soc. Am. J. 2013, 77, 1888–1919.
- [9] Burgin, M.S., Colliander, A., Njoku, E.G., Chan, S.K., Cabot, F., Kerr, Y.H., Bindlish, R., Jackson, T.J., Entekhabi, D., Yueh, S.H., A Comparative Study of the SMAP Passive Soil Moisture Product With Existing Satellite-Based Soil Moisture Products. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2017, 55, 2959–2971.
- [10] McNally, A., Jacob, J., Arsenault, K., Slinski, K., Sarmiento, D. P., Hoell, A., Pervez, S., Rowland, J., Budde, M., Kumar, S., Peters-Lidard, C., and Verdin, J. P., A Central Asia hydrologic monitoring dataset for food and water security applications in Afghanistan, Earth Syst. Sci. Data, 14, 3115–3135, https://doi.org/10.5194/essd-14-3115-2022, 2022.
- [11] Sırdaş, S., Şen, Z., "Meteorological drought modelling and application to Turkey," İTÜ Dergisi Seri D: Mühendislik, vol.2, no.2, pp.95-103, 2003.
- [12] İnal, C., Yiğit, C. Ö., Jeodezik Uygulamalarda Kriging Enterpolasyon Yönteminin Kullanabilirliği, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 24-25-26 Eylül 2003, Konya.
- [13] Yaprak, S., Arslan, E., Kriging Yöntemi ve Geoit Yüksekliklerinin Enterpolasyonu, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2008/1, 98, 36-42, 2008
- [14] Zhou, H., Deng, Z., Xia, Y., & Fu, M., A new sampling method in particle filter based on Pearson correlation coefficient. Neurocomputing, 216, 208-215., 2016.
- [15] Sehler, R., Li, J., Reager, J. T., & Ye, H., Investigating relationship between soil moisture and precipitation globally using remote sensing observations. Journal of Contemporary Water Research & Education, 168(1), 106-118., 2019.
- [16] Willeke, G., Hosking, J. R. M., Wallis, J. R., Guttman, N. B., The national drought atlas. Institute for water resources report, 1994.
- [17] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/kuraklikanalizi.aspx?d=yontemsinif#sfB, Son Koıntrol: 4 August 2022.

[18] Omar, H., Slope Stability Using Remote Sensing and Geographic Information System Along Karak Highway, Malaysia. Faculty of Geoinformation Science and Engineering of Universiti Teknologi Malaysia, 2010.

## Türkiye Üzerinde Radar Ve Yağış İstasyon Ağını Kullanarak İyileştirilmiş Yüksek Çözünürlüklü Radar Yağış Haritalarının Tahmini

#### M. Tuğrul Yılmaz

Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara tugrul.yilmaz@metu.edu.tr

Kaveh P. Yousefi Jülich Araştırma Merkezi, Jülich, Almanya kpatakchi@gmail.com

## Kurtuluş Öztürk

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü, Ankara kavepatakchiyousefi@gmail.com

İsmail Yücel Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara iyucel@metu.edu.tr

Koray K. Yılmaz Orta Doğu Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara yilmazk@metu.edu.tr

### ÖZET

Bu çalışma, Ülkemizde bulunan 17 meteoroloji radarından 2014'ten 2019'a kadar elde edilen saatlik yağış verileri ve 1153 yağmur ölçüm istasyonundan elde edilen istasyon gözlemleri kullanılarak radar tabanlı yağış tahminlerini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Araştırma, istasyon gözlemlerine bağlı düzeltmeler ve zamandan bağımsız yaklaşımlar dahil olmak üzere sekiz yanlılık düzeltme yöntemini araştırmaktadır. Temel amaç, bu yöntemlerin performansını geniş bölgeler ve uzun zaman serileri üzerinde değerlendirmek ve böylece Türkiye genelinde daha önce yapılan çalışmalardaki önemli bir boşluğu kapatmaktır. Sonuçlar, istasyon gözlemlerine bağlı düzeltme yöntemlerinin, orijinal radar verilerindeki hem ortalama hatayı hem de hata dağılımını etkili bir şekilde azalttığını göstermektedir. Zamandan bağımsız yöntemler ayrıca ortalama hatayı da azalmaktadır. Test edilen tüm yöntemler arasında, yerel eklenen yanlılık (LAB) yönteminin daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuç operasyonel radar verilerini araştırma amacıyla kullanmanın zorluklarına rağmen LAB yönteminin operasyonel uygulamalar için umut verici bir seçenek olduğunu göstermektedir. Bu araştırmayla elde edilen veriler ve sonuçlar, radar nicel yağış tahminleri ile birlikte hidrometeoroloji ve su kaynaklarına ilişkin hem Türkiye'de hem de yurt dışında yapılacak araştırmalara önemli değer katmaktadır.

Anahtar Kelimeler — radar yağış tahmini, yanlılık düzeltme yöntemleri, hidrometeoroloji

## 1. GİRİŞ

Yağış, meteoroloji ve hidrometeorolojinin çeşitli yönleri üzerinde derin bir etkiye sahip olan, Dünya'nın su ve enerji dinamiklerinin temel bir unsurudur. Doğru niceliksel yağış tahmini (QPE) bu alanda büyük önem taşıyan bir konudur [1]–[5]. Geleneksel olarak istasyon kaynaklı yağmur gözlemleri, yağmur ölçülmesi ve uzaktan algılama teknolojilerinden veya model tabanlı kaynaklardan elde edilen verilerin doğrulanması için güvenilir araçlar olmuştur [6], [7]. Bununla birlikte, yalnızca yağmur-ölçerlerden elde edilen verilere güvenmenin, özellikle yağışın mekânsal dağılımını doğru bir şekilde temsil etme söz konusu olduğunda sınırlamaları vardır [8].

Öte yandan meteorolojik hava durumu radarları QPE için gerçek zamanlı, yüksek çözünürlüklü bir alternatif sunuyor. Bununla birlikte, bu yaklaşımın, öncelikle veri dönüşümü için ampirik algoritmalara (örneğin, yansıtma-yağmur) bağlı olması ve hatalara yol açabilmesi nedeniyle bazı zorlukları da vardır [9]-[11]. Bu nedenle, yağış ölçümlerinin hem doğruluğunu hem de çözünürlüğünü arttırarak gelişmiş QPE elde etmek için radar ve yağmur ölçüm cihazlarından gelen verileri birleştirme konusunda zorlayıcı bir motivasyon vardır [8], [11], [12].

Son yıllarda, radar tabanlı QPE'nin iyileştirilmesinde umut vaat eden yanlılık düzeltme ve birleştirme yöntemlerinin geliştirilmesi ve uygulanmasında önemli ilerlemeler kaydedildi. Dünya çapında çeşitli ulusal hava durumu izleme merkezleri, yağış tahmin yeteneklerini geliştirmek için bu yöntemleri uygulamaya koymuştur [13]–[15]. Ancak bu çalışmaların çoğu nispeten sınırlı bölgelere ve kısa zaman serilerine odaklanmıştır. Operasyonel meteoroloji ve hidrometeorolojide, bu yöntemlerin daha geniş alanlarda, özellikle karmaşık topografya ve daha uzun zaman serisi veri kümeleriyle karakterize edilenlerde değerlendirilmesi ve karşılaştırılması zorunludur. Türkiye

bağlamında, önceki araştırmalar öncelikle tek radar istasyonlarına ve sınırlı sayıda yöntemin uygulanmasına ve değerlendirilmesine odaklanmıştır [1]–[6].

Araştırmamız söz konusu boşlukları, 1) 17 C-bant radarı ve 1100 yağmur ölçer istasyonundan elde edilen saatlik verileri kullanarak, 2014'ten 2019'a kadar Türkiye'deki sekiz yanlılık düzeltme yönteminin kapsamlı uzaysal-zamansal değerlendirmesi, 2) zamandan bağımsız yanlılık düzeltme yöntemlerinin araştırılması ve performanslarının istasyon gözlemlerine dayalı yöntemlerle karşılaştırılması, 3) hidrometeorolojik uygulamalar için Türkiye üzerinde geliştirilmiş radar ölçümlü yağış haritalarının oluşturulması için tek bir sapma düzeltme yönteminin seçilmesi ihtiyacının ele alınması konularını inceleyerek ele almıştır.

Bu çalışmada, radar ölçüm cihazı QPE'nin oluşturulmasına ve değerlendirilmesine nasıl katkıda bulunduğunu açıklayan yöntemlere ve sonuçlara kısa bir giriş yapacağız.

#### 2. VERİLER, ÇALIŞMA ALANI VE YÖNTEMLER

#### 2.1 Veriler, Çalışma Alanı

Toplam 17 C-bant Doppler radarından alınan RAIN1 saatlik birikmiş verileri ve 1742 Otomatik Hava Gözlem İstasyonundan (AWOS) ve 50 Üçlü-İstasyondan (TCS) elde edilen dakikalık ölçümleri kullandık. Aşırı belirsizlikleri ortadan kaldırmak için çalışmada AWOS ve RAIN1'i önceden işledik. Titiz bir kalite kontrolü uygulandıktan sonra 1153 AWOS istasyonu bu çalışmada kullanılmak üzere seçildi. Çeşitli radar istasyonlarından elde edilen RAIN1 radar verilerini ~ 1 km çözünürlüklü 120 km'lik görüntüler halinde kırptık, yeniden ölçeklendirdik ve aşırı ışın engellenmesi (%30'dan fazla) alanları filtreledik. Şekil 1'de çalışma alanı ve kullanılan yağmur ölçen istasyonların ve radarların konumları gösterilmektedir. Verilere ilişkin daha fazla bilgi için [7], [8] çalışmalarına başvurulabilir.



Şekil 1: Bu çalışmada kullanılan Türkiye'nin dijital yükseklik haritası (metre cinsinden yükseklik) ve yağmur ölçer ve radar verilerinin gösterimi

#### 2.2 Yöntemler

Bu çalışmada kullanılan yanlılık düzeltme yöntemlerinin bir özetini sunuyoruz. Yöntemler iki kategoriye ayrılır: istasyon düzeltmesi (zamana bağlı) ve zamandan bağımsız yanlılık düzeltmesi. İstasyon gözlemi tabanlı yanlılık düzeltme yöntemleri, noktasal gözlemlere dayalı gerçek zamanlı düzeltmeyi içerirken, zamandan bağımsız yöntemler, radar tahminleri ile gözlem verileri arasında uzun vadeli ilişkiler kurar. Tablo 1, ilgili adları, türleri, temel varsayımları ve uygulama için kullanılan denklemleri de içeren bu yöntemlere ilişkin genel bir bakış sunmaktadır. Bu sapma düzeltme yöntemlerinin kısa bir özetini Tablo 1 üzerinde bulunurken, yöntemlerin ayrıntıları ve kapsamlı açıklamaları [8] ve [7] çalışmalarında bulunabilir.

Sunulan denklemlerde t, s ve r alt indisleri zaman adımını, ölçüm istasyonu numarasını ve radar istasyon numarasını temsil etmektedir. x ve y hücre koordinatlarını belirtir. S mevsim numarasını belirtir. C, R, G, AF,  $\delta$ ,  $\varepsilon$ IDW sırasıyla düzeltme faktörünü, radar tahminini, istasyon gözlemini, değerlendirme faktörünü (radar-istasyon oranı), çarpımsal hatayı, toplamsal hatayı ve ters mesafe ağırlıklandırma fonksiyonunu belirtir. Her yöntemin adı ile birlikte verilen R, karşılık gelen yöntemle düzeltilmiş radar tahminini temsil eder. MLR ve ANN yöntemlerinde,  $D_{(x,y,r)}$ ,  $(HV_{min})_{(x,y,r)}$  and  $HG_{(x,y,r)}$  sırasıyla radar istasyonundan olan mesafeyi, minimum görünür yüksekliği ve ölçüm istasyonu yüksekliğini temsil eder. Bu zamandan bağımsız parametreler hakkında daha fazla bilgi için okuyucuya [2], [7], [9], [10]'dan başvurulabilir.

Yöntem İsmi	Çeşit	Varsayım	Denklemler
Ortalama Alan Sapması (MFB)		Radar alanında tek tip çarpımsal hata	$C_{MFB(t,r)} = \sum_{s=1}^{n} G_{(t,s,r)} / \sum_{s=1}^{n} R_{(t,s,r)} $ (1) $R_{MFB(t,x,y,r)} = C_{MFB(t,r)} \cdot R_{(t,x,y,r)} $ (2)
Yerel Çarpımsal Yanlılık (LMB)	İstasyon Düzeltme	Çarpımsal hatanın yerel değişimi	$C_{LMB(t,s,r)} = \frac{G_{(t,s,r)}}{R_{(t,s,r)}} (3)$ $C_{LMB(t,x,y,r)} = IDW (C_{LMB(t,s,r)}) (4)$ $R_{LMB(t,x,y,r)} = C_{LMB(t,x,y,r)} \cdot R_{(t,x,y,r)} (5)$
Yerel Toplamsal Yanlılık (LAB)		Local variation of additive error	$C_{LAB(t,s,r)} = G_{(t,s,r)} - R_{(t,s,r)} (6)$ $C_{LAB(t,x,y,r)} = IDW(C_{LAB(t,s,r)}) (7)$ $R_{LAB(t,x,y,r)} = C_{LAB(t,x,y,r)} + R_{(t,x,y,r)} (8)$
Yerel Karışık Yanlılık (LMIB)		Çarpımsal ve toplamsal hatanın birleşimi	$G_{(t,s,r)} - R_{(t,s,r)} = \delta_{(t,s,r)} \cdot R_{(t,s,r)} + \varepsilon_{(t,s,r)} (9)$ $R_{LMIB(t,x,y,r)} = (1 + \delta_{(t,x,y,r)}) \cdot R_{(t,x,y,r)} + \varepsilon_{(t,x,y,r)} (10)$
Çarpımsal Lineer Regresyon (MLR)		Radar hatası ile zamandan bağımsız üç parametre arasındaki doğrusal ilişki	$AF_{(S,x,y,r)} = a_0 + a_D \cdot log(D_{(x,y,r)}) + a_{HV} \cdot (HV_{min})_{(x,y,r)} + a_{HG} \cdot (HG_{(x,y,r)})  (11)$ $R_{MLR(t,x,y,r)} = R_{(t,x,y,r)} \cdot AF_{(S,x,y,r)}  (12)$
Kümülatif Dağılım Fonksyonu (CDF)	Zamanda n Bağımsız	Radar tahminlerinin CDF'ini istasyon gözlemlerinin CDF'i ile hizalayan	$R_{CDF(t,s,r)} = F_{G(t,s,r)}^{-1} (F_{R(t,s,r)}(R_{(t,s,r)})) $ (13) $C_{CDF,t,s,r} = R_{CDF(t,s,r)} / R_{(t,s,r)} $ (14) $C_{CDF(t,x,y,r)} = IDW(C_{CDF(t,s,r)}) $ (15) $R_{CDF(t,x,y,r)} = C_{CDF(t,x,y,r)} \cdot R_{(t,x,y,r)} $ (16)
Yapay Sinir Ağı (ANN)		Radar hatası ile zamandan bağımsız üç parametre arasındaki doğrusal olmayan ilişki	* MLR yöntemine benzer $R_{ANN(t,x,y,r)} = R_{(t,x,y,r)} \cdot AF_{(S,x,y,r)}  (17)$
Yansıtıcılık- Yağış (Z-R) Regresyon		yansıtma-yağış ilişkisi	$Z_r = a. R_g^{b}  (18)$ $log (Z_r) = log(a) + b. R_g  (19)$

 Tablo 1: Çalışmada kullanılan yanlılık düzeltme yöntemlerinin özeti.

#### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmamızda bahsi geçen yöntemlerin 2014-2019 yılları arasında detaylı bir karşılaştırmasını yaptık. Sonuçları değerlendirmek için aşağıdaki istatistiksel ölçümler kullanıldı: ortalama hata (ME), ortalama kare hatanın kökü (RMSE), hata standart sapması (ESD) ve pearson korelasyon katsayısı (COR). Aşağıda ME ve RMSE değerlerini karşılaştırarak yalnızca sonuçların önemli noktalarını gösteriyoruz. Düzeltme sonuçlarına ilişkin daha ayrıntılı bilgi için okuyucuya [7] başvurulur.

#### 3.1 Hataların Mekansal Dağılımı

Hataların Şekil 2'de gösterildiği gibi mekansal dağılımı, daha yüksek RMSE değerlerinin genellikle ilkbahar ve yaz aylarında, özellikle kıyı bölgelerinde gözlendiğini ortaya koymaktadır. RMSE'deki bu artış yağış büyüklüğünden etkilenmektedir. Özellikle yaz aylarında LAB düzeltmesinin daha iyi sonuçlar verdiği istasyon düzeltme yöntemleri genel olarak daha iyi performans sergiliyor. Karaman (KRM) radarında, özellikle kış ve sonbahar mevsimlerinde, verici sorunları gibi olası donanım arızalarından kaynaklanan daha büyük hatalar sorunu gözlemleniyor.

#### 3.2 Hatanın Zamansal Dağılımı

Şekil 3 ve 4'te gözlemlendiği gibi hataların zamansal değişimleri, radar tabanlı yağış tahminlerindeki mevsimsel dalgalanmaları vurgulamaktadır. Özellikle yaz aylarında konvektif olaylar, orijinal radar verilerinde en önemli eksik tahminlere yol açmaktadır. Bununla birlikte, yanlılık düzeltme yöntemlerinin, özellikle de LAB gibi istasyon düzeltme yaklaşımlarının uygulanması, bu eksik tahmin sorununu etkili bir şekilde dengeler. Şekil 3'te gösterilen ME değerleri bu düzeltme yöntemleriyle sıfıra yaklaşarak önemli bir iyileşme sunmaktadır. Ayrıca Şekil 4, yağış büyüklüğünden etkilenen RMSE'nin mevsimler arasında küçük farklılıklar gösterdiğini göstermektedir. Bu analiz, özellikle konvektif olayların olduğu dönemlerde radar tabanlı yağış tahminlerinin doğruluğunun arttırılmasında yanlılık düzeltme yöntemlerinin kritik rolünün altını çizmektedir.



Şekil 2. RMSE'nin uzay-zamansal değişimi.



Şekil 3. Ortalama hatanın zamansal değişimi (mm/saat). Kırmızı çizgi, her sezondaki istasyon gözlemlerinin ortalamasını temsil eder.



Şekil 4. Şekil 3 ile aynı, ancak ortalama karekök hata (mm/saat) için.

#### 4. ÖZET VE SONUÇ

Bu çalışma, radar yağış tahminleri için çeşitli yanlılık düzeltme yöntemlerini araştırdı ve sonuçta doğru radar tabanlı yağış verilerinin önemini vurguladı. Bu yöntemler arasında, LAB yönteminin öncülük ettiği istasyon düzeltme teknikleri, doğruluğun arttırılmasında etkinliğini sürekli olarak göstermiştir. Zamandan bağımsız yöntemler, özellikle regresyona dayalı Z-R eşleştirmesi de hataları en aza indirmede başarılı oldu.

Zamansal analiz, radarın özellikle konvektif olaylar nedeniyle yaz aylarındaki yağışları olduğundan düşük tahmin etme eğiliminde olduğunu ortaya çıkardı. Bununla birlikte, ölçüm ayarlama yöntemleri, özellikle LAB düzeltmesi, bu tür dönemlerde doğruluğu önemli ölçüde artırdı. Mekansal değişim açısından, düzeltilmemiş radar tahminleri yağış miktarını sürekli olarak olduğundan az tahmin ediyordu; istasyon düzeltme yöntemlerinin yaz aylarında özellikle etkili olduğu kanıtlandı.

İstasyon düzeltme ve zamandan bağımsız önyargı düzeltme yöntemleri arasındaki belirgin farklar vurgulandı. Zamandan bağımsız yöntemler hata dağılımını önemli ölçüde azaltmayabilir, ancak istasyon gözlemleri mevcut olmadığında sistematik hataları düzeltmede değerli olduklarını kanıtlarlar. İleriye baktığımızda, CNN'ler, LSTM'ler ve GAN'lar gibi gelişmiş sinir ağı mimarilerini keşfetmek, gelecekteki araştırmalar için gelişmiş yanlılık düzeltme süreçleri için potansiyel sunuyor.

Bu bulguların sonuçları meteoroloji ve hidroloji alanında doğru radar tabanlı yağış verilerinin önemli rolünün altını çiziyor. Bu iyileştirilmiş tahminler, hava durumu tahminlerini, taşkın izlemeyi ve su kaynakları yönetimini geliştirme potansiyeline sahiptir. Bu çalışmada üretilen veri setleri ve haritalar, gelecekteki hidroloji ve su kaynakları araştırmaları için değerli girdiler sunarak, daha bilinçli karar almaya ve hava durumuyla ilgili olaylara müdahale etme konusunda hazırlıklı olmaya katkıda bulunuyor.

#### KAYNAKLAR

- [1] K. Öztürk and A. Çubuk, "Meteoroloji Radarlarında Kullanılan Farklı Yağış Hesaplama Yöntemlerinin Tutarlılık Analizi," in *UZALMET*, 2015, pp. 260–270.
- [2] K. Öztürk and A. U. Yilmazer, "Improving the accuracy of the radar rainfall estimates using gage adjustment techniques: Case study for west Anatolia, Turkey," *Atmospheric Res.*, vol. 86, no. 2, pp. 139–148, 2007, doi: 10.1016/j.atmosres.2007.03.009.
- [3] K. Öztürk and M. Zeybek, "Meteoroloji Radarları Yağış Veri Kalitesinin Yükseltilmesi," in *UZALMET 2013*, 2013, pp. 160–176.

- [4] A. Ozkaya and Z. Akyurek, "Evaluating the use of bias-corrected radar rainfall data in three flood events in Samsun, Turkey," *Nat. Hazards*, no. 0123456789, 2019, doi: 10.1007/s11069-019-03723-z.
- [5] A. Hazer and N. Kara, "Meteoroloji Radar Ağında, Z R İlişkisindeki A ve B Katsayılarının Bulunması ve Bunların Radara Uygul anarak Sonuçların Yer Gözlemi yle Karşılaştırılması," Uzalmet, 2017, [Online]. Available: http://uzalmet.mgm.gov.tr/tammetin/21.pdf
- [6] A. Hazer and E. Afacan, "Achievements Of Reflectivity Rainfall Rate Conversion Coefficients For 8 Radars Of TSMS," *ERAD*, p. 28, 2016.
- [7] K. P. Yousefi, M. T. Yilmaz, K. Öztürk, I. Yucel, and K. K. Yilmaz, "Time-independent bias correction methods compared with gauge adjustment methods in improving radar-based precipitation estimates," *Hydrol. Sci. J.*, pp. 1–21, Sep. 2023, doi: 10.1080/02626667.2023.2248108.
- [8] K. P. Yousefi, "Estimation of Bias-Corrected High-Resolution Radar Precipitation Maps Using the Radar and Rain Gauge Network Over Turkey," *Middle East Tech. Univ.*, no. August, 2020, doi: 10.13140/RG.2.2.27502.64325.
- [9] M. Gabella and E. Amitai, "Radar rainfall estimates in an Alpine environment using different gage-adjustment techniques," *Phys. Chem. Earth Part B Hydrol. Oceans Atmosphere*, vol. 25, no. 10–12, pp. 927–931, 2000, doi: 10.1016/S1464-1909(00)00127-1.
- [10] M. Gabella, J. Joss, and G. Perona, "Optimizing quantitative precipitation estimates using a noncoherent and a coherent radar operating on the same area," *J. Geophys. Res. Atmospheres*, vol. 105, no. D2, pp. 2237–2245, 2000, doi: 10.1029/1999JD900420.

## Makine Öğrenmesi ile Bulut Ürünlerinin İncelenmesi

#### Yasin ER

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Telekomünikasyon Şube Müdürlüğü Ankara yasiner@mgm.gov.tr

#### Orhan GÖRGÜLÜ

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yazılım Geliştirme Şube Müdürlüğü Ankara ogorgulu@mgm.gov.tr

#### Yasin ESEN

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yazılım Geliştirme Şube Müdürlüğü Ankara yesen@mgm.gov.tr

### ÖZET

Yapay zekâ teknolojileri son yıllarda önemli bir gelişme katetmiştir. Makine öğrenmesi ile insan faktörünün ve insan kaynaklı hata oranlarının azaldığı göz ardı edilemez bir gerçek halini almıştır. Uzaktan algılama ürünlerindeki doğrusal olmayan değişiklik ve faktörler yapay zekânın bu alanda kullanılmasını kaçınılmaz hale getirmiştir. Özellikle uydu ürünlerinden elde edilen bulut ürünlerindeki çeşitlilik ve zorlukları aşmak üzere yapay zekâ kaynaklı çalışmalar hızla bu alanda yer almaya ve gelişmeye başlamıştır. Bu çalışmada yapay zekâ kullanarak bulut ürünlerinin tespiti ve sınıflandırılması üzerine çalışılmış ve insan faktörlü hataların en aza indirilmesi üzerine incelemeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler — uzaktan algılama, bulut ürünleri, makine öğrenmesi, yapay zekâ

### 1. GİRİŞ

Son yıllarda bulutları tespit etmek için çok sayıda teknik üzerinde çalışılmıştır. Bu teknikler eşik tabanlı ve sınıflandırma tabanlı yaklaşımlar olarak kategorize edilebilir. Eşik tabanlı tekniklerin amacı, çeşitli sensörlerin bulut yamaları arasında ayrım yapabilmesi için belirli kanalları kullanarak uygun parlaklık sıcaklığı veya spektral yansıma eşikleri oluşturmaktır. Resim tanıma, makine öğrenimi ve bilgisayarla görme alanlarındaki ilerlemeler, resim sınıflandırma alanında birçok kayda değer gelişmeye yol açmıştır [1]. Son yıllarda, daha doğru bulut tanımlama için eğitim sürecini geliştirmek amacıyla sınıflandırma tabanlı bulut algılama yaklaşımlarında ilerleme kaydedilmiştir. Bu yaklaşımlar, etiketlenmiş resimlerin geometrik, doku veya renk bilgilerinden yararlanılarak gerçekleştirilmektedir [2, 3]. On bantlı kombinasyon resimleri üretmek için Landsat 8 sensörünün görünür (VIS), yakın kızılötesi (NIR), kısa dalga kızılötesi (SWIR) ve termal kızılötesi (TIR) bantları kullanılmıştır. Çok ölçekli evrişimsel sinir ağı (MF-CNN), kombinasyon fotoğraflarının her bir pikselini temel araştırma birimi olarak kullanarak oluşturulmuştur.

Evrişimsel sinir ağları veya CNN'ler [4] segmentasyon, nesne tanımlama ve resim sınıflandırma için en uygun seçenektir. CNN'ler, uzmanların oluşturmasına veya seçmesine gerek kalmadan en önemli özellikleri kendi başlarına belirler. Mevcut tüm bulut sınıflandırma teknikleri, faydalarına rağmen, model eğitimi sırasında her pikseli ayrı ayrı ele almak ve ardından öğrenilen modeli kullanmak için aynı metodolojiyi kullanır. Görüntü segmentasyonu için benzersiz bir CNN mimarisi kullanılarak bir resim bütünsel olarak sınıflandırılır. Komşu pikseller üzerinde tekrarlanan eylemlerden kaçınıldığından, model oluşturma sırasında ve eğitilen modelin etkili bir şekilde değerlendirilmesi için uzaysal bilgileri kullanır. Ortamdaki bulutları kapsayan multispektral sabit yörüngeli uydu verileri CNN mimarisi kullanılarak elde edilir. Multispektral veriler, her biri güneşin günlük döngüsü, atmosferdeki sıcaklık değişiklikleri ve diğer faktörler nedeniyle sahneler arasında değişebilen benzersiz özelliklere sahip birkaç kanaldan oluştuğu için üzerinde çalışılması zordur.

Uydu sensörlerinin farklı spektral bantlarının uygulamaları, bulut özelliklerinin uzaktan algılanmasının ana odak noktası olmuştur [5]. Açık hava ile karşılaştırıldığında, uzaktan algılama uygulamalarında bulutlar genellikle daha soğuk ve daha yüksek yansıtıcılığa (reflektivite) sahiptir. Bu da atmosferin tepesinde (TOA) güneş radyasyonunun önemli ölçüde yansımasına neden olur [6]. Bulutların iklim sistemindeki öneminin belirlenmesi ve yüzey ve

aerosol özelliklerinin elde edilmesi, bulut örtüsü de dahil olmak üzere bulutların fiziksel ve ışınımsal (radyatif) özellikleri hakkında kesin bilgilere ihtiyaç duyar [7].

Ağustos 2002'de Meteosat İkinci Nesil (MSG) uydusu fırlatılmıştır. Önceki Meteosat radyometresi ile karşılaştırıldığında, MSG'nin Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI) görünür ve kızılötesi bantları büyük bir ilerlemeye sahiptir [8]. Yarım saatlik örnekleme sağlayan Meteosat radyometresi ile karşılaştırıldığında, MSG daha büyük bir zamansal örnekleme (on beş dakika) sunmaktadır. 3.9 μm kanalının yanı sıra, MSG'nin on iki spektral bandı hassas bulut örtüsü analizine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, atmosferin su buharı içeriği, kar örtüsü, deniz ve kara yüzeyi sıcaklıkları dahil olmak üzere bulutsuz konumlarda çeşitli ürünleri hesaplayabilir [8], [9].

Görünür/kızılötesi (VIS/IR) görüntüleme kullanarak bulutların tespiti ve sınıflandırılması için birkaç farklı yaklaşım ortaya konmuştur ve bunların çoğu, çok bantlı eşikleme modelleri [12], [13] veya tek tek piksellere uygulanan basit yoğunluk eşik analizi ve IHS eşik tekniği [14], [15] gibi çeşitli spektral kanallara [10], [11] uygulanan eşik testlerinin bir kombinasyonuna dayanmaktadır. Diğer modeller arasında histogram analizine dayalı dinamik bulut kümeleme [16], [17] veya uzamsal tutarlılık yaklaşımları [18] bulunmaktadır.

Çok fazla ilgi gören uzaktan algılama ile sahne sınıflandırması, görsel sahneleri yerleşim alanları, tarım arazileri, ormanlar vb. gibi uygun gruplara otomatik olarak sınıflandırmaya çalışır [19]. Maksimum doğruluğa ulaşma çabasıyla, sınıflandırma için derin öğrenme (DL) uygulaması şu anda büyüyen bir eğilimdir.

Şekil 1'de gösterildiği gibi, sınıflandırma uygulamaları pikselden nesne seviyesine doğru ilerlemektedir. İlgilenilen öğeye karşılık gelen piksel boyutu, ilk uzaktan algılama fotoğraflarının nispeten düşük uzamsal çözünürlüğünden kaynaklanmıştır [20]. Sonuç olarak, piksel düzeyinde kategorizasyon, uzaktan algılama sınıflandırması çalışmalarının temelini oluşturmuştur [20], [21]. Bunu takiben, uzamsal çözünürlükteki artış, çalışmayı nesne düzeyinde uzaktan algılama sınıflandırmasına yeniden odakladı ve piksel başına analizden daha iyi sınıflandırma sonuçları verdi [22]. On yıllar boyunca, bu yöntem uzaktan algılama sınıflandırması alanına hâkim olmuştur [23]. Ancak uzaktan algılama görüntülerinin sürekli genişlemesi, farklı nesne sınıflarının yakalanmasını kolaylaştırmaktadır, bu nedenle geleneksel piksel seviyesi ve nesne seviyesi yaklaşımları görüntülerin hassas bir şekilde sınıflandırılması

için yetersiz kalmaktadır. Bu durumda, uzaktan algılama ürünlerinin küresel içeriklerinden yararlanmak için sahne düzeyinde sınıflandırma gerekli hale gelmektedir [24].



Şekil 1. Piksel Seviyesinden Nesne Seviyesine Sınıflandırma Uygulamaları Süreci

Daha önce belirtilen düşük seviye ve orta seviye yaklaşımlardaki zayıflık, son yıllarda DL modelleri tarafından ele alınmıştır. Etkili özellik çıkarımı için ayırt edici özellikleri eğitmek amacıyla DL mimarileri, Üretken Çekişmeli Ağlar (Generative Adversarial Networks, GAN), Görüntü Dönüştürücüler (Vision Transformers, ViT) ve Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks, CNN) gibi çeşitli yöntemler kullanmaktadır [25], [26]. Artık Ağ (Residual Network, ResNet) [27], AlexNet [28], GoogleNet [29] gibi uzaktan algılama sahne sınıflandırması için CNN mimarileri sıklıkla kullanılmaktadır.

#### 2. MATERYALLER VE YÖNTEMLER

# 2.1.Çok Ölçekli Özellikler-Evrişimsel Sinir Ağı (Multiscale Features-Convolutional Neural Network, MF-CNN)

Landsat 8 uydu fotoğraflarından 107 alanı, bir eğitim setine (63 resim) ve bir test setine (44 resim) ayırmaya ihtiyaç vardır. Fotoğrafların birçoğunda bulutlu ve bulutsuz alanlar vardır. Küçük, orta ve büyük bulutlar bulut bölgelerini oluştururken; bunların altındaki yüzey bitki örtüsü, su, kar, kentsel ve tarımsal yapılardan oluşmaktadır.

Eğitim setinin 63 bant kombinasyonlu fotoğrafi 128x128 resim bloklarına bölünmüştür. Landsat 8 görüntüleri kullanılarak 1236 eğitim ve 806 test seti oluşturulmuştur. Önerilen tekniğin kullanışlılığı, karla kaplı yüzeyler ve binalar gibi bulutlarla kolayca karıştırılabilen net
pikseller içeren iki veri setinin, farklı bulut içeriklerine sahip ince ve kalın bulutlarla karşılaştırılmasıyla gösterilmiştir.





Boyutları 128 128 10 olan birleştirilmiş resim bloğu, özellik haritası modülündeki ilk katmandır ve giriş verisi olarak ele alınır. İki konvolüsyonel katman Conv\*2 ile gösterilmektedir.

Relu7 (16 x 16  $\times$  512) çıktı özellikleri çok ölçekli modülde giriş katmanı olarak kabul edilir. Kombinasyon fotoğraflarında kalın ve ince bulutların tipik çok ölçekli küresel özelliklerini elde etmek için çeşitli genişliklerde ortalama havuzlama filtresi kullanılır. Relu7 ile aynı yükseklik ve genişliğe sahip dört paralel özellik haritası oluşturmak için, her ortalama havuzlama katmanından sonra bilineer enterpolasyon (Bl# ile temsil edilir) ve konvolüsyonel katmanlar kullanılır.

Yukarı örnekleme modülü, yalnızca üst düzey bilgileri kullanan modele kıyasla kalın ve ince bulutların daha iyi tanımlama doğruluğunu elde etmek için üst düzey anlamsal ve alt düzey uzamsal bilgileri birlikte uygular. Çok ölçekli modülün Concat# katmanı Relu7 özellik katmanına ( $16 \times 16 \times 512$ ) bağlıdır. Yukarı örnekleme özellik haritası (Upsampling#) bilineer enterpolasyonun bir sonucu olarak iki kat büyüyecektir.

#### 2.2.Uzaktan Algılama Resim Sahnesi Sınıflandırması

Hassas CNN tabanlı uzaktan algılama sahne sınıflandırması için özellik çıkarma prosedürünü geliştirmek üzere çeşitli yöntemler araştırılmıştır. Bunlar iki gruba ayrılmıştır: Sıfırdan öğretilen CNN'ler ve ön eğitimli CNN'ler.

Önceden eğitilmiş CNN'leri eğitmek için genellikle büyük ölçekli önceden eğitilmiş veri kümeleri kullanılır, ancak bu veri kümeleri hedef veri kümesinin benzersiz özelliklerine göre kolayca özelleştirilemez. Önceden eğitilmiş CNN'ler karmaşıktır ve çok fazla uyumluluk gerektirir, bu da modifikasyonlarını zorlaştırır.



Şekil 3. Hava resmi veri kümesinin özellikleri önceden eğitilmiş bir CNN kullanılarak çıkarılmıştır. Yeni CNN, ImageNet veri kümesi üzerinde önceden eğitilmiş olan ağırlık parametrelerini kullanır.

Görme Dönüştürücüsü Tabanlı Sahne Sınıflandırma Yöntemleri (ViT) (Şekil 4) bir giriş resmini sabit boyutlu yamalara böler ve ardından her yamayı sürekli bir vektöre dönüştürmek için doğrusal gömme adı verilen bir teknik kullanır.

Uzaktan algılama sahne sınıflandırması, denetimli öğrenme teknikleri ile verimli bir şekilde gerçekleştirilir. Etiketlenmemiş veriler, ilgili bilgileri çıkarmak için GAN [30] tarafından kullanılabilir. Şekil 5, GAN'ın iki ana bileşeni olan üreteç ve ayrıştırıcı modellerini göstermektedir. Üreteç, gerçek gibi görünen sahte veriler üreterek ayırt ediciyi kandırır. Ayırıcı da gerçek verilerle eğitilir.



Şekil 5. GAN Mimarisi

#### 2.3.Bulut Segmentasyonu Evrişimsel Sinir Ağı (CS-CNN)

CS-CNN kullanılarak multispektral uzaktan algılama verilerinden yüksek kaliteli mekânsal sınıflandırmalar üretilebilir. Ayrıca, mekânsal bilgi eklemek için CS-CNN sadece orijinal verileri kullanır ve oluşturulmuş özelliklere ihtiyaç duymaz. CS-CNN'nin amacı, multispektral uzaktan algılama bilgilerinden bulut maskeleri çıkarmaktır. Mimari, multispektral uydu resimlerini tüketmeli ve her bir girdi sahne pikselinin belirli bir bulut sınıfına kategorize edildiği

bir segmentasyon üretmelidir. CS-CNN, bu görev için önceden oluşturulmuş bir mimari veya eğitilmiş bir model gerektirmez.

Number	Channel *	Spectral Domain	Central Wavelength	Solar (Reflectance)	Remarks
1	VIS0.6	VIS	0.6 µm	yes	visualized as Blue
2	VIS0.8	VIS	0.8 µm	yes	visualized as Green
3	NIR1.6	SWIR	1.6 µm	yes	visualized as Red
4	IR3.9	MIR	3.9 µm	daytime	
5	WV6.2	MIR	6.2 μm	no	Water vapor absorption
6	WV7.3	MIR	7.3 µm	no	Water vapor absorption
7	IR8.7	TIR	8.7 μm	no	
8	IR9.7	TIR	9.7 μm	no	Ozone absorption
9	IR10.8	TIR	10.8 µm	no	-
10	IR12.0	TIR	12.0 µm	no	
11	IR13.4	TIR	13.4 µm	no	

Tablo 1: MSG SEVIRI Kanalları

\* Official channel/band names for SEVIRI given by EUMETSAT.

MSG programının uyduları Atlantik, Avrupa ve Afrika'yı içeren bir yarımkürenin tam disk görüntülerini sunmaktadır. 0~N, 0~E'deki alt uydu noktasında (SSP), her tarama 3712 ~ 3712 piksel boyutunda ve 3km ~ 3km çözünürlükte bir raster görüntü verir. Zamansal çözünürlüğü 15 dakikadır, bu da gerekli tüm yerleşik işlemlerle birlikte tam bir taramanın süresidir. Tablo 1'e göre, on bir ana dalga boylarında SEVIRI kanalı vardır.

Geceleri kanallar karanlıktır ve herhangi bir bilgi sunmazlar. Gün boyunca, su yüzeyleri güneş ışığını yansıtarak parlama veya güneş ışığı görünümü yaratabilir. Kanal 4'ün parametreleri güneş radyasyonuna göre değişir. Gün boyunca, güneş ışınımı yansıması kızılötesi sinyalden daha belirgindir. Sınıflandırma teknikleri bu etkileri ele almak için sıklıkla her piksel için güneş zenit açısını içeren bir girdi rasterine ihtiyaç duyar (Şekil 6).



Şekil 6: SEVIRI Kanallarının Öngörünümü

Bir dizi aşağı örnekleme katmanının ardından ikinci bir yukarı örnekleme katman dizisinden oluşan neredeyse simetrik düzen, önceden oluşturulmuş görüntü segmentasyonu CNN mimarilerine benzer [31].



Şekil 7: CS-CNN Mimarisi

Ağ için girdi Şekil 7'nin sol tarafında gösterilmektedir. Seçilen çalışma alanının boyutu 508x508 piksel uzamsal kapsama alanı ile eşleştirilmiştir. Her sahnede seçilen kanalların sayısı girdinin derinliğini belirler. Giriş katmanının yanında, birkaç konvolüsyon katmanından oluşan bir dizi öğrenme bloğu yer almaktadır. Tablo 2'deki her bir blok üzerindeki etiketler (A-I), konvolüsyon katmanı blokları ve bunların nasıl bağlandıkları hakkında bilgi içerir. Şekil 7'nin sağ tarafında, her piksel için her sınıfın olasılıklarını döndüren hesaplanmış bulut sınıfları gösterilmektedir.

Tablo 2: Bulut Segmentasyonu Mimarisi

Block	Layer Type	Output Size	Skip Connection
input	input	$\{7, 8, 11\} \times 508 \times 508$	
Â	$3 \times 3$ conv, relu	$32 \times 506 \times 506$	
А	$3 \times 3$ conv, relu	32  imes 504  imes 504	Ι
А	$3 \times 3$ conv, stride 2	$32 \times 252 \times 252$	
В	$3 \times 3$ conv, relu	64  imes 250  imes 250	
В	$3 \times 3$ conv, relu	64 imes 248 imes 248	Н
В	$3 \times 3$ conv, stride 2	64 imes124 imes124	
С	$3 \times 3$ conv, relu	$128\times122\times122$	
С	$3 \times 3$ conv, relu	$128\times120\times120$	G
С	$3 \times 3$ conv, stride 2	128  imes 60  imes 60	
D	$3 \times 3$ conv, relu	256  imes 58  imes 58	
D	$3 \times 3$ conv, relu, dropout	$256 \times 56 \times 56$	F
D	$3 \times 3$ conv, stride 2	256  imes 28  imes 28	
E	$3 \times 3$ conv, relu	512  imes 26  imes 26	
E	$3 \times 3$ conv, relu, dropout	512 imes24 imes24	
E	$3 \times 3$ deconv, relu	256 imes 48 imes 48	
F	$3 \times 3$ conv, relu	256  imes 46  imes 46	
F	$3 \times 3$ conv, relu	256  imes 44  imes 44	
F	$3 \times 3$ deconv, relu	$128\times88\times88$	
G	$3 \times 3$ conv, relu	128  imes 86  imes 86	
G	$3 \times 3$ conv, relu	128  imes 84  imes 84	
G	$3 \times 3$ deconv, relu	64 imes168 imes168	
Н	$3 \times 3$ conv, relu	64 imes166 imes166	
Н	$3 \times 3$ conv, relu	64 imes164 imes164	
Η	$3 \times 3$ deconv, relu	$32\times328\times328$	
Ι	$3 \times 3$ conv, relu	$32 \times 326 \times 326$	
Ι	$3 \times 3$ conv, relu	32  imes 324  imes 324	
output	$3 \times 3$ deconv, relu	$5\times 324\times 324$	

CS-CNN'de her blok, aktivasyon fonksiyonları olarak düzeltilmiş doğrusal birimleri (ReLU'lar) kullanarak 3x3 pikselin konvolüsyonlarını gerçekleştiren iki katmandan oluşur. Dropout, D ve E Bloklarında aşırı öğrenme (Overfitting) önler. A-D Bloklarında, alt örnekleme son prosedürdür. Arazi yüksekliği, uydu görüş açısı ve manuel olarak oluşturulan jeo-istatistiksel doku özellikleri gibi yardımcı veriler RF (Random Forest) yaklaşımlarında sıklıkla kullanılmaktadır [32]. Bunlar hem jeo-istatistiksel doku özelliklerini hem de entegre kanalları (farklılıkları) içerir. SEVIRI verilerinin coğrafi yapısı bu jeo-istatistiksel özellikler tarafından gösterilmektedir.

CS-CNN (solda) ve RF (sağda) için bulut maskeleri Şekil 8'de gösterilmektedir. Kar/buz, bulutlu, az bulutlu ve bulutsuz olmak üzere dört sınıf grafiksel olarak gösterilmiştir. Modelin sınıfının olduğu piksellere yeni bir renklendirme uygulanmıştır.



Şekil 8: CS- CNN ve Rastgele Orman Sınıflandırması

Tablo 3 a, b RF'nin başarı oranının 0,885 ve CS-CNN'nin ise 0,905 olduğunu göstermektedir.

Table 3. Sahne İstatistikleri

Class	Accuracy	HSS	POD	FAR	POFD	Bias
Combined	0.942	0.905				
1: cloud-free	0.961	0.920	0.957	0.047	0.036	1.004
2: cloud-cont.	0.973	0.885	0.886	0.082	0.013	0.968
3: cloud-fill	0.950	0.898	0.946	0.060	0.047	1.006
4: snow/ice	0.999	0.824	0.788	0.124	0.0002	0.913

(a) CS-CNN Senaryosu

(b) RF Senaryosu

Class	Accuracy	HSS	POD	FAR	POFD	Bias
Combined	0.931	0.885				
1: cloud-free	0.937	0.865	0.928	0.083	0.062	1.012
2: cloud-cont.	0.984	0.934	0.928	0.039	0.006	0.967
3: cloud-fill	0.942	0.882	0.934	0.064	0.052	0.998
4: snow/ice	0.999	0.668	0.631	0.256	0.0004	0.888

Bulut sınıflandırma ve multispektral uzaktan algılama veri işleme iki alandır. Uzman bilgisi ve çaba söz konusu olduğunda, CS-CNN yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan rastgele orman

tekniğinden önemli ölçüde daha az zaman alır. CS-CNN'nin çıktıları çok daha sağlamdır, daha hızlı üretilir ve rastgele orman tekniğine kıyasla daha üstün doğruluk sergiler.

# 2.4.Çok Ölçekli Özellikler-Evrimsel Sinir Ağı (Multiscale Features-Convolutional Neural Network, MF-CNN)

MF-CNN modeli, yüksek seviyeli anlamsal bilgileri düşük seviyeli uzamsal bilgilerle birleştirerek hem kalın hem de ince farklı bulut türlerinin çok ölçekli küresel özelliklerini öğrenebilir. Test adımında, kombinasyon fotoğrafları eğitilmiş model kullanılarak ince bulut, kalın bulut veya bulut olmayan bölgeler olarak sınıflandırılır. MF-CNN modelinin etkinliğini değerlendirmek için çoklu ölçeklere sahip düşük seviyeli uzamsal bilgiler yerine çoklu ölçek modülü geleneksel evrişimsel katmanla değiştirilmiştir. MF-CNN tabanlı yapı, çok ölçekli özellik bilgisinden yoksun olduğu için kendinden kontrastlı bir model olarak bilinmektedir. Ek olarak, [33]'te açıklanan FCNN modeli, görüntü özelliklerini birkaç konvolüsyonel ve havuzlama katmanı aracılığıyla elde etmektedir. Daha sonra, farklı özellik katmanları doğrudan orijinal giriş görüntüsüyle aynı boyutta yukarı örneklenir ve birleştirilmiş özellikler sonuçta bir softmax sınıflandırıcı kullanarak kar ve bulutları ayırt etmek için uygulanır.



Şekil 9: NIR, Kırmızı, Yeşil Bantlı Orijinal Kombinasyon Görüntüsü Ve MF-CNN Yönteminin Bulut Algılama Sonucu



Şekil 10: Test Veri Setinde Bulut Algılama Doğruluğunun Dağılımı MF-CNN Yönteminin Self-Contrast Model İle Karşılaştırılması.

Tablo 4: 1	MF-CNN	Yönteminin	Tüm	Bulutlar	İçin	Algılama	Performansı
					,	0	

RR	ER	FAR	RER
0.9340	0.0385	0.0693	24.22

Tablo 5: MF-CNN Yönteminin Kalın ve İnce Bulutlar İçin Algılama Performansı. precision\_c, recall\_c ve f\_score\_c sütunları kalın bulutları tanımlarken precision\_t, recall\_t ve f\_score\_t sütunları ince bulutları tanımlamaktadır.

precision_c	recall_c	F_Score_c	precision_t	recall_t	F_Score_t
0.9074	0.8946	0.8920	0.7813	0.7693	0.7753

MF-CNN modeli, Landsat 8 uydu görüntüleri için yüksek doğrulukta kalın bulut tanıma elde etmekte ve piksel düzeyinde ince bulut tespitini önemli ölçüde iyileştirmektedir. Tüm bulut algılama çalışmasıyla ilgili olarak, MF-CNN yöntemi ER'yi yönetirken yüksek RR'yi garanti eder ve aşırı algılama sorunundan uzak durur.

#### 2.5.Çok Katmanlı Algılayıcı (Multilayer Perceptron, MLP) Sinir Ağları Modeli

Piksel düzeyinde sınıflandırmalar için en uygun yapının Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) olduğu belirlenmiştir [34]. MLP modeli, ileri beslemeli yapay sinir ağları kullanan bir sınıflandırıcıdır. Bir MLP'de, sonucu doğrudan sağlayan çıkış katmanı hariç, tüm algılayıcılar ileri doğru bağlanır. Bir sonraki katmandaki her algılayıcı diğer tüm algılayıcılara bağlanır.

Gün ışığında bulut tanımlama için 0,6 ve 0,8 µm'de görünür bantlarda, 1,6 µm'de yakın kızılötesinde, 3,9 µm'de kızılötesinde, 6,2 µm'de su buharı kanallarında ve 10,8 µm'de kızılötesinde ek bilgiler bulunmuştur [35]. IR 3.9 µm kanalı ile alçak bulutları tespit etmek için çok önemli olmasının yanı sıra, görünür kanallar gün boyunca aerosol saçılması (pus, duman, toz, polen vb.) için de gereklidir [36], [37]. İki görünür kanaldaki (0,6 ve 0,8 µm) bulutlar karşılaştırılabilir, ancak kara yüzeyleri 0,8 µm'de daha parlak görünürken deniz yüzeyi 0,6 µm'de daha güçlü bir yansımaya sahiptir [36]. Bu nedenle, bulut ve yüzey hedefleri arasında güçlü bir kontrast sağlamak için iki görünür kanal, 0.6 ve 0.8 µm, seçilmiştir.

NIR kanalı (1.6 µm) kar, buz ve su bulutu arasında ayrım yapmak için kullanılmıştır. İnce bulutların sıcaklığı su buharı kanalı (6,2 µm) kullanılarak ölçülmüştür [36]. 10.8 µm kızılötesi kanalı, deniz ve karanın yüzey ve bulut tepe sıcaklıklarının belirlenmesinin yanı sıra volkanik kül ve sirrus bulutlarının tanımlanması için de çok önemlidir [38].

EUMETSAT bulut maskesi (CLM) bulguları ile karşılaştırıldığında görsel inceleme üzerine, makine öğrenimi sınıflandırıcısı bir dizi koşulda önemli tespit sonuçları üretir (Şekil 11). Komisyon (yanlış sınıfa işlenen örnekler) ve ihmal (doğru sınıftan çıkarılan örnekler) hataları ortalaması için sırasıyla %1,68, %3,88 ve %11,04 standart sapma ile MLP NN'ler tarafından kategorize edilen tüm test veri setinin doğruluğu %88,96'dır. Komisyon ve ihmal hataları ortalaması için sırasıyla %2,47, %7,27 ve %13,90 standart sapma ile MPEF CLM için hesaplanan ortalama doğruluk %86,10'dur.



Şekil 11. Meteosat İkinci Nesil SEVIRI Görüntülerinin Meteosat İkinci Nesil SEVIRI Görüntülerinin RGB Kombinasyonu, MLP NN, EUMETSAT Bulut Haritası

Tablo 6. Farklı modeller için Farklı modeller için doğrulukların minimum, maksimum ve ortalama değerleri (% olarak).

Model	Mean	Min	Max	St.Dev	MeanComm	MeanOmm
MLP NN	88.96	85	91.8	1.68	3.88	11.04
MPEF	86.10	82	89.2	2.47	7.27	13.90
CLM						

#### 3. SONUÇLAR

Uydu fotoğraflarındaki sahneleri sınıflandırmak için derin öğrenme tekniklerinin uygulanması, geleneksel yöntemlerin dezavantajlarına değinilmesi ve derin öğrenme mimarilerinin geliştirilmesinin vurgulanması ele alınmıştır.

MF-CNN yaklaşımı, mevcut tekniklerin eksiklikleri için olası bir çare olarak sunulmaktadır. Çalışma, uzaktan algılama fotoğraflarında bulut tanımanın hassasiyetini ve güvenilirliğini artırmaya yönelik bir stratejinin ana hatlarını çizerek bulut tanımlama alanına katkıda bulunmaktadır.

Bulut tespiti, özellikle karla kaplı alanlarda, ışınımsal transfer simülasyonları ile güçlendirilmiş bir sinir ağı sınıflandırıcısına dayanan bulut maskesi algoritması, geleneksel tekniklerden daha iyi performans gösteren eşiksiz bir çözüm sunmaktadır. Uyarlanabilirliği ile, çeşitli sensörlerle kullanılabilir, bu da onu uydu uzaktan algılama için önemli bir araç haline getirir. Multispektral uydu verilerini doğru ve etkili bir şekilde kullanarak bulutları sınıflandırmak için potansiyel bir yöntem CS-CNN yaklaşımıdır.

SEVIRI MSG resimleri için makine öğrenimi metodolojisi, yardımcı verilere ihtiyaç duymadan otomatik, sağlam, hızlı ve doğru bir sınıflandırma yöntemi sağlar. Büyük veri kümelerinde bulut tanıma söz konusu olduğunda, model MPEF bulut maskesinden daha iyi performans göstermekte ve uygulanabilir bir alternatif sunmaktadır. Alternatif yapay sinir ağı topolojilerini ve eğitim tekniklerini değerlendirmenin yanı sıra eğitim ve test setlerinin genişliğini ve çeşitliliğini artırmanın daha da büyük faydalar sağlayabileceği anlaşılmaktadır. Makine öğrenimi tekniklerinin MSG SEVIRI görüntülerindeki bulutları tanımlamak için kullanılabileceği ve ek verilerin az olduğu durumlarda bile önemli derecede doğru sonuç ürettiği görülmektedir.

#### KAYNAKLAR

[1] L. Tracewski, L. Bastin, and C. C. Fonte, "Repurposing a deep learning network to filter and classify volunteered photographs for land cover and land use characterization," *Geo*- *spatial Information Science*, vol. 20, no. 3. Taylor & amp; Francis Group, pp. 252–268, Jul. 01, 2017. doi: 10.1080/10095020.2017.1373955.

- R. Zhang, D. Sun, S. Li, and Y. Yu, "A stepwise cloud shadow detection approach combining geometry determination and SVM classification for MODIS data," *Int J Remote Sens*, vol. 34, no. 1, pp. 211–226, Jan. 2013, doi: 10.1080/01431161.2012.712231.
- [3] Q. Zhang and C. Xiao, "Cloud Detection of RGB Color Aerial Photographs by Progressive Refinement Scheme," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 52, no. 11. IEEE, USA, pp. 7264–7275, Nov. 01, 2014. doi: 10.1109/TGRS.2014.2310240.
- [4] I. Sutskever, A. Krizhevsky, and G. E. Hinton, "ImageNet classification with deep convolutional neural networks," *Communications of the ACM*, vol. 60. Association for Computing Machinery (ACM), pp. 84–90, May 24, 2017. [Online]. Available: https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=c85eab3b-b763-3d3d-9069a929e243ff67
- Y.-S. Choi, C.-H. Ho, M.-H. Ahn, and Y.-M. Kim, "Remote Sensing of Cloud Properties from the Communication, Ocean and Meteorological Satellite (COMS) Imagery."
   [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/239847339
- [6] A. Ahmad and S. Quegan, "Cloud Masking for Remotely Sensed Data Using Spectral and Principal Components Analysis," *Engineering, Technology & Complete Science Research*, vol. 2, no. 3. D. G. Pylarinos, pp. 221–225, Jun. 01, 2012. [Online]. Available: https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=0933e7bb-d7c8-3f0d-bc6ae1e741ce49d4
- [7] S. Bley and H. Deneke, "A threshold-based cloud mask for the high-resolution visible channel of Meteosat Second Generation SEVIRI," *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 6, no. 10. Copernicus Publications, pp. 2713–2723, Oct. 01, 2013. doi: 10.5194/amt-6-2713-2013.
- [8] J. Schmetz et al., "AN INTRODUCTION TO METEOSAT SECOND GENERATION (MSG)," Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 83, no. 7. pp. 977–992, Jul. 01, 2002. [Online]. Available: https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=d1a3e65e-de7f-3875-9b73-72a9ea838da1

- [9] R. A. Roebeling and E. van Meijgaard, "Evaluation of the Daylight Cycle of Model-Predicted Cloud Amount and Condensed Water Path over Europe with Observations from MSG SEVIRI," *Journal of Climate*, vol. 22, no. 7. pp. 1749–1766, Apr. 01, 2009.
   [Online]. Available: https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=903aa51f-be84-3daf-a4c5-8395c335998e
- [10] D. W. Reynolds and T. H. V. Haar, "A Bispectral Method for Cloud Parameter Determination," *Monthly Weather Review*, vol. 105. American Meteorological Society, pp. 446–457, Apr. 01, 1977. [Online]. Available: https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=204e8f14-77ec-326b-94b3ce437764de43
- [11] A. Feijt, P. de Valk, and S. van der Veen, "Cloud Detection Using Meteosat Imagery and Numerical Weather Prediction Model Data," *Journal of Applied Meteorology (1988-2005)*, vol. 39, no. 7. pp. 1017–1030, Jul. 01, 2000. [Online]. Available: https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=5a7c3d33-076e-3141-a6ab-05beb12e4b43
- [12] R. W. Saunders and K. T. Kriebel, "An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data," *Int J Remote Sens*, vol. 9, no. 1, pp. 123–150, 1988, doi: 10.1080/01431168808954841.
- M. Derrien *et al.*, "Automatic cloud detection applied to NOAA-11 /AVHRR imagery," *Remote Sens Environ*, vol. 46, no. 3, pp. 246–267, 1993, doi: https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90046-Z.
- [14] G. D. Sullivan, D. J. Griggs, and G. B. Davis, "Automatic Estimation of Cloud Amount Using Computer Vision," *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 9. American Meteorological Society, pp. 81–85, Feb. 01, 1992. [Online]. Available: https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=64cce12c-e66d-38e3-be23bbc082f8cbf1
- [15] G. Roy, S. Hayman, and W. Julian, "Sky analysis from CCD images: cloud cover.," Lighting Research & Comp. Technology, vol. 33, no. 4, pp. 211–222, Dec. 2001, doi: 10.1177/136578280103300402.
- [16] M. Desbois, G. Seze, and G. Szejwach, "Automatic Classification of Clouds on METEOSAT Imagery: Application to High-Level Clouds," *Journal of Applied Meteorology (1962-1982)*, vol. 21, no. 3. pp. 401–412, Mar. 01, 1982. [Online]. Available: https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=e2d22b8b-883e-3f4a-8360-5e0a94d10285

- [17] G. Seze and M. Desbois, "Cloud Cover Analysis from Satellite Imagery Using Spatial and Temporal Characteristics of the Data," *Journal of Climate and Applied Meteorology*, vol. 26, no. 2. pp. 287–303, Feb. 01, 1987. [Online]. Available: https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=87cd6a89-e8f8-3ff4-b3ce-f7b576126fc9
- [18] J. A. Coakley Jr and F. P. Bretherton, "Cloud cover from high-resolution scanner data -Detecting and allowing for partially filled fields of view." NASA Center for Aerospace Information (CASI), United States, Jun. 20, 1982. [Online]. Available: https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=7234bf85-3a84-3a45-83a3-24895a012977
- [19] Y. Li, Z. Zhu, J. Yu, and Y. Zhang, "Learning Deep Cross-Modal Embedding Networks for Zero-Shot Remote Sensing Image Scene Classification," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 59, no. 12. IEEE, USA, pp. 10590–10603, Dec. 01, 2021. doi: 10.1109/TGRS.2020.3047447.
- [20] L. L. F. Janssen and H. Middelkoop, "Knowledge-based crop classification of a Landsat Thematic Mapper image," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 13. Informa UK Limited, pp. 2827–2837, Oct. 01, 1992. [Online]. Available: https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=acddad5b-f7f2-3887-83c2-5db96b1d9161
- [21] D. Tuia, F. Ratle, F. Pacifici, M. F. Kanevski, and W. J. Emery, "Active Learning Methods for Remote Sensing Image Classification," *IEEE Transactions on Geoscience* and Remote Sensing, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 47, no. 7. IEEE, USA, pp. 2218–2232, Jul. 01, 2009. doi: 10.1109/TGRS.2008.2010404.
- [22] D. P. Mukherjee and S. T. Acton, "Cloud Tracking by Scale Space Classification," 2002.
- [23] T. Blaschke, "Object based image analysis for remote sensing," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 65, no. 1, pp. 2–16, Jan. 2010, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004.
- [24] G. Cheng, X. Xie, J. Han, L. Guo, and G. Xia, "Remote Sensing Image Scene Classification Meets Deep Learning: Challenges, Methods, Benchmarks, and Opportunities," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing,*

IEEE Journal of, IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Observations Remote Sensing, vol. 13. IEEE, USA, pp. 3735–3756, Jan. 01, 2020. doi: 10.1109/JSTARS.2020.3005403.

- [25] M. Jogin, Mohana, M. S. Madhulika, G. D. Divya, R. K. Meghana, and S. Apoorva, "Feature Extraction using Convolution Neural Networks (CNN) and Deep Learning," 2018 3rd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & amp; Communication Technology (RTEICT), Recent Trends in Electronics, Information & amp; Communication Technology (RTEICT), 2018 3rd IEEE International Conference on. IEEE, pp. 2319–2323, May 01, 2018. doi: 10.1109/RTEICT42901.2018.9012507.
- [26] G. Scarpa, M. Gargiulo, A. Mazza, and R. Gaetano, "A CNN-based fusion method for feature extraction from sentinel data," *Remote Sens (Basel)*, vol. 10, no. 2, Feb. 2018, doi: 10.3390/rs10020236.
- [27] M. Wang, X. Zhang, X. Niu, F. Wang, and X. Zhang, "Scene Classification of High-Resolution Remotely Sensed Image Based on ResNet," *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, vol. 3, no. 2, Dec. 2019, doi: 10.1007/s41651-019-0039-9.
- [28] F. Hu, G.-S. Xia, J. Hu, and L. Zhang, "Transferring Deep Convolutional Neural Networks for the Scene Classification of High-Resolution Remote Sensing Imagery," *Remote Sensing*, vol. 7, no. 11. MDPI AG, pp. 14680–14707, Nov. 01, 2015. doi: 10.3390/rs71114680.
- [29] Q. Wang, W. Huang, Z. Xiong, and X. Li, "Looking Closer at the Scene: Multiscale Representation Learning for Remote Sensing Image Scene Classification," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, Neural Networks and Learning Systems, IEEE Transactions on, IEEE Trans. Neural Netw. Learning Syst.*, vol. 33, no. 4. IEEE, pp. 1414–1428, Apr. 01, 2022. doi: 10.1109/TNNLS.2020.3042276.
- [30] M. Mirza and S. Osindero, "Conditional Generative Adversarial Nets." Nov. 06, 2014.
  [Online]. Available: https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=c610c28f-835e-3452-a11c-08692a206d06
- [31] H. Noh, S. Hong, and B. Han, "Learning Deconvolution Network for Semantic Segmentation." May 17, 2015. [Online]. Available: https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=a98a5761-986a-3e1b-9079-157cbd03a9c3
- [32] S. Egli, B. Thies, and J. Bendix, "A hybrid approach for fog retrieval based on a combination of satellite and ground truth data," *Remote Sens (Basel)*, vol. 10, no. 4, Apr. 2018, doi: 10.3390/rs10040628.

- [33] Y. Zhan, J. Wang, J. Shi, G. Cheng, L. Yao, and W. Sun, "Distinguishing Cloud and Snow in Satellite Images via Deep Convolutional Network," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, IEEE Geosci. Remote Sensing Lett.*, vol. 14, no. 10. IEEE, USA, pp. 1785–1789, Oct. 01, 2017. doi: 10.1109/LGRS.2017.2735801.
- [34] Christopher M. Bishop, "Neural Networks for Pattern Recognition," *Clarendon Press*, 1995.
- [35] M. Derrien and H. le Gléau, "Improvement of cloud detection near sunrise and sunset by temporal-differencing and region-growing techniques with real-time SEVIRI," *Int J Remote Sens*, vol. 31, no. 7, pp. 1765–1780, Jan. 2010, doi: 10.1080/01431160902926632.
- [36] Y. S. Bennouna, L. Curier, J. Piazzola, G. de Leeuw, R. Roebeling, and P. de Valk, "An automated day-time cloud detection technique applied to MSG-SEVIRI data over Western Europe," *Int J Remote Sens*, vol. 31, no. 23, pp. 6073–6093, Jan. 2010, doi: 10.1080/01431160903376399.
- [37] M. Derrien and H. Le Gléau, "MSG/SEVIRI cloud mask and type from SAFNWC," Int J Remote Sens, vol. 26, no. 21, pp. 4707–4732, Nov. 2005, doi: 10.1080/01431160500166128.
- [38] A. J. Prata, "Observations of volcanic ash clouds in the 10-12 μm window using AVHRR/2 data," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 10. Informa UK Limited, pp. 751–761, Apr. 01, 1989. [Online]. Available: https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=5d07892b-9bcf-3e96-8007-69a0ac95e0c8

# Sivas İli Altınyayla İlçesinde Meydana Gelen Ceviz Büyüklüğünde Dolu Hadisesinin İncelenmesi

#### **Denizhan EROL**

Meteoroloji 7. Bölge Müdürlüğü Kayseri derol@mgm.gov.tr

Yasin YEŞİL Meteoroloji 7. Bölge Müdürlüğü Kapadokya Meydan Meteoroloji Müdürlüğü Nevşehir yyesil@mgm.gov.tr

#### ÖZET

Bu çalışmamızda Sivas ili ve çevresinde özellikle Altınyayla İlçesinde 02/09/2023 tarihinde meydana gelen kuvvetli yağış ve dolu hadisesi olayını inceledik. Çalışmada kuvvetli yağış ve dolu öncesi ECWMF ve WRF tabanlı SHT Ürünleri (Yer Kartı, Yüksek Seviye Kartları, Yağış Ürünleri, Kararsızlık Tahminleri, Şimşek Yoğunluğu) ile güncel meteorolojik haritalar incelendi. Olay gününe ait Radar, Uydu ürünleri ve Temp Diyagramları (Skew-T LogP) incelenmiş olup o güne dair çekilen meteorolojik uyarı ve olayın sonucunda oluşan etkiler ile basına yansıyan haberler yer almaktadır. Burada Sayısal Hava Tahmin modellerinin ve kısa vadeli hava tahmini (nowcasting) amaçlı kullanılan uzaktan algılama sistemi (uydu, radar) verilerinin ne derece önem arz ettiği vurgulanmak istenmiş olup gerçekleşen hadisenin oluşu ve etkileri saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler — Dolu, Kuvvetli yağış

#### 1 GİRİŞ

Dolu, yukarı seviyedeki soğuk havanın etkisi ile donan ve buz taneleri halinde yağan yarı saydam veya saydam olmayan çapı 5 mm den büyük yağmur damlalarına denir. Dolu, içerisinde çok güçlü dikey alçalıcı ve yükselici hava hareketlerinin olduğu Cumulonimbus (Cb) bulutundan düşer, kısa

sürede sağanak şeklinde yağar ve fazla su bırakır. Soğuk hava kütlesinin, sıcak havanın yerini almaya çalıştığı anda, genellikle sağanak hattı boyunca meydana gelir. Atmosferin sıcaklığı ve Cb bulutunun gelişmesine bağlı olarak bazı bölgelerde oldukça etkilidir. Dolunun yeryüzünde görüldüğü yerlerle Cb bulutunun dağılışı arasında yakın ilgi vardır. Kutuplar soğuk olduğundan Cb bulutu ve dolu oluşmaz. Fazla sıcak ve soğuk bölgelerde dolu yağmaz. Orta enlemlerin kış mevsiminde de durum böyledir. Havanın ılık olduğu bahar ve yaz aylarında doluya sıkça rastlanır. Ayrıca serin tropikal bölgelerde de dolu görülür. Bilhassa ilkbahar ve yazın ilk aylarında meydana gelen şiddetli oraj ve fırtınalarla beraber dolu görülür. Dolayısıyla hava sıcaklığının, çok düşük olduğu durumlarda dolu, çok az veya zayıf olarak meydana gelir. Ülkemizde havanın nemli ve alttan sıcak üstten serin olduğu bahar ve yaz mevsimlerinde dolu sıkça yağar. Dolu oluşumu ile ilgili görsel aşağıda verilmiştir.



Şekil 1: Dolu Oluşumu görüntüsü.

Dolu boyutu	Ölçüm		Yukarı Çekilme Hızı		
j	nç.	Cm	mil/saat		
bb	< 1/4	< 0,64	< 24	< 39	
bezelye	1/4	0,64	24	39	
mermer	1/2	1.3	35	56	
on sent	7/10	1.8	38	61	
kuruş	3/4	1.9	40	64	
nikel	7/8	2.2	46	74	
çeyrek	1	2.5	49	79	
Yarım dolar	1 1/4	3.2	54	87	
ceviz	1 1/2	3.8	60	97	
Golf topu	1 3/4	4.4	64	103	
tavuk yumurtası	2	5.1	69	111	
Tenis topu	2 1/2	6.4	77	124	
beyzbol	2 3/4	7.0	81	130	
Çay bardağı	3	7.6	84	135	
greyfurt	4	10.1	98	158	
softbol	4 1/2	11.4	103	166	

Şekil 2 : Dolu oluşumunda bulut içi kriterler

Aşağıda sıralanan faktörlerin dolu meydana gelme ihtimalini ya da dolu çapını arttırdığı belirtilmektedir.

#### **2. ETKENLER**

**Rakım:** Yüksek rakımlı yerler atmosferin soğuk olan üst kısımlarına daha yakındır. Bu nedenle, düşerken donma seviyesinin üstündeki çevre sıcaklıklarında çok çabuk erimeye başlayan dolu tanesi daha az mesafe kat eder ve daha az erimeye maruz kalır. Alçak yerlerde ise dolu tanesi daha çok erimeye maruz kaldığı için çok küçük çapta veya tamamen eriyerek yağmur damlası olarak düşer.

**Donma Seviyesi:** Donma seviyesinin yüksek olması, dolu tanesinin düşerken daha çok erimeye maruz kalmasına neden olur. Ayrıca bu seviyenin yüksekliği dolu oluşumunu ve tanenin büyümesini de olumsuz etkiler. Donma seviyesi yüksekliğe, mevsime ve atmosferin sıcaklık profiline bağlıdır. Yüksek rakımlı yerler daha düşük donma seviyesine sahiptir. Alçak rakımlı yerler için şu kural

izlenebilir: eğer donma seviyesi 650 milibara yerden daha yakınsa kuvvetli orajlar ve dolu oluşumu için daha uygun durum mevcuttur.

**CAPE** (**Potansiyel konvektif enerji**) : Bir noktadaki yükselmeye müsait havanın konvektif olarak içerebileceği potansiyel enerji miktarıdır. Özellikle dolu çapının belirlenmesinde önemli bir faktördür. Yüksek CAPE değerleri, kuvvetli kararsızlığının göstergesidir ve oluşabilecek bulut hücresinin oraj yapabilme potansiyelini artırır. Dikey hareketlerinin kuvvetli olması ile doğrudan ilişkilidir ki bu durum dolu tanesinin askıda kalmasının ve daha çok buz katmanının eklenmesine neden olur.

**Rüzgâr Sheari:** Kuvvetli yüksek seviye rüzgârları ve rüzgâr sheari gelişmekte olan fırtına bulutuna eğim kazandırır. Bu eğim hava parselinin yükselme hızını arttırarak kuvvetli hava olaylarının oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Böylece kuvvetli üst seviye rüzgâr ve sheari mevcudiyetinde CAPE değerinin ve dolu çapının daha büyük olması beklenir.

Sonuç olarak; yüksek rakım, donma seviyesinin düşüklüğü, orta seviyede kuru hava, yüksek CAPE ve kuvvetli rüzgâr sheari dolu ihtimalini ve dolu büyüklüğünü arttırmaktadır. Tersine düşük rakım, yüksek donma seviyesi, nemli orta seviye, düşük CAPE ve zayıf rüzgâr sheari dolu ihtimalini ve çapını azaltan faktörlerdir.

#### **3. ÖRNEK OLAYLAR**

02 Eylül 2023 Sivas ili Altınyayla ilçesinde öğle saatlerinden sonra Sivas çevrelerinde dolu hadisesi yaşanmıştır. Olay saatine ait reflektivite değerlerini gösteren radar görüntüsü Şekil 3'de verilmiştir. Yüksek reflektivite değerleri doluyu diğer meteorolojik parametrelerden ayıran temel özelliklerindendir. Dolunun 55 dBZ ve üstü reflektivite değerlerinde görülmesi beklenir. 15:00-18:00 GMT de Sivas çevrelerinde bulunan kütle 60 üzeri dbz değere kadar ulaşmıştır.



Şekil 3: Reflektivite görüntüsü

Olay saatine ait uydu görüntüleri aşağıda (Şekil 4-5-6) verilmiştir. Sivas'ın güneybatı kesimlerinde konvektif bulutluluk net olarak görülmektedir. Bu bulutların tepeleri çok yüksek ve soğuk olduğu için daha sıcak renklerde (sarı-turuncu-kırmızı) gözükür. Aynı zamanda bu fırtınanın çekirdeğini dolayısı ile fırtınanın en aktif ve tehlikeli bölümünü gösterir.



Şekil 4: Kanal9 görüntüsü(IRCOL)



Şekil 5: Uydu görüntüsü(Eview)



Şekil 6: Uydu görüntüsü(Bulut Fiziği)

Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi (YTTS) de şimşek ve yıldırım verileri ile oraj hücrelerinin takibinde tahmincilere fikir vermektedir. Şekil 'de şimşek ve yıldırım aktivitelerinin olduğu noktalar net olarak görülmektedir. Buna göre kuvvetli orajın Sivas çevrelerinde etkili olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 7: YTTS görüntüsü

3.1 Basında yer alan haberler:



Şekil 8: Basında yer alan fotoğraf



Şekil 9: Basında yer alan fotoğraf



Şekil 10: Basında yer alan fotoğraf



Şekil 11: Basında yer alan fotoğraf

#### 4.SONUÇLAR

Dolu gibi çok hızlı gelişen hadiselerin takip edilmesi ve uyarı verilebilmesi için başta radar olmak üzere uzaktan algılama ürünlerinin en iyi şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Radar ürünlerinde 55 dBZ ve üstü reflektivite ve uydu görüntüleri dolu tespitinde tahmincilere önemli ipuçları vermektedir. Uydu verilerinden elde edilen bulut tepe sıcaklık ve yüksekliği, tropopozu aşma durumu gibi faktörlerde dolu oluşumunda etkilidir. Ayrıca YTTS de oluşan şimşek ve yıldırımın, hücrelerin belirlenmesinde tahmincilere yarar sağlayacağı görünmektedir.

#### KAYNAKLAR

[1] http://www.mgm.gov.tr

[2] https://meteoroloji.boun.edu.tr/dolu.php

[3] http://sht.mgm.gov.tr/sht/

[4] http://uzal.mgm.gov.tr/radar.aspx

[5] https://ytts.mgm.gov.tr/linetview/pages/index.html

[6] http://uzal.mgm.gov.tr/arsiv-uydu.aspx

[7] http://Hürriyet.com.tr

#### [8]https://www.noaa.gov/jetstream/hail

# Türkiye'deki Yıldırım Ve Şimşeklerin Akım Düzeyleri Ve Sayıları Hakkında İnceleme

Yusuf Salih EROĞLU Elektronik Gözlem Sistemleri Şb. Md. Ankara yeroglu@mgm.gov.tr

> Salih ÇAKIL Kalibrasyon Şb. Md. Ankara scakil@mgm.gov.tr

#### ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye'de ilk kez 2014 yılında çalıştırılmaya başlanan Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi incelenmiştir. Ülkede konvektif hareketli hava olayları daha çok bahar ve yaz aylarında gerçekleşmektedir. Bu tip hava oluşumları kısa sürede çok miktarlı yağmur ile beraber dolu oluştururken aynı zamanda yıldırım ve şimşek oluşumu için de ortam hazırlar. Can ve mal kaybına sebebiyet verebilen bu meteorolojik hadisenin izlenmesi, tespit ve olabildiğince erken tahmin edilmesi YTTS'nin ana işlevidir. Bu dayanak ile ülke genelinde gerçekleşen yıldırım ve şimşek hadiselerinin zamansal ve mekânsal analizi yapılmıştır. YTTS'nin Nisan 2015 ile Kasım 2023 ayları arasındaki 9 yıllık dönemde ülke geneline dağılmış 41 noktada tespit etmiş olduğu yıldırım ve şimşek verileri incelenmiştir. Sistem sayesinde 10 dakika aralıkla bilgiler edilmektedir. Bu verilerin yer ölçüm istasyonları ve diğer uzaktan algılama yöntemleriyle entegrasyonu yapılması gerekliliği görülmüştür. Çalışma 9 (Dokuz) yıllık verilerin işliğinde yıllık, aylık ve ülke ortalamalarının hesaplandığı ilk çalışmadır.

#### 1. GİRİŞ

Yıldırım ve şimşek hadisesinin meteorolojik olarak elektronik algılayıcılarla tespit ve kaydedilmesi oldukça yeni bir konudur. Uzun yıllar rasatçı vasıtasıyla gözlemlenerek temel eğitim ve tecrübenin bir çıktısı olarak oraj (thunderstorm) hadisesi tespit edilmiştir. Orajın bir parçası olan yıldırım ve şimşek hadisesi ise var olup olmadığı baz alınarak işlenmiştir. Dolayısıyla sayıları, türleri, yönleri,

kuvvetleri kayıt altına alınmamıştır.

T.C Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 2014 yılında Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi (YTTS) projesinin kurulumu tamamlandı. YTTS, yıldırım ve şimşek olaylarının belirlenmesi, izlenmesi ve kısa vadeli hava tahmini için, gerçek zamanlı ve yüksek çözünürlüklü meteorolojik bilgi sağlayan uzaktan algılama sistemidir.



Şekil 1: Şimşek ve Yıldırım Fotoğrafları

Şimşek: İki bulut veya bir bulut içindeki elektrik boşalması olayı şimşek olarak adlandırılmaktadır. Eğer elektrik boşalması olayı bir bulut tabanı ve yer arasında gerçekleşmiş ise Yıldırım olarak tanımlanır. Bunun yanı sıra Türk Dil kurumu sözlüğüne göre bir bulutun tabanı ile yer arasında, iki bulut arasında veya bir bulut içinde elektrik boşalırken oluşan kırık çizgi biçimindeki geçici ışık oluşmasına şimşek adı verilmektedir. Dolaysıyla şimşek kelime olarak yıldırım kelimesini kapsamaktadır.

Yine Türk Dil Kurumu sözlüğüne göre yıldırım; Gök gürültüsü ve şimşekle görülen, hava ile yer arasındaki elektrik boşalması olarak tanımlanmıştır

### 2- YTTS SİSTEMİNİN TANITIMI

Uzaktan algılama sistemi ile yıldırım ve şimşek hakkında ölçüm sonucu elde edilen bilgiler;

- Yıldırım veya şimşek olması
- Yük durumu (Pozitif veya negatif)
- Akımın kutbu
- Akımın maksimum değeri
- Olayın gerçekleştiği koordinat bilgileri (Enlem Boylam ve yükseklik)
- Zaman bilgisi



Şekil 2: Türkiye YTTS ağı.

Türkiye geneline yayılmış 40 adet ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde kurulu 1 adet olmak üzere toplam 41 adet algılayıcıdan ibarettir. Minumum 4 KA şiddetinde yıldırım veya şimşek bilgilerini %90 doğrulukla yakalayabilmek için minumum istasyon sayısı seçilmiştir.

Sistemimizin genel özellikleri;

- Yıldırımın (buluttan yere veya yerden buluta olan elektriksel aktivitesinin) 300 m doğrulukla yerini, akım şiddetini ve akım yönünü,
- Şimşeğin (buluttan buluta, bulut içerisinde oluşan elektriksel aktivitesinin) yerini, yerden yüksekliği ile akım şiddetini ve akımın yönünü,
- Yıldırım ve şimşeğin oluşturduğu elektriksel hücrenin (kuvvetli hava olayının) harita üzerinde gösterimi, 10'ar dakikalık periyotlarla 60 dakikalık tahmini hareket yönü ve hızını,

- Alarm alanları tanımlama ve ilgililerin cep telefonu veya e-posta adreslerine uyarılar gönderilmesi,
- YTTS verilerinin, uydu ve radar görüntüleri ile Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu verileriyle aynı ekranda bütünleşik görüntüyle sunulması,
- Yıldırım hücresinin (bulutunun) oluşturabileceği yağış miktarının tahminini dolayısıyla oluşabilecek ani kuvvetli yağışlar için uyarılar düzenlenebilmesini,
- En son aşamada kazanılan deneyimlerle, dolu yağışı oluşabilecek alanların belirlenmesinin sağlanabilmesi ve kayıtların tutulmasını,
- Can ve mal kaybına neden olan yıldırım olayını, belirlenen bir alana önceden erken uyarı yapılmasıyla, kritik tesislerin uyarılması ve gerekli önlemlerin önceden alınması,
- Havacılık sektöründe uçuş güzergâhları için yıldırım ve şimşek alanlarının bildirilerek hava trafiğinin güvenli olarak yapılmasının sağlanması,
- Hava alanlarında ve uçuş bölgelerinde, uçakların kalkış ve inişlerinde önem taşıyan elektriksel hava olaylarının alan ve zaman olarak tespit edilmesiyle güvenli iniş-kalkış yapılabilmesi,
- Sigorta şirketlerine daha doğru ve güvenilir bilgiler sunulması
- Meteoroloji radarlarının görüş alanın dışında kalan bölgeler için yıldırım ve şimşek kaynaklı tahmini yağış miktarı verisi sağlanması, gibi yararlı hizmetler sunulmaktadır.

#### 2.1 Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi Bölümleri

#### 2.1.1. Yıldırım Tespit İstasyonları (YTİ)

. Yıldırım Tespit İstasyonları dış ünite ve iç ünite olmak üzere iki kısımdan oluşur (Şekil 2, Şekil 3)



Şekil 3: Bir YTTS anteni: a) Açıklamalı şekil; b) Sahada kurulu istasyon



Şekil 4: YTTS iç ünite

# 2.1.2. Merkezi İşlem Ünitesi (MİÜ)

(*a*)

Sahalarda kurulu bulunan Yıldırım Tespit İstasyonlarından gelen yıldırım ve şimşek verilerini depolar, hesaplamalar yapar ve son kullanıcılara yıldırım verilerini sunar.

### 2.1.3. İşleme ve Görüntüleme Yazılımı (İGY)

Birçok kullanıcının aynı anda bağlanabileceği web ara yüzü olup Yıldırım Tespit ve Takip

Sistemi ile ilgili verilerin görüntülendiği bir platformdur.



Şekil 5: YTTS sistemi içerisinde haberleşme

# 3- 2015-2023 YILLARI ARASINDAKİ YTTS VERİLERİ

İlk defa kendi sistemlerimizin verileri ile yapılan bu çalışmada, Türkiye'de YTTS ile 2013 2023 tarihleri arasındaki 10 yıllık kaydedilen yıldırım ve şimşek verileri derlenmiştir. Sistemin kurulma ve test aşamasındaki veriler dikkate alınmadığından dolayı yıl sayısı 9 yıla düşürülmüştür. 2015 ve Ekim 2023 Yılına kadar olan verileri göre analiz yapılmıştır.



Şekil 6: Türkiye için yıldırım verilerinin incelendiği bölge

		YILDIRIM					Yıldırım ve Şimşek		
<b>V</b> .I	Bulutdan yere	Bulutdan yere		Yerden Buluta		Şiilişek		Toplamı	
ΥΠ	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	
2015	49250044	1712660	59989671	2721266	7529768	542025	116769484	4975951	
2016	16460034	672641	26506796	1310848	7468962	530689	50435792	2514178	
2017	13874520	643950	26466837	1380159	7674781	601851	48016139	2625960	
2018	16809852	925317	36795979	2108530	11392994	1002729	64998824	4036576	
2019	11948258	645222	27223627	1507552	1904921	158039	41076805	2310813	
2020	9516891	504131	21989214	1213721	1212537	95707	32718642	1813559	
2021	10050944	565757	22368715	1239762	1626425	142317	34046084	1947836	
2022	9885005	577502	21603009	1252741	1954424	179328	33442439	2009571	
2023	10503093	564738	22622678	1268315	1679940	156676	34805711	1989729	
Genel Toplam	148298642	6811918	265566526	14002894	42444752	3409361	456309920	24224173	

Tablo 1: 2015 - 2023 Yıllırı arası Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri

Şekil-7 de Belirtilen harita sınırları arasında Nisan -2015 ile Kasım 2023 Tarihleri arasında gerçekleşen toplam yıldırım ve şimşek hadiselerinin toplam sayısı 24.224.173 olarak ölçülmüştür. 9 Yıllık alınan verilere görü yıllık ortalamasını aldığımızda. Türkiye'de gerçekleşen yıllık ortalama yıldırım ve şimşek hadiselerinin sayısı **2.691.575** olarak hesaplanmıştır. Aritmetik ortalamaya göre her dakikada 5 yıldırım veya şimşek hadisesi olma olasılığı olduğu görülmüştür.



Şekil 7: 2015-2023 Yıllırı arası Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri grafiği

Bu verilere göre 9 yıllık süre içerisinde ortalamanın üstünde olan yıllar 2015 ve 2018 yılı olarak ölçülmüştür. En az olayın gerçekleşme yılı olarak ise 2020 olarak ölçülmüştür.

Şekil-7 de Belirtilen harita sınırları arasında Nisan -2015 ile Kasım 2023 Tarihleri arasında gerçekleşen toplam yıldırım ve şimşek hadiselerinin toplam sayısı 24.224.173 olarak ölçülmüştür. 9 Yıllık alınan verilere görü yıllık ortalamasını aldığımızda. Türkiye'de gerçekleşen yıllık ortalama yıldırım ve şimşek hadiselerinin güç olarak aritmetik ortalamaları 16 KA olarak hesaplanmıştır.

Şekil-7 de Belirtilen harita sınırları arasında Nisan -2015 ile Kasım 2023 Tarihleri arasında gerçekleşen toplam yıldırım ve şimşek hadiselerinde maksimum değer olarak 467 KA olarak en büyük değer görülmüştür.

#### 4- 2015 YILI YILDIRIM VE ŞİMŞEK VERİLERİ

		YILDIRIM					Yıldırım ve Şimşek		
2015	Bulutdan yere		Yerden Bu	Yerden Buluta		Şinişek		Toplamı	
2015	Genlik	Adet	Genlik	Adet	Genlik	Adet	Genlik	Adet	
	ropiami		Topiami		Topiami		Topiami		
Oca									
Şub		Sis	tem Denem	ie Çalışmal	arı devam	etmekted	ir.		
Mar									
Nis	1181396	37058	1497037	60119	179707	9655	2858140	106832	
May	6221461	234655	8019995	387576	1048423	77108	15289880	699339	
Haz	11093889	441139	14794919	738334	1901462	145335	27790270	1324808	
Tem	3911383	125077	4000473	175258	464871	29969	8376727	330304	
Ağu	8386497	328837	9720114	500628	1459102	123251	19565713	952716	
Eyl	6307723	233800	9431547	401465	1231017	88344	16970288	723609	
Eki	6376011	195888	7736205	318827	882903	53818	14995119	568533	
Kas	4067577	80792	2915558	86741	225510	8748	7208646	176281	
Ara	1704105	35414	1873824	52318	136774	5797	3714703	93529	
Toplam	49250044	1712660	59989671	2721266	7529768	542025	116769484	4975951	

Tablo 2: 2015 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri

2015 Yılına ait Yıldırım ve şimşek olaylarının aylara göre gerçekleşme sayılarına göre Tablo 2 deki verilere göre aşağıdaki grafik elde edilmiştir. Buna göre bu yıl içerisinde haziran ayında olayların



çok fazla olduğu görülmüştür. Aralık ayında ise en az olduğu dönem olarak görülmüştür.

Şekil 8: 2015 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri grafiği

# 5- 2016 YILI YILDIRIM VE ŞİMŞEK VERİLERİ

		YILDIF	RIM		Simooli		Yıldırım ve Şimşek	
2016	Bulutdan yere		Yerden Buluta		Şiilişek		Toplamı	
2016	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet
Oca	1484947	29825	1519144	39742	161467	6738	3165558	76305
Şub	628647	15110	781545	22800	77050	3240	1487242	41150
Mar	1393037	38204	1765890	59922	212429	9653	3371355	107779
Nis	1000385	40363	1385690	73686	398274	29812	2784350	143861
May	2924033	117379	3988302	217028	1341088	100974	8253423	435381
Haz	2833963	127770	4258163	236374	1371272	104888	8463397	469032
Tem	1473304	67391	2487046	141419	623395	48232	4583745	257042
Ağu	1714221	103990	3911278	219890	1417233	103613	7042732	427493
Eyl	1028399	62427	2938369	157216	934487	69856	4901255	289499
Eki	361093	13076	830155	35609	137610	7826	1328858	56511
Kas	756394	33433	1616018	69535	543600	34796	2916013	137764
Ara	861612	23673	1025195	37627	251057	11061	2137865	72361
Toplam	16460034	672641	26506796	1310848	7468962	530689	50435792	2514178

Tablo 3: 2016 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri

2016 Yılına ait Yıldırım ve şimşek olaylarının aylara göre gerçekleşme sayılarına göre Tablo 4 deki

verilere göre aşağıdaki grafik elde edilmiştir. Buna göre bu yıl içerisinde haziran ayında olayların çok fazla olduğu görülmüştür. Şubat ve Ekim aylarında ise en az olduğu dönem olarak görülmüştür.



Şekil 9: 2016 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri grafiği

# 6- 2017 YILI YILDIRIM VE ŞİMŞEK VERİLERİ

2017	YILDIRIM				Simcold		Yıldırım ve Şimşek	
	Bulutdan yere		Yerden Buluta		Şimşek		Toplamı	
	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet
Oca	627254	17958	599373	22758	282740	12101	1509366	52817
Şub	365025	12371	604412	22970	211557	10308	1180995	45649
Mar	957122	32384	1240590	55223	328415	22216	2526127	109823
Nis	949967	34408	1326381	66035	368961	26310	2645309	126753
May	2879622	141226	5662508	334527	1666246	137378	10208377	613131
Haz	2589503	131360	5722774	315579	1798519	145757	10110796	592696
Tem	1722917	88955	3255904	170567	970528	89701	5949350	349223
Ağu	998001	61111	2411548	138328	555369	56489	3964918	255928
Eyl	961189	46042	1953397	93239	543480	42249	3458066	181530
Eki	614979	28989	1504112	64519	358855	21946	2477945	115454
Kas	1018399	42177	1958889	86248	494363	32220	3471651	160645
Ara	190543	6969	226950	10166	95747	5176	513239	22311
Toplam	13874520	643950	26466837	1380159	7674781	601851	48016139	2625960

Tablo 4: 2017 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri
2017 Yılına ait Yıldırım ve şimşek olaylarının aylara göre gerçekleşme sayılarına göre Tablo 4 deki verilere göre aşağıdaki grafik elde edilmiştir. Buna göre bu yıl içerisinde mayıs ve haziran ayında olayların çok fazla olduğu görülmüştür. Ocak Şubat ve Aralık aylarında ise en az olduğu dönem olarak görülmüştür.



Şekil 10: 2017 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri grafiği

## 7- 2018 YILI YILDIRIM VE ŞİMŞEK VERİLERİ

		YILDIF	RIM		Sim	cok	Yıldırım v	e Şimşek	
2019	Bulutdan yere	•	Yerden Bul	n Buluta		şek	Торі	Toplamı	
2018	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	
Oca	473732	18777	730886	31452	237020	13513	1441638	63742	
Şub	570781	21500	714064	33250	163927	10061	1448772	64811	
Mar	523690	21316	740274	39289	238553	15576	1502516	76181	
Nis	1089426	44474	1332241	76001	356390	32563	2778057	153038	
May	4076296	228367	7308622	500138	2758638	278652	14143556	1007157	
Haz	3848579	246818	11395784	647978	3335842	317105	18580206	1211901	
Tem	1296648	76232	3157619	174290	1207912	93860	5662179	344382	
Ağu	739088	53892	2249021	135159	699725	55805	3687834	244856	
Eyl	1081736	74658	3405775	185903	1003178	86457	5490690	347018	
Eki	1459608	74681	2973535	166791	655792	56579	5088935	298051	
Kas	800861	34119	1447987	63997	329123	21034	2577971	119150	
Ara	849405	30483	1340171	54282	406894	21524	2596470	106289	
Toplam	16809852	925317	36795979	2108530	11392994	1002729	64998824	4036576	

Tablo 5: 2018 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri

2018 Yılına ait Yıldırım ve şimşek olaylarının aylara göre gerçekleşme sayılarına göre Tablo 5 deki verilere göre aşağıdaki grafik elde edilmiştir. Buna göre bu yıl içerisinde mayıs ve haziran ayında olayların çok fazla olduğu görülmüştür. Ocak Şubat ve Mart aylarında ise en az olduğu dönem olarak görülmüştür.



Şekil 11: 2018 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri grafiği

## 8- 2019 YILI YILDIRIM VE ŞİMŞEK VERİLERİ

Tablo	6:	2019	Yılı	Türkiye	Yıldırım	ve Şimşel	k verile	eri

		YILDI	RIM		Simcok		Yıldırım ve Şimşek	
2010	Bulutdan yere	9	Yerden Bul	uta	Şiilişek		Toplamı	
2019	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet
Oca	1467646	50519	2188114	88945	198490	10618	3854250	150082
Şub	827730	26307	1061433	44304	92654	4716	1981816	75327
Mar	762885	26515	957461	47997	79617	5337	1799962	79849
Nis	1024063	44563	1662686	94642	154234	11848	2840983	151053
May	818789	42409	1648573	104179	131911	10751	2599272	157339
Haz	2267448	159707	6791918	430951	609920	56540	9669286	647198
Tem	874815	55775	2473882	136809	143199	12340	3491896	204924
Ağu	947373	71853	3213459	178640	144863	15533	4305694	266026
Eyl	625672	40631	2060227	117870	87045	8292	2772943	166793
Eki	894951	56066	2290095	134644	121163	11310	3306209	202020
Kas	501812	29095	1132914	56096	58869	4789	1693594	89980
Ara	935075	41782	1742866	72475	82957	5965	2760898	120222
Toplam	11948258	645222	27223627	1507552	1904921	158039	41076805	2310813

2019 Yılına ait Yıldırım ve şimşek olaylarının aylara göre gerçekleşme sayılarına göre Tablo 6 deki verilere göre aşağıdaki grafik elde edilmiştir. Buna göre bu yıl içerisinde haziran ayında olayların çok fazla olduğu görülmüştür. Şubat ve Mart aylarında ise en az olduğu dönem olarak görülmüştür.



Şekil 12: 2019 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri grafiği

## 9- 2020 YILI YILDIRIM VE ŞİMŞEK VERİLERİ

		YILDI	RIM		Cim	a a li	Yıldırım v	e Şimşek
2020	Bulutdan yere	•	Yerden Bul	uta	Şim	Toplamı		amı
2020	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet
Oca	407912	15529	658549	25885	30772	1820	1097233	43234
Şub	481694	18170	715102	33320	37590	2461	1234387	53951
Mar	760484	33456	923335	59204	67538	4922	1751357	97582
Nis	927958	46413	1517584	102020	87842	6786	2533384	155219
May	933044	49084	1811841	119133	115950	8932	2860836	177149
Haz	1558033	88258	3901401	223887	306129	25260	5765563	337405
Tem	694711	41148	1776917	106679	104650	8713	2576279	156540
Ağu	436132	31283	1435850	82110	62644	5508	1934626	118901
Eyl	310732	20123	1189494	66005	73214	5846	1573439	91974
Eki	674966	48494	1949752	104005	114331	10973	2739049	163472
Kas	1412434	70722	4629646	211183	148851	9853	6190932	291758
Ara	918790	41451	1479742	80290	63024	4633	2461557	126374
Toplam	9516891	504131	21989214	1213721	1212537	95707	32718642	1813559

Tablo 7: 2020 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri

2020 Yılına ait Yıldırım ve şimşek olaylarının aylara göre gerçekleşme sayılarına göre Tablo 6 deki verilere göre aşağıdaki grafik elde edilmiştir. Buna göre bu yıl içerisinde haziran ve kasım ayında olayların çok fazla olduğu görülmüştür. Ocak ve Şubat aylarında ise en az olduğu dönem olarak görülmüştür.



Şekil 13: 2020 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri grafiği

# 10- 2021 YILI YILDIRIM VE ŞİMŞEK VERİLERİ

		YILDIF	RIM		Cim	aak	Yıldırım ve Şimşek	
2021	Bulutdan yere	9	Yerden Buluta		Şinişek		Toplamı	
2021	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet
Oca	771024	37789	1361275	70238	83713	6758	2216013	114785
Şub	437962	18647	622453	32571	32707	2295	1093122	53513
Mar	510029	21121	648017	37212	43110	3044	1201156	61377
Nis	381914	17322	616596	40738	37197	2917	1035706	60977
May	849062	42477	1488025	98020	107447	10869	2444534	151366
Haz	2314569	139943	4417861	282635	338105	34250	7070534	456828
Tem	1092624	62361	2715838	139928	187402	15564	3995864	217853
Ağu	1303239	102508	4941051	259955	467787	39061	6712077	401524
Eyl	579812	36036	1392512	83543	113748	11226	2086072	130805
Eki	630740	36664	1804381	86872	101285	7682	2536406	131218
Kas	525029	24519	1234986	59127	56639	4679	1816654	88325
Ara	654941	26370	1125720	48923	57284	3972	1837945	79265
Toplam	10050944	565757	22368715	1239762	1626425	142317	34046084	1947836

Tablo 8: 2021 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri

2021 Yılına ait Yıldırım ve şimşek olaylarının aylara göre gerçekleşme sayılarına göre Tablo 6 deki verilere göre aşağıdaki grafik elde edilmiştir. Buna göre bu yıl içerisinde Haziran ve Ağustos ayında olayların çok fazla olduğu görülmüştür. Şubat, Mart Nisan ve kasım aylarında ise en az olduğu dönem olarak görülmüştür



Şekil 14: 2021 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri grafiği

## 11- 2022 YILI YILDIRIM VE ŞİMŞEK VERİLERİ

		YILDIF	RIM		Sim	cok	Yıldırım v	e Şimşek
2022	Bulutdan yere	•	Yerden Bul	uta	Şim	şek	Toplamı	
2022	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet
Oca	646816	23496	936799	39722	53533	3163	1637148	66381
Şub	625387	23928	833613	40154	59768	4215	1518768	68297
Mar	334858	11447	386565	17672	37973	2036	759396	31155
Nis	580867	27751	754897	55856	82773	7601	1418538	91208
May	952418	53753	1734563	124944	211069	19210	2898050	197907
Haz	1966627	125989	4324704	289908	390596	39382	6681927	455279
Tem	365059	22058	929105	51094	80846	6600	1375010	79752
Ağu	1495117	120989	4566375	260624	486242	50547	6547734	432160
Eyl	718623	47903	2547247	130010	233366	20144	3499236	198057
Eki	921881	57256	2155418	121188	135912	12872	3213211	191316
Kas	944913	48801	1767116	92664	141582	11019	2853611	152484
Ara	332439	14131	666607	28905	40764	2539	1039810	45575
Toplam	9885005	577502	21603009	1252741	1954424	179328	33442439	2009571

Tablo 9: 2022 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri

2022 Yılına ait Yıldırım ve şimşek olaylarının aylara göre gerçekleşme sayılarına göre Tablo 6 deki verilere göre aşağıdaki grafik elde edilmiştir. Buna göre bu yıl içerisinde Haziran ve Ağustos ayında olayların çok fazla olduğu görülmüştür. Ocak, Şubat, Mart ve Aralık aylarında ise en az olduğu dönem olarak görülmüştür



Şekil 15: 2022 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri grafiği

## 12- 2023 YILI YILDIRIM VE ŞİMŞEK VERİLERİ

		YILDIF	RIM		Simcole		Yıldırım v	e Şimşek
2022	Bulutdan yere	9	Yerden Bul	uluta		şek	Toplamı	
2025	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet	Genlik Toplamı	Adet
Oca	617979	22889	901597	37340	55751	2653	1575327	62882
Şub	280353	9472	299338	12141	30771	1397	610462	23010
Mar	413776	18049	584719	33387	34441	2559	1032936	53995
Nis	1564423	68028	2871912	145855	190306	14390	4626642	228273
May	1709870	89800	2622030	197795	244501	26542	4576401	314137
Haz	1923293	104313	3745834	237482	282698	30179	5951826	371974
Tem	827049	48191	2231929	114119	151169	12764	3210147	175074
Ağu	738241	46531	2273891	123063	211398	19641	3223529	189235
Eyl	1405583	97493	4512946	228476	289139	29554	6207667	355523
Eki	688724	41772	1981626	104261	110374	9783	2780724	155816
Kas	333802	18200	596856	34396	79393	7214	1010050	59810
Ara								
Toplam	10503093	564738	22622678	1268315	1679940	156676	34805711	1989729

Tablo 10: 2023 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri

2023 Yılına ait Yıldırım ve şimşek olaylarının aylara göre gerçekleşme sayılarına göre Tablo 6 deki verilere göre aşağıdaki grafik elde edilmiştir. Buna göre bu yıl içerisinde Mayıs, Haziran ve Eylül aylarında olayların çok fazla olduğu görülmüştür. Ocak, Şubat, Mart ve Aralık aylarında ise en az olduğu dönem olarak görülmüştür.



Şekil 16: 2023 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri grafiği 13- 2015-2023 YILI YILDIRIM VE ŞİMŞEK VERİLERİ

2015-2023 Yılları arasında 9 yıl gerçekleşen yıldırım ve şimşek olaylarının aylık ortalamaları alındığında aşağıdaki tablo elde edilmektedir. Aylık toplamlar alınır iken 9 yıl içerisinde aynı ayda gerçekleşen olayların toplamı alınmıştır. Bu toplamlardan da Türkiye'nin aylık yıldırım ve şimşek olaylarının gerçekleşme ortalamaları hesaplanmıştır.

2015-2023	Toplam	Aylık Ortalama
Oca	630228	78779
Şub	425708	47301
Mar	617741	68638
Nis	1217214	135246
May	3752906	416990
Haz	5867121	651902
Tem	2115094	235010
Ağu	3288839	365427
Eyl	2484808	276090
Eki	1882391	209155
Kas	1276197	159525
Ara	665926	83241

Tablo 11: 2015-2023 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri aylık ortalamaları

2015-2023 Yılları arasında 9 yıl süreyle gerçekleşen yıldırım ve şimşek olaylarını aylık bazda incelediğimizde en fazla olayların gerçekleştiği ay Haziran olarak görülmektedir.

Uzun yıllar aylık ortalama 224.298 olarak hesaplanmıştır. Buna göre mayıs, temmuz, Haziran, Ağustos ve Eylül ayları ortalamanın üstündedir. Diğer aylar ortalamanın altındadır. Şubat, Mart ayları ise ortalamanın çok altında olması bakımından dikkat çekmektedir.

Tespit edilen ortalama yıldırımın büyüklüğü mutlak değer olarak **16,17 KA** dir. Ölçülen en yüksek negatif yıldırım büyüklüğü **467 KA** 'dir. Ölçülen en yüksek pozitif yıldırım büyüklüğü **400 KA** 'dir.



Şekil 17: 2015-2023 Yılı Türkiye Yıldırım ve Şimşek verileri aylık ortalamaları grafiği

2015-2023 Yılları arasında gerçekleşen yıldırım ve şimşek olaylarının sayılarını konum olarak değerlendiğimizde aşağıdaki harita elde edilmektedir.



Şekil 18: 2015-2023 Yılları arası Yıldırım ve Şimşek olay sayılarının haritaya dağılımı

2015-2023 Yılları arasında gerçekleşen yıldırım ve şimşek olaylarının şiddetine göre harita üzerinde konumlarını değerlendiğimizde aşağıdaki harita elde edilmektedir.



Şekil 19: 2015-2023 Yılları arası Yıldırım ve Şimşek olaylarının şiddetine göre dağılımı

## 14- SONUÇ

Uzun yıllar rasatçı vasıtasıyla gözlemlenerek temel eğitim ve tecrübenin bir çıktısı olarak oraj (thunderstorm) hadisesi tespit edilmiştir. Orajın bir parçası olan yıldırım ve şimşek hadisesi ise var olup olmadığı baz alınarak işlenmiştir. Dolayısıyla sayıları, türleri, yönleri, kuvvetleri kayıt altına alınmamıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Nisan-2015 yılından itibaren yıldırım ve şimşek ölçümleri elde edilen verilerin paylaşımına başlanmıştır. .

Bu çalışmada YTTS tanıtılmış ve 2015-2023 yıllarının verileri sunulmuştur. Asıl amacımız sistemi vatandaşlara tanıtmak ve bu konuda çalışma yapacak kişilere bu bilgilerin altlık olması için yapılmıştır

9 Yıllık Yıldırım ve şimşek verileri incelendiğinde Türkiye ortalaması olarak sınırlarımız içerisinde günlük 7374 adet bir dakika içerisinde 5 adet yıldırım veya şimşek olayının gerçekleşme olasılığı olduğu hesaplanmıştır.

9 Yıllık Yıldırım ve şimşek verileri incelendiğinde akım, adet, maksimum ve mutlak değerlemelerin incelenmesinde elde edilen en önemli sonuç mevsimsel olarak benzerlik toplanmalarıdır. Belli aylarda yüksekliği fark edilmiş değerlerin farklı sektörler için ne anlama geldiği ayrıca değerlendirilmelidir. Nitekim yıldırım ve şimşek hadisesi elektriksel ve manyetik bir olay olduğundan diğer meteorolojik parametrelerin yorumlanma ve yansıma biçimlerinden farklılık göstermektedirler.

## KAYNAKLAR

[1] Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi (YTTS),

[2] https://www.mgm.gov.tr/files/haberler/2015/yildirim.pdf

[3] https://sozluk.gov.tr/

[4] https://www.mgm.gov.tr/sondurum/yildiri m-takip.aspx

# Doğu Marmara'da 11 Ağustos 2022 Tarihinde Meydana Gelen Kuvvetli Yağış Olayının Objektif Verifikasyonu

#### Celaleddin KIZILKAYA

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Sayısal Hava Tahmini Şube Müdürlüğü Ankara cekizilkaya@mgm.gov.tr

#### Zeynep Feriha ÜNAL DİNÇ

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Sayısal Hava Tahmini Şube Müdürlüğü Ankara zfunal@mgm.gov.tr

Yelis CENGİZ Meteoroloji Genel Müdürlüğü Sayısal Hava Tahmini Şube Müdürlüğü Ankara ycengiz@mgm.gov.tr

## ÖZET

Şiddetli yağışlar, iklim değişikliğinin bir sonucu olarak giderek daha sık ve şiddetli hale gelmektedir. Bu durum, can ve mal kayıpları başta olmak üzere, altyapı hasarları ve çevresel sorunların artmasına yol açmaktadır. Yağış miktarı tahmin edilmesi en zor parametrelerden biridir. SHT modellerinin tutarlılığı genellikle istasyonlardan elde edilen noktasal yağış verileri ile model sonuçları karşılaştırılması ile yapılır. Noktasal değerlendirme yerine alansal doğrulama yapılması daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada, A-LAEF modeli yağış tahmininin doğrulaması için Doğu Marmara bölgesinde 11 Ağustos 2022 tarihinde meydana gelen kuvvetli yağış olayı seçilmiştir. SHT modelleri arasında yer alan A-LAEF modeli, bir olasılık modeli olup farklı başlangıç koşulu veri setleri ile çalıştırılan model üyelerini kapsamaktadır. Çalışmada model sonuçlarının, saatlik yağış ve radar gözlemleri ile alansal ve noktasal doğrulaması yapılmıştır. Doğrulama için olasılık ve determinitistik verifikasyon yöntemleri (Brier Score, Fraction Skill Score vb.) kullanılmıştır. Bu amaçla farklı harita projeksiyonları ve yatay çözünürlükte üretilen radar ve model verileri ortak bir zemine getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuvvetli yağış, A-LAEF, Olasılık Modeli, Radar, OMGİ, Verifikasyon

### 1. GİRİŞ

Son yıllarda, gerçekleşen aşırı hava olayları iklim değişikliğinin de büyük etkisiyle beraber giderek artmaktadır. Aşırı hava olayları istatistiksel olarak nadir görülen olaylar olup uzun yıllık gözlemlere ait olasılık yoğunluk fonksiyonunun 10 ve 90 persentillerinde ya da daha nadir yüzdelerde yer almaktadır [1]. Aşırı hava olaylarının şu anda etkilemekte olduğu özellikle tarım, ormancılık, sağlık vb. sektörlere etkisinin gelecekte giderek artacağı öngörülmektedir [2]. Aşırı hava olayları arasında aşırı sıcaklıklar, kuraklık ve şiddetli yağışlar yer almaktadır. Dünya Meteoroloji Örgütü'nün saatlik yağış sınıflandırmasına göre 2.5 mm/sa altındaki yağışlar hafif yağış; 2.5 mm/sa ve 10 mm/sa arasındaki yağışlar orta kuvvette yağış ve 10 mm/sa ve 50 mm/sa arasındaki yağışlar kuvvetli yağış ve 50 mm/sa'e eşit ve daha büyük yağışlar şiddetli yağış olarak belirtilmektedir [3]. Dünya'nın farklı yerlerinde gözlenen aşırı yağış olaylarının sosyo-ekonomik etkileri arasında can ve mal kaybı, şehirlerin altyapılarının aşırı zarar görmesi / yok olması, mahsul çiftliklerinin yıkılması ve zorunlu göçler sayılmaktadır [4-5]. Bu sosyo-ekonomik etkiler, ülkelerin ekonomisini ve dolayısıyla küresel ekonomiyi de etkilemektedir [6]. Yağışın tahmini, kısa vadede ve uzun vadede (iklimsel açıdan) büyük bir öneme sahip olduğundan ulusal tahmin sağlayıcıları, çeşitli sayısal hava tahmini (SHT) modelleri ve uzaktan algılama kaynakları birlikte operasyonel amaçlı kullanmaktadırlar. SHT modelleri kendi içerisinde çoklu (ensemble) modeli ve tekli (deterministik) model olarak ikiye ayrılmaktadır [7]. Yağış tahmini için kullanılan ensemble modellerinin deterministik modellere göre model tutarlığını arttırarak ve belirsizlikleri azaltarak daha iyi bir performans gösterdiğine dair kanıtlar bulunmaktadır [8-9]. Çeşitli SHT modeli ve radar kaynaklarının tahmin kabiliyetleri karşılaştırıldığında, model ve radar ürünlerinin eş zamanlı hibrit olarak kullanılmasının en doğru yöntem olduğu anlaşılmıştır [10]. Literatüre bakıldığında, gauge-based yağış ölçümleri referans veri olarak kullanılarak iki kaynağın verifikasyonu POD (probability of detection), FAR (false alarm ratio), Brier Skill Score (BS) gibi yöntemlerle yapılmıştır [11-13]. Bu çalışmada, SHT operasyonel modeli olan A-LAEF topluluk modeli ve radar verisi kullanılarak yağış parametresi için objektif verifikasyon yapılması amaçlanmıştır. Yağış tahmininin doğrulaması için 11 Ağustos 2022 tarihinde Sakarya, Kocaeli, Düzce çevresinde gerçekleşen kuvvetli yağış olayı seçilerek çalışma alanı oluşturulmuştur [14-15]. Çalışma içerisinde üç farklı saatlik veri kullanılmıştır: A-LAEF model çıktıları, Bursa radarından elde edilen gözlem verileri ve son olarak bölgedeki yer gözlemleri (OMGİ) kullanılmıştır. Farklı projeksiyonlara sahip olan radar ve model verileri öncelikle ortak bir projeksiyona getirilmiştir. Son olarak, A-LAEF model sonuçlarının, saatlik radar gözlemleri ile verifikasyonu için çeşitli yöntemler (Brier Score, Fraction Skill Score vb.) kullanılmıştır.

## 1. VERİ ve YÖNTEM

#### 2.1 Veri

#### 2.1.1. Sayısal Hava Tahmini Model Verisi

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nde operasyonel olarak çalıştırılan sayısal hava tahmin modelleri deterministik ve çoklu tahmin modeli olarak ikiye ayrılmaktadır. Operasyonel olarak çalıştırılan deterministik modeller ALARO, AROME ve WRF modelleri; topluluk modeli ise A-LAEF modelidir [16]. Bu modellerden ALARO, AROME kısa vadeli hava tahmini ve araştırma amacıyla kurulan uluslararası konsorsiyum ACCORD konsorsiyumun modelleridir [17]. A-LAEF modeli ise RC-LACE konsorsiyumunun çoklu tahmin modeli olan ALADIN-LAEF modelinin bir devamıdır. Bu çalışmada kullanılan A-LAEF (ALARO – Limited Area Ensemble Forecasting) modeli, ALADIN ve ALARO model yapılanmasına dayanarak farklı fizik parametrizasyon pertürbasyon üyeleriyle kısa vadeli olasılık tahminlerini içeren çoklu bir model sistemidir [18]. Şekil 1'de Türkiye için çalıştırılan A-LAEF modelinin kapsadığı alan kırmızı çerçeve içerisinde gösterilmiştir.



Şekil 1: A-LAEF/TR Modeli Tahmin Alanı

A-LAEF modelinde iki farklı model pertürbasyonu vardır: a) çoklu fizik için mikrofizik, derin ve sığ konveksiyon, radyasyon ve türbülans parametrizasyonları; b) stokastik fizik için ise yer seviyesi prognostik parametrizasyonları için dört farklı ALARO fizik konfigürasyonu ile simüle edilmektedir [19]. Aşağıdaki yer alan Tablo 1'de A-LAEF model konfigurasyonu verilmiştir. Bu çalışmada 11 Ağustos 2022 00 UTC'de çalıştırılan A-LAEF modelinin 11 Ağustos 2022 tarihine ait 00-12 UTC arasındaki her bir üyesine ait saatlik yağış tahmin verileri kullanılmıştır.

A-LAEF Türkiye	A-LAEF Türkiye Model Konfigurasyonu					
Üye Sayısı	16 pertürbasyon + 1 kontrol					
Yatay Çözünürlük	4.5 km					
Grid Sayısı	869 x 429					
Düşey Çözünürlük	60 düşey seviye					
Güncellenme Sıklığı	Günde 2 Kez (00-12 UTC)					
Tahmin Periyodu	72 Saat					
Global Sınır Koşulları	ECMWF					
Projeksiyon Türü	Latitude - Longitude					

## Tablo 1: A-LAEF/TR Model Konfigurasyonu

2.1.2. Radar Verisi

Bu çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait radar gözlem verisi için çalışma alanına en yakın uzaklıkta olan Bursa radarına ait veriler kullanılmıştır. Bursa radarı konfigurasyonu ve radarın kapsam alanı sırasıyla Tablo 2'de ve Şekil 2'de gösterilmiştir [20].

Bursa Radar Konfigurasyonu					
Enlem – Boylam	40.5383 N - 29.9033 E				
Rakım	1217 m				
Frekans Bandı	С				
Polarizasyon Türü	Dual				
Yatay Çözünürlük	694 m				
Grid Sayısı	720 x 720				

Tablo 2: Bursa Radarı Konfigurasyonu



Şekil 2: Bursa Radarının Kapsam Alanı

Bursa radarının ürünlerinden biri olan "RAIN1" ürünü, saatlik yağış verisi içerdiği için model saatlik yağış tahmini ile uyumlu olması açısından kullanılmıştır. Kullanılan RAIN1 ürününün projeksiyon türü Azimuthal Equidistant olup 694 metre çözünürlüğe sahiptir. Veri aralığı, 11 Ağustos 2022 tarihli 00-12 UTC arasındaki saatlik yağış ürün çıktılarını kapsamaktadır.

## 2.1.3. OMGİ Verisi

Bu çalışmada kullanılan yer gözlemleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından (OMGİ) elde edilmiştir. Radar ürününün kapsam alanı ve istasyonların radara olan mesafesi değerlendirilerek, alanda yer alan 35 istasyondan 11 Ağustos 2022 tarihine ait 00 – 12 UTC zaman aralığındaki saatlik yağış verileri (mm) kullanılmıştır. Kullanılan OMGİ'lerin haritadaki dağılımları Şekil 3'te yer almaktadır.



Şekil 3: OMGİ İstasyonları

#### 2.2 Yöntem

Yukarıda belirtilen veri kaynaklarından veriler elde edildikten sonra radar ve model verisinin farklı projeksiyon ve yatay çözünürlüklere sahip olduklarından dolayı öncelikle ortak projeksiyon ve çözünürlükler altında birleştirilmeleri için Latitude-Longitude projeksiyonu ve 1 km yatay çözünürlük referans seçilmiştir. Bu işlem için en yakın komşu (nearest neighbor) interpolasyon yöntemi SHT model verisine (~4.5 km) ve radar verisine (~0.69 km) uygulanarak ortak bir projeksiyona ve çözünürlüğe interpolasyon işlemi kullanılarak getirilmiştir [23-25]. Sonrasında ise verifikasyon iki aşamalı yapılmıştır. Birinci aşamada model (tahmin) ve radar (gözlem) verileri kullanılarak Brier Score (BS), Fraction Skill Score (FSS) değerleri hesaplanmıştır. İkinci aşamada ise olumsallık tablosu (contigency table) oluşturulmuş, buna uygun olarak Threat Score (TS), Probability of Detection (POD) ve False Alarm Ratio (FAR) hesaplanmıştır. Brier Score tüm üyeler hesaba katılarak hesaplanırken; Fraction Skill Score (FSS), Threat Score (TS), Probability of Detection (POD) ve False Alarm Ratio (FAR) ise en iyi üye (*best member*) A-LAEF modelinin yalnızca 14. üyesi kullanılarak hesaplanmıştır.

Brier Score, olasılıksal tahmin modelinin doğruluğunu saptamak için kullanılan verifikasyon skorudur.

$$BS = \frac{1}{N_{obs}} \sum_{t=1}^{N_{obs}} \left(f_t - o_t\right)^2$$
(1)

Fraction Skill Score (FSS), n x n çalışma alanı ve belirli bir eşik değer için model tahminlerinin doğrulaması için kullanılan bir verifikasyon metodudur. Metot, Brier Score'un varyasyonlarını

kullanarak hesaplama yapmaktadır, metot denklemi aşağıda gösterilmiştir [26]. Bu denklemde, p<sub>f</sub> çalışma alanı içerisindeki eşik değerini aşan tahminin gerçekleşme binary (1 ve 0) olasılığı, p<sub>o</sub>, eşik değerini aşan gözlemin binary olasılığı ve N, çalışma alanı içerisindeki toplam grid sayısıdır. FSS değerleri 0 ile 1 arasında değişirken mükemmel tahmin değeri 1'dir.

$$FSS = 1 - \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (p_f - p_o)^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} p_f^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} p_o^2}$$
(2)

Verifikasyonun ikinci aşamasında aşağıda verilen tabloda (Tablo 3) yer alan isabet, kaçırılmış, yanlış alarm ve isabet (olay yok) sayıları Threat Score (TS), Probability of Detection (POD) ve False Alarm Ratio (FAR) hesaplanması için kullanılmıştır [27].

Tablo 3: Contingency Table (Olumsallık Tablosu) Değerleri

	Olumsallık Tablosu					
		Tal	nmin			
		EVET	HAYIR			
n	EVET	İSABET	KAÇIRILMIŞ			
zleı	HAYIR	YANLIŞ	İSABET			
B		ALARM	(OLAY			
			YOK)			

Threat Score (TS), tahminin isabet oranını ölçmek için kullanılırken 0 ile 1 arasında değer almaktadır; 1 mükemmel tahmini göstermektedir. Probability of Detection (POD), yanlış alarmlar dikkate alınmadan tahminin isabet oranını ölçmek için kullanılır ve 0 ile 1 arasında değer almaktadır, 1 mükemmel tahmini göstermektedir. Son olarak False Alarm Ratio (FAR), yanlış alarmların oranını ölçmek için kullanılır ve 0 ile 1 arasında değerleri vardır, 0'a yaklaşıldıkça tahmin başarılı olarak değerlendirilir. Bu skorlar için denklemler şu şekildedir:

$$TS = Isabet / (Isabet + Kaçırılmış + Yanlış Alarm)$$
(3)

$$POD = \dot{I}sabet / (\dot{I}sabet + Kaçırılmış)$$
(4)

FAR = Yanlış Alarm / (İsabet + Yanlış Alarm)(5)

#### **3. BULGULAR VE TARTIŞMA**

A-LAEF model tahmininin radar verisiyle alansal verifikasyonunun yapılabilmesi için 1 mm, 5 mm, 10 mm ve 20 mm eşik değerleri kullanılarak çalışma alanı için Brier Score değerleri hesaplanarak harita üzerinde; Fraction Skill Score, Threat Score, Probability of Detection ve False Alarm Ratio değerleri ise tablolar halinde gösterilmiştir.



Şekil 4: Brier Score 1 mm (soldaki) ve 5mm (sağdaki) Yağış Haritası

Şekil 4'te Brier Score metodunun 1 mm'den ve 5 mm'den fazla yağış olması ihtimalinde oluşan 0-1 aralığında hataları gösteren haritaları gösterilmektedir. Kuvvetli yağışın gözlemlendiği bölgede model tutarlığı en yüksek seviyeye kadar çıkmıştır (BS < 0.1). Haritada pembe ile gösterilen yerlerde modelin tutarlığının azaldığı gözlenmiştir. Brier Score, 0.7 - 1 aralığında değerlendirilen bu noktalarda gözlem ölçümü gerçekleşmediği görülmektedir.



Şekil 5: Brier Score 10 mm (soldaki) ve 20 mm (sağdaki) Yağış Haritası

Şekil 5'te Brier Score metodunun 10 mm'den ve 20 mm'den fazla yağış olması ihtimalinde oluşan 0 - 1 aralığında hataları gösteren harita yer almaktadır. 10 mm için hesaplanan BS değerleri için şiddetli yağışın gözlemlendiği bölgede model tahmininin tutarlığının arttığı gözlemlenmiştir.10 mm için hesaplanan BS değerleri için şiddetli yağışın gözlemlendiği bölgede model tahmininin 20 mm'den fazla yağış gerçekleşme ihtimali düşmeye başlamış ve BS skalasına göre 0.2 - 0.5 aralığında gösterilmiştir.

	Verifikasyon Skor Değerleri					
	> 1 mm	> 5mm	> 10 mm	> 20 mm		
TS	0,773956	0,565867	0,37709	0,278854		
POD	0,972015	0,912061	0,80442	0,65266		
FAR	0,208404	0,401477	0,584845	0,672547		

Tablo 4: Threat Score, Probability of Detection, False Alarm Ratio

Tablo 4'te A-LAEF modelinin en iyi üyesi için 12 saatlik bir dilimde, 1 mm, 5 mm, 10 mm ve 20 mm için hesaplanan Threat Score, Probability of Detection, ve False Alarm Ratio değerleri gösterilmektedir. Threat Score, 1 mm yağış olma tahmini için %77 hesaplanmış ve yüksek bir isabet oranı yakalamıştır. 10 mm den yüksek yağışlar için isabet oranı %50 seviyesinin altlarına düşmeye başlamış ve yağış miktarı artışında model tahmin doğruluğu azalmıştır.

Probability of Detection değerlerinin, TS'e göre daha yüksek değerler olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise bu yöntemin yanlış tahminleri formülünde kullanmamasıdır.1 mm yağışları için yaklaşık %97 oranı, 20 mm yağışlarında bile oran %65'lerde kalmıştır. Bu da yağış olan bölgelerde tahminin isabetli olduğunu göstermektedir.

False Alarm Ratio, 1 mm yağışları için %20 oranında, 5 mm için %40 oranında FAR hesaplanırken, 10 mm yağışlarından sonra %50 seviyesinden daha yüksek sonuçlar hesaplanmış ve hata oranı yağış miktarı arttıkça artmaya devam etmiştir.

Ölçekler için FSS Değerleri						
Ölçek (km)	> 1 mm	> 5mm	> 10mm	> 20mm		
70	0,988206	0,942667	0,864716	0,817835		
60	0,98761	0,939534	0,84122	0,779142		
50	0,984939	0,934684	0,825161	0,758683		
40	0,980006	0,925076	0,80818	0,745184		
30	0,970433	0,90756	0,784999	0,728136		

Tablo 5: Dört Sınır Değer İçin On Ölçekte FSS Değerleri

20	0,953086	0,878559	0,743733	0,678166
15	0,94185	0,860398	0,712626	0,636525
10	0,926745	0,835933	0,671657	0,587787
5	0,907822	0,799536	0,624368	0,529257
1	0,872577	0,722753	0,547664	0,436102

Tablo 5, daha önce literatürde yer alan çalışma örnek alınarak 1 mm'den 20 mm'ye kadar 12 saatlik bir zaman aralığında on ölçeğe karşılık gelen FSS değerleri hesaplanıp tabloda belirtilmiştir [28]. 1 km ölçek, çalışma alanının gerçek boyutunu (1x1 km) temsil etmektedir. Ölçek çalışma alan değerinin üstüne çıktıkça FSS değerlerinin yükseldiği gözlenmektedir.

#### 4. SONUÇ

Günümüzde, aşırı yağış olaylarının günden güne artmasıyla birlikte yağışa yönelik yapılan tahminlerinin doğruluk çalışmaları önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, 11 Ağustos 2022 tarihinde 00 – 12 UTC arasında gerçekleşen kuvvetli yağış olayının verifikasyonu çeşitli yöntemlerle yapılmıştır. Kullanılan verifikasyon yöntemleri, birbiriyle karşılaştırıldığında model performansı açısından uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Her bir grid noktası için sonuçlar karşılaştırıldığında BS sonuçlarının FSS sonuçlarına göre daha hassas olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte model performansının belirlenmesinde FSS'nin daha uygun olduğu düşünülmektedir. Ayrıca verifikasyon işlemi yapılırken radar ve model çözünürlüklerinin farklı olmasından dolayı verifikasyon sonuçlarında sistematik hataların oluşabileceği düşünülmektedir. Gelecekteki araştırmalar için farklı meteorolojik veri kaynaklarının kullanılarak (radar, uydu vb.) farklı alansal yağış analizlerinin hazırlanması daha sağlıklı sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Pörtner, H.-O., Roberts, D., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., ... & Möller, V. (2022). IPCC 2022: Annex II: Glossary AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability—IPCC. IPCC—Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022. 11 Ekim 2023 tarihinde https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/about/how-to-cite-this-report/ adresinden erişildi.
- [2] Cooney, C. (2012). Managing the Risks of Extreme Weather: IPCC Special Report. Environmental Health Perspectives, 120, a58 - a58. https://doi.org/10.1289/ehp.120-a58.
- [3] World Meteorological Organization. (2021). Guide to Instruments and Methods of Observation - Volume I: Measurement of Meteorological Variables https://library.wmo.int/idurl/4/41650

- [4] Chang'a, L. B., Kijazi, A. L., Mafuru, K. B., Kondowe, A. L., Osima, S. E., Mtongori, H. I., ... & Michael, E. (2020). Assessment of the evolution and socio-economic impacts of extreme rainfall events in October 2019 over the east Africa. Atmospheric and Climate Sciences, 10(3), 319-338.
- [5] Roxy, M.K., Ghosh, S., Pathak, A., Athulya, R., Mujumdar, M., Murtugudde, R., Terray, P. and Rajeevan, M. (2017). A Threefold Rise in Widespread Extreme Rain Events Over Central India. Nature communications, 8(1), p.708. https://doi.org/10.1038/s41467-017-00744-9
- [6] Liang, X.-Z. (2022). Extreme Rainfall Slows The Global Economy. Nature, 601, 193–194, https://doi.org/10.1038/d41586-021-03783-x.
- [7] Demirtaş, M., Küçükkaraca, E. (2020), Sayısal Hava Tahmini: Temelleri ve Türkiye Uygulamaları, Türkiye`nin Geçmişten Günümüze Meteoroloji Politikaları ve Stratejileri, p. 41-68, Akçağ Yayınları.
- [8] Gebhardt, C., Theis, S., Paulat, M., & Bouallègue, Z. (2011). Uncertainties in COSMO-DE precipitation forecasts introduced by model perturbations and variation of lateral boundaries. Atmospheric Research, 100, 168-177. https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2010.12.008.
- [9] Wu, J., Lu, G., & Wu, Z. (2014). Flood Forecasts Based on Multi-Model Ensemble Precipitation Forecasting Using A Coupled Atmospheric-Hydrological Modeling System. Natural Hazards, 74, 325-340. https://doi.org/10.1007/s11069-014-1204-6.
- [10] Lin, C., Vasić, S., Kilambi, A., Turner, B., & Zawadzki, I. (2005). Precipitation Forecast Skill of Numerical Weather Prediction Models and Radar Nowcasts. Geophys. Res. Lett., 32, L14801, doi:10.1029/2005GL023451.
- [11] Shahrban, M., Walker, J.P., Wang, Q.J., Seed, A., Steinle, P. (2011). Comparison of weather radar, numerical weather prediction and gauge-based rainfall estimates. In Proc. 19th International Congress on Modelling and Simulation, Perth (pp. 3384-3390).
- [12] Roberts, N. (2008). Assessing the spatial and temporal variation in the skill of precipitation forecasts from an NWP model. Meteorological Applications: A journal of forecasting, practical applications, training techniques and modelling, 15(1), 163-169. https://doi.org/10.1002/met.57
- [13] Amodei, M., Sanchez, I., & Stein, J. (2015). Verification of the French operational high-resolution model AROME with the regional Brier probability score. Meteorological Applications, 22(4), 731–745. https://doi.org/10.1002/met.1510, 2015

- [14] Haber 7. "Marmara'da kuvvetli yağış alarmı: Sistemin yönü değişti" (11 Ağustos 2022).
- [15] 11 Ekim 2023 tarihinde https://www.haber7.com/guncel/haber/3249391marmarada-kuvvetli-yagis-alarmi-sistemin-yonu-degist adresinden erişildi.
- [16] Düzce TV. "Meteoroloji'den Düzce İçin Turuncu Uyarı" (10 Ağustos 2022). 12 Ekim 2023 tarihinde https://www.duzcetv.com/duzce-gundem-haberleri/118763meteorolojiden-duzce-icin-turuncu-uyari- adresinden erişildi.
- [17] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Sayısal Hava Tahmini Şube Müdürlüğü (2018). Yeni SHT Sayfası Kullanımı - SAYBİS Sistemi Model Konfigürasyonları. 12 Ekim 2023 tarihinde http://sht.mgm.gov.tr/tmp/Yeni\_SHT\_Sayfasi\_Kullanimi.pdf adresinden erişildi.
- [18] A Consortium for COnvection-scale modelling Research and Development ACCORD (2020).
- [19] Belluš, M., Weidle, F., Wittmann, C., Wang, Y., Taşku, S. & Tudor, M. (2019). Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational – Limited Area Ensemble Forecasting (ALADIN-LAEF). Advances in Science and Research. https://doi.org/10.5194/ASR-16-63-2019.
- [20] Wang, Y., Bellus, M., Wittmann, C., Steinheimer, M., Weidle, F., Kann, A., ... & Bazile, E. (2011). The Central European limited-area ensemble forecasting system: ALADIN-LAEF. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 137(655), 483-502.
- [21] World Meteorological Organization. Radars Around The World –Turkiye's Bursa Radar. 1 Kasım 2023 tarihinde https://wrd.mgm.gov.tr/Radar/Details/R2M5SWdqOWFsck1uT3ZsVnRsZklGZz09 adresinden erişildi.
- [22] Brier, G. W. (1950). Verification of forecasts expressed in terms of probability. Monthly weather review, 78(1), 1-3.
- [23] Amodei, M., Sanchez, I. & Stein, J. (2015) Verification of the French operational high-resolution model arome with the regional Brier probability score. Meteorological Applications, 22(4), pp. 731–745. doi:10.1002/met.1510
- [24] Hijmans, R.J., Van Etten, J. (2012). raster: Geographic analysis and modeling with raster data. R package version 2.0-12. http://CRAN.R-project.org/package=raster
- [25] Stauffer, R. (2016). Getgrib: A small R-package R/grib file interaction https://github.com/retostauffer/Rgetgrib

- [26] Pebesma E, Bivand, R. (2023). Spatial Data Science: With applications in R. Chapman and Hall / CRC. doi:10.1201/9780429459016, https://r-spatial.org/book/.
- [27] Faggian, N., Roux, B., Steinle, P., & Ebert, B. (2015) Fast calculation of the fractions skill score, MAUSAM, 457–466. https://doi.org/10.54302/mausam.v66i3.555
- [28] WWRP/WGNE Joint Working Group on Forecast Verification Research (2017). Forecast Verification methods Across Time and Space Scales. 12 Ekim 2023 tarihinde https://www.cawcr.gov.au/projects/verification/ adresinden ulaşıldı.
- [29] Zhang, B., Zhao, B. (2019). INTEGRATED FRACTIONS SKILL SCORE FOR THE ASSESSMENT OF PRECIPITATION. Journal of Tropical Meteorology, 25(3), 344-352.

# Pasif Mikrodalga Verileri Üzerinden Dolu Tespiti

#### Abdurrahman Durmaz

İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği, 34469 Sarıyer, İstanbul durmazab17@itu.edu.tr

## Ahmet Öztopal

İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği, 34469 Sarıyer, İstanbul oztopal@itu.edu.tr

## ÖZET

Uydu platformları üzerindeki meteorolojik algılayıcılar ve meteorolojik radarlar vasıtasıyla atmosferik olayların analizi ve bunların kısa zamanlı tahminleri, oluşabilecek meteorolojik ve hidrolojik doğa afetlerine karşı önlem alınabilmesi ve zararlarının en aza indirgenmesi noktasında, büyük önem arz etmektedir. Dolu, bir katı yağış türü olup çapı büyüdükçe verdiği zarar da katlanan bir meteorolojik afettir. Bu çalışmanın amacı, uydu platformları üzerinde bulunan pasif mikrodalga algılayıcılardan elde edilen veriler yardımıyla dolu büyüklüğünün kestirilmesidir. Bu kapsamda bu çalışmada, METOP uyduları üzerindeki Mikrodalga Nem Algılayıcısı (Microwave Humidity Sensor – MHS) isimli pasif algılayıcının verileri ülkemiz üzerindeki 6 farklı vaka için kullanılmıştır. Sonuç olarak 90-150 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı düştükçe ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı arttıkça dolu çapının büyüdüğü görülmektedir. Ayrıca, küçük frekanslı pasif mikrodalga verilerinden iri taneli

dolu yağışı tespit edilebilirken yüksek frekanslarda küçük taneli dolu yağışı daha iyi gözlenebilmektedir.

Anahtar Kelimeler – dolu; MHS; pasif mikrodalga; uzaktan algılama.

### 1. GİRİŞ

Dolu, konvektif bulut içerisindeki düşey ve yatay hareketler nedeniyle yağmur damlaları ve buz parçacıklarının çarpışarak büyümesi ve donması sonucu yere düşen yağış türüdür. Bu hava ve su kaynaklı doğal afetinin tespiti ve kısa süreli tahminin en pratik yollarından biri uzaktan algılama araçlarıdır. Mikrodalga verileriyle yağış ve dolu analizi çalışmaları yaklaşık 40 yıl öncesine dayanmaktadır. İlk çalışmalardan biri olan Spencer ve diğerlerinin (1983) [1] araştırmasında, Nimbus 7 uydusunun Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR) algılayıcısının 5. kanalından (37 GHz) hesaplanan parlaklık sıcaklık (Tb) değerlerinin daha önce gözlemlenen yağışlı alanlardaki değerlerden çok daha düşük olduğu fark edilmiştir. Çalışına alanındaki gök gürültülü sağanak yağış, meteorolojik radar ve yer durağan uydu olan GOES-EAST ile aynı zamanda gözlemlenmiştir. Radyatif transfer modelleri ve fırtına gözlemlerine dayanarak saatte 20 mm'den daha fazla yağışlı alanlarda özellikle kara üzerinde 5. kanal ölçümlerinin düşük hassasiyete sahip olduğu bilinmesine rağmen, Kansas'ta hesaplanan Tb değerlerinin yağış modellerinden çok daha soğuk olduğunu gözlemlemişlerdir. Dolayısıyla 5. kanalın fırtınaların tespitinde kullanılabileceği ve üzerinde çalışmaların yapılması gerektiğini ortaya konulmuştur.

Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalardan biri olan ve Cecil (2009) [2] tarafından yapılan araştırmada, Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) görevinde kullanılan Microwave Imager (TMI) algılayıcısının 85, 37 ve 19 GHz kanallarından 1998-2006 yılları arasındaki Amerika Birleşik Devletleri üzerinde hesaplanan parlaklık sıcaklık değerleri ve dolu gözlemleri, ayrıca ikinci yaklaşım olarak TRMM görevinde kullanılan yağış radarının yansıma değerleri ve dolu gözlemleri arasındaki ilişki incelemiştir. Yapılan incelemeye göre, kullanılan tüm mikrodalga kanallarındaki ölçümlerin iri taneli dolu yağışlarına karşı hassaslık gösterdikleri, fakat 37 GHz kanalının dolu tespitinde daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Oysa 37 GHz kanalı ölçümleri ve dolu gözlemleri arasındaki ilişkinin doğruluk oranı %43, yağış radarı ve dolu gözlemleri arasındaki ilişkinin

doğruluk oranı %70 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, bahsi geçen yıllardaki mikrodalga algılayıcıları ve düşük frekans mikrodalgaların yetersiz olduğu ve pratik olmadığı vurgulanmıştır.

Ferraro ve arkadaşları (2015) [3], daha öncesinde yaptıkları araştırmalarında TRMM ve Aqua Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR- E) algılayıcılarının tarama alanları ve periyotlarının yetersizliği nedeniyle bu çalışmalarında, Advanced Microwave Sounding Unit-B (AMSU-B) ve Microwave Humidity Sensor (MHS) algılayıcılarının 2000- 2011 verileri ve üzerinde mikrodalga algılayıcısı bulunan hava araçları kullanmışlardır. Çalışmalarını 2000-2009 yılları arasındaki dolu gözlem raporları ile destekleyerek geliştirdikleri dolu tespit algoritmasının doğruluğu %40 civarlarındadır. Gözlem ve algılayıcı verileri arasındaki korelasyon değeri 0,70 olarak hesaplanmıştır. Sonraki çalışmalarda farklı modellerin geliştirilmesini ve farklı yüzey özellikleri ve farklı mevsimler çalışılmasını gerektiğini vurgulamışlardır.

Laviola ve arkadaşları (2020) [4] çalışmalarında, AMSU-B ve MHS algılayıcılarının 90, 150, 184, 186 ve 190 GHz kanallarının parlaklık sıcaklık verileri ve 12 yıllık yersel dolu gözlem raporları kullanılarak dolu firtinalarının merkezlerindeki parlaklık sıcaklık soğuması ile dolu tanesinin çapı ve dolu yağış tespit algoritması çalışılmıştır. Bu dolu yağışı olasılık algoritmasının sınıf aralıkları 0,36 altındaysa dolu yağışı yok; 0,36 ile 0,60 arasındaysa dolu yağışı var; 0,60'dan büyük değerler söz konusu ise ekstrem dolu yağışları olasıdır. Yersel verilerle korelasyon değerleri incelendiğinde 0,60-0,79 arasında değişmektedir. Gözlem verileri ve model sonuçları arasındaki ilişki çalışılan aya göre değişmektedir. Örneğin kış aylarında atmosfer ve yüzeyde çok daha fazla buz parçacıkları bulunduğundan aralarındaki korelasyon değeri düşmektedir.

Farklı su buharı kanalları bulutların farklı katmanlarından bilgiler almaktadır. Bu bilgi edinimi Şekil 1'in ikinci sütununda gösterilen AMSU-B algılayıcısının ağırlık fonksiyonu ile belirlenebilir. Kanalın ağırlık fonksiyonunda en yüksek değere denk gelen yükseklik o kanalın en iyi bilgi edindiği yükseklik hakkında bilgi vermektedir. Örneğin C3, 184 GHz mikrodalga kanalı 6-8 km yükseklikler; C4, 186 GHz mikrodalga kanalı 4-6 km yükseklikler; C5, 190 GHz kanalı 2-4 km yükseklikler arasında en iyi bilgiyi sağlamaktadır. Bu yükseklik değerlerine göre konvektif bulutların hangi bölgesinde hangi kanalın daha iyi etkileşime girdiği anlaşılabilir. Bu belirlenen aralıklarla bulutlar, konvektif veya tabaka bulutu olup olmadıkları şeklinde sınıflandırabilir. Bahsi geçen üç kanalın da ölçümlerine bağlı olarak bulut hakkında fikir edinilebilir. Örneğin bir sirüs bulutunun varlığını sadece C3 kanalındaki değerlerin düşük olmasından anlaşılabilir veya kümülonimbus bulutunun varlığını üç kanalın da değerlerinde düşük olmasından anlaşılabilir.



Şekil 1: AMSU-B ve MHS Ağırlık Fonksiyonları [4].

Bu çalışmanın amacı, METOP uydu platformu üzerinde bulunan ve bir pasif mikrodalga algılayıcı olan Mikrodalga Nem Algılayıcısı (Microwave Humidity Sensor – MHS) üzerinden elde edilen parlaklık sıcaklığı verileri yardımıyla dolu büyüklüğünün kestirilmesidir.

## 2. ALGILAYICI VE VERİ

## 2.1. Mikrodalga Nem Algılayıcısı

Şekil 2'de görülen Mikrodalga Nem Algılayıcısı (Microwave Humidity Sensor – MHS), EUMETSAT tarafından işletilmekte olan METOP uydusu üzerinde bulunmaktadır. Uydunun tam altındaki alansal çözünürlük 16 km olup üzerinde 90 GHz, 150 GHz, 183 GHz, 186 GHz ve 190 GHz'lik frekanslara sahip 5 kanal bulunmaktadır. Özellikle kanal 3, 4 ve 5'in (183 GHz, 186 GHz ve 190 GHz'lik kanalların) su buharına olan hassasiyeti Şekil 3'ten açıkça görülebilmektedir.



Şekil 2: MHS Tasarımı [5].



Şekil 3: MHS Kanallar [5].

## 2.2. Veri

Çalışmada MHS algılayıcısının 6 vaka için 5 farklı kanaldaki parlaklık sıcaklık değerleri kullanılmış olup vakalara ait konum, tarih ve dolu çapı ile algılayıcının vakalara en yakın koordinat aralıkları ve saat bilgileri Tablo 1'de verilmektedir.

Konum	Tarih - Saat (UTC)	Enlem	Boylam	Dolu Çapı
				(cm)
İstanbul	07 Mayıs 2015; 16:10	40,0° – 44,0°	27,0° - 31,0° D	4-5 cm
		K		
Karamürsel	14 Haziran 2016;	39,0° – 42,0°	28,0° - 31,0° D	4-5 cm
	14:20	К		
Kastamonu	4 Haziran 2019; 12:50	40,0° – 44,0°	33,0° - 37,0° D	6-8 cm
		K		
Kastamonu	5 Haziran 2019; 12:35	40,0° – 44,0°	33,0° - 37,0° D	6-8 cm
		K		
Adana	6 Mayıs 2021; 15:06	36,0° – 39,0°	35,0° - 38,0° D	4-5 cm
		K		
İstanbul	27 Temmuz 2017;	40,0° – 44,0°	27,0° - 31,0° D	7-9 cm
	16:48	K		

#### Tablo 1: Vaka listesi

Verideki parlaklık sıcaklıklarından (TB) parlaklık sıcaklık değerlerinin sapmalarının hesaplanması aşağıdaki formül üzerinden açık hava koşullarına göre yapılmaktadır.

 $TB_i^{var} = \left[ \left| \left( \frac{TB_i}{TB_i^{max}} \right) * 100 - 100 \right| \right]$ 

#### 3. ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER

Çalışmada 6 vaka analiz edilmiş olup burada 3 tanesi sunulacaktır. İlk vaka 7 Mayıs 2015 tarihinde İstanbul'da görülen 4-5 cm'lik dolu çapına aittir ve analiz grafikleri Şekil 4'te verilmektedir. Şekil 4a, vakanın gerçekleştiği alan üzerindeki 190 GHz frekansına ait parlaklık sıcaklığı haritasını göstermektedir ve bu harita üzerinde beyaz çizgi ile gösterilen bir kesit alınmıştır. Bu kesitteki pikseller üzerindeki tüm MHS kanallarının parlaklık sıcaklık değişimleri de Şekil 4b'de görülmektedir. Tüm frekanslardaki parlaklık sıcaklıkları fırtına merkezinde en düşük değerlere ulaşmaktadır. Şekil 4c'de tüm harita üzerindeki ve Şekil 4d'de de sadece kesit üzerindeki 184, 186 ve 190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık sapmalarının değişimi verilmektedir. Bu şekillerden de anlaşılacağı üzere, fırtına merkezine yaklaşırken sapma değerleri artarken fırtına merkezinden uzaklaştıkça sapma değerleri azalmaktadır.



Şekil 4: İstanbul - 7 Mayıs 2015 için (a) MHS 190 GHz frekansına ait parlaklık sıcaklığı haritası, (b) Alınan kesit üzerindeki tüm MHS kanallarının parlaklık sıcaklık değişimleri, (c) Harita üzerindeki tüm piksellere ait 184, 186 ve 190 GHz frekanslarındaki parlaklık sıcaklığı sapmaları, (d) Alınan kesit üzerindeki 184, 186 ve 190 GHz frekanslarındaki parlaklık sıcaklığı sapmaları [6].

Benzer sonuçlar 4 Nisan 2019 tarihli ve 6-8 cm'lik doluya neden olan Kastamonu (Şekil 5) ile 27 Temmuz 2017 tarihli ve 8-10 cm'lik dolunun görüldüğü İstanbul (Şekil 6) vakalarında de elde edilmiştir.



Şekil 5: Kastamonu – 4 Nisan 2019 için (a) MHS 190 GHz frekansına ait parlaklık sıcaklığı haritası, (b) Alınan kesit üzerindeki tüm MHS kanallarının parlaklık sıcaklık değişimleri, (c) Harita üzerindeki tüm piksellere ait 184, 186 ve 190 GHz frekanslarındaki parlaklık sıcaklığı sapmaları, (d) Alınan kesit üzerindeki 184, 186 ve 190 GHz frekanslarındaki parlaklık sıcaklığı sapmaları [6].



Şekil 5: İstanbul – 27 Temmuz 2017 için (a) MHS 190 GHz frekansına ait parlaklık sıcaklığı haritası, (b) Alınan kesit üzerindeki tüm MHS kanallarının parlaklık sıcaklık değişimleri, (c)

# Harita üzerindeki tüm piksellere ait 184, 186 ve 190 GHz frekanslarındaki parlaklık sıcaklığı sapmaları, (d) Alınan kesit üzerindeki 184, 186 ve 190 GHz frekanslarındaki parlaklık sıcaklığı sapmaları [6]

Tablo 2'de vakalara ait 90-150 GHz ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklıklarının farkları ve bunlara karşı gelen dolu çapları verilmektedir. Bu tablodan çıkan sonuca göre 90-150 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı düştükçe ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı düştükçe ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı düştükçe ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı düştükçe ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı düştükçe ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı düştükçe ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı düştükçe ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı düştükçe ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı düştükçe ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı düştükçe ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı düştükçe ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı düştükçe ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı düştükçe ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık farkı düştükçe ve 150-190 GHz frekanslarına ait parlaklık sıcaklık sıcaklık farkı arttıkça dolu çapının büyüdüğü görülmektedir.

Vaka	90 - 150 GHz	150 - 190	Dolu
v aka	Farkı	GHz Farkı	Büyüklüğü
İstanbul, 27 Temmuz 2017	35 K	25 K	8-10 cm
Kastamonu, 4 Haziran 2019	45 K	3 K	6-8 cm
Kastamonu, 5 Haziran 2019	43 K	10 K	6-8 cm
Adana, 6 Mayıs 2021	47 K	12 K	4-5 cm
Karamürsel, 14 Haziran 2016	40 K	15 K	4-5 cm
İstanbul, 7 Mayıs 2015	52 K	2 K	4-5 cm

## Tablo 2: Kanallar arasındaki parlaklık sıcaklık farkları.

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada MHS algılayıcısına ait 90, 150, 184, 186 ve 190 GHz frekanslarına sahip kanalların parlaklık sıcaklıkları ile dolu çapı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Dolu tanesinin büyük olması için 90-150 GHz farkının azalması ve 150-190 GHz farkının artması, dolu tanesinin küçük olması için de 90-150 GHz farkının artması ve 150-190 GHz farkının azalması gerekmektedir. Ayrıca, frekans değerinin artmasıyla hassasiyetin de arttığı görülmektedir.

Çalışmanın bundan sonraki aşamasında vaka sayısının arttırılması, dolu yağış ve çapı kestirimi için algoritma geliştirilmesine alt yapı hazırlanması planlanmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- Spencer, R. W., Olson, W. S., Rongzhang, W., Martin, D. W., Weinman, J. A., & Santek,
   D. A. (1983). Heavy Thunderstorms Observed Over Land by the Nimbus 7 Scanning Multichannel Microwave Radiometer. Journal of Climate and Applied Meteorology, 22(6), 1041–1046
- [2] Cecil, D. J. (2009). Passive microwave brightness temperatures as proxies for hailstorms. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 48(6), 1281–1286. https://doi.org/10.1175/2009jamc2125.1
- [3] Ferraro, R., Beauchamp, J., Cecil, D., & Heymsfield, G. (2015). A prototype hail detection algorithm and hail climatology developed with the Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU). Atmospheric Research, 163, 24-35.
- [4] Laviola, S., Levizzani, V., Ferraro, R. R., & Beauchamp, J. (2020). Hailstorm detection by satellite microwave radiometers. Remote Sensing, 12(4), 621.
- [5] ESA, https://www.esa.int/Applications/Observing\_the\_Earth/Meteorological\_missions/MetOp/A bout\_MHS
- [6] Durmaz, A., Öztopal A. (2023). Detection of hail using Passive Microwave data. 9th International Conference on Meteorology and Climatology of the Mediterranean, 22-24 May 2023, Genova - Italy, pp. 95.

# Yeni Nesil Meteorolojik Uydular İle Orman Yangınlarının Gözlemlenmesi Ve Yangın Sonrası Etkilerin İncelenmesi - 2023 Çanakkale, Türkiye Yangınları

Sema Çil Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü Ankara semacil@mgm.gov.tr

Mervegül Özdaş Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü Ankara mozdas@mgm.gov.tr

#### ÖZET

Orman yangıları günümüzde Akdeniz havzasının en büyük doğal tehlikelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Ortalama bir yılda tüm havzada meydana gelen yaklaşık 50.000 yangın sonucunda 600.000 hektar civarındada alan yanmaktadır. Akdeniz ekosistemlerinin önemli bir bileşeni olduğu düşünülen orman yangınlarının, genellikle yaz aylarındaki uzun kurak dönemler ve bu mevsimlerde yoğun miktarda dal ve döküntü üreten bitki örtüsünün çokluğu sebebiyle yaygınlaştığı düşünülmektedir. IPCC Altıncı Değerlendirme Raporuna göre ise iklim değişikliği, insan faaliyetlerinin yanı sıra orman yangını rejimlerinin belirlenmesinde giderek artan bir rol oynamaktadır. Buna ek olarak gelecekteki iklim değişkenliğinin, Akdeniz bitki örtüsü gibi birçok biyomdaki orman yangını riskini ve şiddetini artırması beklenmektedir. Bu çalışmada, orman yangınlarının yeni nesil kutupsal ve sabit yörüngeli uydularla analiz edebilmek için 2023 yılı Ağustos ayında Çanakkale ilinde meydana gelen orman yangınları; iklim değişikliğinin de etkileri göz önünde bulunarak incelenmiştir. 2022 yılı sonunda yörüngeye yerleştirilmiş olup, 2023 yılı sonunda operasyonel olarak kullanılması beklenen Meteosat Üçüncü Nesil (MTG) ve Metop-SG uyduları örnek verileri ele alınmıştır. Bu veriler ile

aktif yangınların izlenmesi ve yangın sonrası etkilerin incelenebilmesine yönelik yeni uydu ürünleri analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler — orman yangını, uzaktan algılama, meteosat, eumetsat, mtg, metop-sg

## 1. GİRİŞ

Orman yangınları veya kırsal yangınlar, yanıcı bitki örtüsü bulunan alanlarda, elverişli hava koşulları ile birlikte gerçekleşmesi mümkün hale gelen, kontrolsüz ve öngörülmesi zor bir yangındır. Orman yangılarının başlamasına sebebiyet veren koşullar ise, havadaki oksijen miktarı, kuru yakıtlar olarak adlandırılan bölgedeki yapraklar ,otlar ve diğer organik maddelerin varlığı ve bunların ateşlenmesiyle yangın haline gelmesine imkan veren ısıdır. [1]

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından 2022 yılında yayınlanan 6. Değerlendirme raporuna göre, iklim değişikliğinde, 1950'lerden bu yana insan etkisinin artışı, "birleşik aşırı hava olayları" olarak tanımlanan, sıcak hava dalgası ile gelen kuraklık; nehir taşkını; yangına sebep olan kuru, sıcak hava ve rüzgarın gerçekleşme olasılığını da artırmıştır.[2]

Orman Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan 2022 yılı Ormancılık istatistiklerine göre ülkemizde son 5 yılda meydana gelen yangın sayıları ve yanan alanların hektar cinsinden miktarı Şekil 2'deki grafikte gösterilmiştir. Şekil 1'de ise, 2022 yılında meydana gelen yangın sayılarının çıkış sebeplerine göre dağılımları gösterilmiştir. [3]



Şekil 1: 2022 yılında meydana gelen yangın sayılarının çıkış sebeplerine göre dağılımları (©OGM)



Şekil 2: 2017-2022 yıllları arasında meydana gelen yangınların sayıları ve yanan alan miktarı (©OGM)

Birleşmiş Milletler Üniversitesi - Çevre ve İnsan Güvenliği Enstitüsü'ne göre Akdeniz havzasında görülen yangınların son yıllarda artmasının temel sebepleri ise şu şekilde sıralanabilir;[4]

- Risk yönetimi ve müdahaleye ilişkin yönetişimde algı, farkındalık veya hazırlık eksikliği
- Ekonomik fırsatların eşitsiz dağılımı ve sınırlı geçim seçenekleri,
- İnsan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan sera gazlarının küresel ısınmanın ve iklim değişikliğinin artmasına katkıda bulunması,
- Çevre üzerindeki etkileri detaylıca incelenmeden ekonomik veya kalkınmaya yönelik çıkarların peşinde koşmak.

Çok yakın gelecekte, Meteosat Üçüncü Nesil (MTG) ve Metop - İkinci Nesil (Metop-SG) gibi gelişmiş yetenek ve sensörlere sahip yepyeni uydular, orman yangınlarının ve bunların kentsel yaşam alanlarıyla okyanus ve kara yüzeyleri üzerindeki etkilerinin izlenmesi için yüksek çözünürlüklü ve temel veriler sağlaması beklenmektedir. Bunlardan Meteosat Üçüncü Nesil (MTG) serisinin ilk uydusu olan MTG-I görüntüleme uydusu, 13 Aralık 2022'de fırlatılmıştır. MTG sistemi, EUMETSAT tarafından şimdiye kadar yapılmış en karmaşık ve yenilikçi meteorolojik sabit sisteml uydudur. İlerleyen yıllarda fırlatılacak olan diğer MTG uydular ile

birlikte bu uydu filosu, Dünya'dan 36.000 kilometre yüksekte yörüngede bulunan iki görüntüleme uydusu ve bir sondaj uydusundan oluşacaktır.

### 2. METODOLOJİ

Bu çalışmada, 22-23-24 Ağustos 2023 tarihlerinde Çanakkale, Türkiye'de gerçekleşen orman yangınları takibi ve sonrasındaki etkilerin gözlemlenmesi iki farklı yeni nesil meteorolojik uydu ve çeşitli enstrümanlarıyla incelenecektir. EUMETSAT'ın yeni yer sabit uydusu için MTG (Meteosat Üçüncü Nesil), geleceğin operasyonel meteorolojik uydusu olacaktır. Metop-SG ise hem yeryüzü gözlemi hem de atmosferik gözlemler için farklı araştırma alanlarında birkaç enstrümana sahip kutupsal yörüngeli bir uydu olarak araştırmacı ve hava tahmincilerine hizmet verecektir.

Meteosat Üçüncü Nesil uyduları projesi çerçevesinde, (MTG) serisinin ilk uydusu olan MTG-I görüntüleme uydusu, 13 Aralık 2022'de fırlatılmıştır. 1 Yılın sonunda opeasyonel olarak verilerin kullanıma sunulması beklenmektedir. MTG Uydu serisi 3 eksenli platformlara dayalıdır ve dört görüntüleme uydusundan (MTG-I) ve iki sondaj uydusundan (MTG-S) oluşacaktır. Operasyonel olarak, biri Avrupa ve Afrika'yı her 10 dakikada bir tarayan, diğeri yalnızca Avrupa'yı 2,5 dakikada bir tarayan (Rapid Scan System-Hızlı Tarama Hizmeti) ve bir sondaj, MTG-S olmak üzere iki MTG-I uydusundan oluşacaktır. MSG'ye nazaran geliştirilen zamansal ve mekansal çözünürlüklere sahip misyonun amacı, verilerde sürekliliği sağlamak ve gelecekteki tahmin veya şimdiki tahmin sistemleri gereksinimleri karşılığında kullanılan meteorolojik uyduların yeteneklerini artırmaktır. Görüntüleme uydularındaki sensörlerin uzamsal çözünürlüğü, MSG misyonuna kıyasla HRV kanalı için 1 km'den 500 m'ye, diğerleri için 3 km'den 1 km'ye, radyometrik ve spektral çözünürlük 12 kanaldan 16 kanala çıkarılacaktır.[5]

Metop-İkinci Nesil (Metop-SG), EUMETSAT'ın 2025-2043 zaman çizelgesinde kutupsal yörüngeden meteorolojik gözlemlerin sürekliliğini sağlayacak yeni nesil kutupsal yörüngeli uydu programıdır. Bu program, mevcut Metop uydularıyla aynı sabah yörüngesinde bulunan Metop-SG-A ve B adlı iki dizi uzay aracını içermektedir. EPS-SG, ESA, DLR ve CNES işbirliğiyle yürütülen bir ortaklık programı olan bu uydularla; buz bulutları, aerosoller ve yağış için gözlemler sağlayacak daha yüksek çözünürlüklü veriler elde edilecektir. [5]
#### 2.1. Yeni Nesil Uydularla Aktif Yangınların İncelenmesi

Bu bölümde ele alınan aktif yangınları izlemeye yönelik araçlar, MTG'nin Esnek Kombine Görüntüleyicisi (Flexible Combined Imager-FCI) ve Metop-SG'nin Sentinel-5 Ultraviyole-Görünür Yakın Kızılötesi Kısa Dalga (UVNS) spektrometresidir. MTG ve Metop-SG'den herhangi bir veri bulunmamakla birlikte, kullanılan mevcut uydulardan elde edilen ve MTG ile Metop-SG'ye benzer çözünürlükte olan mevcut veri ürünleri proxy verisi olarak kullanılacaktır. Buradaki amaç, Türkiye'nin Çanakkale bölgesinde gerçekleşen yangınları, 22-23-24 Ağustos tarihi için bu veriler ile inceleyerek, gelecek olan bu uydulardan nasıl faydanılabileceğini açıklamaktır.

#### 2.1.1 LSA-SAF Yangın Işıma Gücü Piksel (FRP PİKSEL)

Bu bölümde, Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi (MODIS) Yangın Radyatif Gücünden (FRP) gelen veriler, Meteosat Üçüncü Nesil Esnek Kombine Görüntüleyicisinden (FCI) gelen verilere entegre edilerek, yani proxy veri olarak kullanılarak, LSA SAF'ın Yangın Radyasyonlu Güç Piksel (FRPPIXEL) ürününün yeni nesil uydularla nasıl gözlemlenebileceğine dair bilgi sahibi olabilmek amaçlı kullanılmıştır.

Mevcut LSA-SAF - FRP PIXEL ürünü ise, Meteosat İkinci Nesil (MSG) SEVIRI sensörünün tam disk alanında, 15 dakikalık uzamsal çözünürlüğe sahip orman yangınlarının yeri, zamanı ve yangın radyasyon gücü (MW) hakkında bilgiler içerir[6]. FRP PIXEL ürünü, orman yangınları esnasonda acil müdahale ekiplerinin yangınların nerede olduğuna dair bilgi edinmesi ve bu yangınların yoğunluğu hakkında fikir sahibi olabilmesi için de yararlı bir araçtır [5].



Şekil 3:MODIS FRP Piksel Ürünü – 23.08.2023 Çanakkale, Türkiye

Şekil 3'te, soldaki görsel Türkiye'nin Çanakkale ili ve çevresi üzerinde 23 Ağustos 2023 için megawatt (MW) cinsinden yangın radyasyon gücünü gösterirken, sağdaki görsel aynı bölge için görüntünün yakınlaştırılmış halini göstermektedir. Gerçek zamanlıya yakın MODIS Termal Anomaliler/Yangın konumları 1km FIRMS V0061 (MCD14DL) veri seti, bu görüntülerin üretilmesinde kullanılmıştır.

Yangın radyasyon gücünün belirtildiği FRP PIXEL ürününde bu veriler yoğunluklarına göre çeşitli kategorilere ayrılmaktadır. Parlak kırmızı ile 120 ila 500 MW'lık yangın ışıma gücüne karşılık gelen yüksek yoğunluklu yangınlar gösterilirken, mavi renkle 30 MW'a kadar olan düşük yoğunluklu yangınlar gösterilmektedir [6].

Çanakkale merkez köyler ve Damyeri bölgesindeki yangınlar parlak kırmızı renkte ve yaygın olarak görülmektedir. Yer yer 80-120 MW'lık yangın bölgeleri ile birlikte 120-500 MW'lık bölgeler de görülebilmektedir.

Günümüzde, SEVIRI sensörüne sahip MSG uydularından elde edilen çeşitli kanal verileri LSA SAF tarafından FRP PIXEL ürünleri için kullanılmaktadır. 2024 yılı itibariyle, FRPPIXEL ürününü üretmek için MSG'nin SEVIRI sensöründen gelen veriler yerine MTG'nin Esnek Kombine Görüntüleyici (FCI) sensörü ilgili kanallarından gelen veriler kullanılacaktır. FCI, bilimsel ve operasyonel uygulamalar için daha küçük yangınların tespiti için faydalı olabilecek MSG SEVIRI'den daha iyi uzaysal, zamansal ve radyometrik çözünürlüğe sahiptir[5].

2.1.2 SENTINEL OLCI Kompozit Gerçek Renk Görüntüler

OLCI, 21 spektral bantta, 300 m'lik zemin uzaysal çözünürlüğünde Dünya tarafından yansıtılan güneş ışınımını ölçen bir itmeli süpürge görüntüleme spektrometresidir. OLCI, ENVISAT - MERIS'in 2012'de görev süresinin dolmasıyla veri sürekliliğini sağlamak için kullanılan optik bir sensördür. MERIS (The Medium Resolution Imaging Spectrometer), 2002'den 2012'ye kadar ENVISAT misyonunun ömrü boyunca operasyoneldir ve cihazdan gelen ilk veriler Mayıs 2002'den itibaren mevcuttur. Envisat misyonu, uyduyla beklenmedik bağlantı kaybının ardından 8 Nisan 2012'de sona ermiştir[7].

OLCI ürünlerinin temel amacı, biyolojiyle ilgili bilgileri toplamak için okyanus ve kara yüzeyini taramaktır. OLCI ayrıca atmosfer hakkında bilgi sağlar ve iklim çalışmalarına katkıda bulunur[7]. Farklı OLCI kanallarının kombinasyonuna bağlı olarak gerçek renk kompoziti belirli olayları vurgulayacak şekilde seçilebilir. Gerçek Renkli bir görüntünün, orman yangınlarını gözlemlemek için seçilen kanal kombinasyonu şu şekildedir.

- Kırmızı: Oa08\_radiance
- Yeşil: Oa06\_radiance
- Mavi: Oa04\_radiance



*Şekil 4:SENTINEL OLCI Gerçek Renk Kompozit Ürünü – 23.08.2023 Çanakkale, Türkiye* Bu yüksek çözünürlüklü görsellerde Çanakkale bölgesi yangınları net bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Bunlara ek olarak aynı tarihlerde Yunanistan'ın Dedeağaç bölgesinde gerçekleşen büyük yangın da gözlemlenebilmektedir(Şekil 4).

# 2.2. Yeni Nesil Uydularla Yangın Sonrası Etkilerin İncelenmesi

Bu bölümde, arazi örtüsü/değişim sınıflandırması, atmosferik düzeltme ve bulut/kar ayrımı için veri sağlayan 13 spektral banda sahip olan Sentinel-2 MultiSpektral Enstrümandan (MSI) elde edilen veriler kullanılmıştır. Sentinel-2'den gelen Seviye 2A verilerinin kullanıldığı bu kompozit görüntülerin oluşturulmasıyla yanık indeksinin hesaplanması ve yanık şiddeti haritalama dahil olmak üzere çeşitli ürünlerle yangın sonrası etkiler gözlemlenebilir.

Buradaki amaç, Türkiye'nin Çanakkale bölgesinde gerçekleşen yangınları, 22-23-24 Ağustos 2023 tarihleri için bu veriler ile inceleyerek, gelecek olan bu uydulardan nasıl faydanılabileceğini açıklamaktır.

# 2.2.1 SENTINEL 2 - MSI - Sahte Renk Kompozit Ürünü

Sentinel-2 Multi Spectral Instrument (MSI), arazi örtüsü/değişim sınıflandırması, atmosferik düzeltme ve bulut/kar ayrımı için veri sağlayan 13 adet spektral banda sahiptir. MSI, 10 m'de dört banda, 20 m'de altı banda ve 60 m uzaysal çözünürlükte üç banda sahiptir[8]. Sentinel-2 MSI verileri, 10 m'ye kadar yüksek uzaysal çözünürlük nedeniyle orman yangını sonrası etkileri gözlemlemek adına görüntü kompozitleri oluşturmak için kullanışlıdır. Yanık izlerinin daha kolay

ayırt edilebilmesi için sahte renkli bir kompozit kullanabilir. Sahte renk kompozitinin tarifi şöyledir:

- Kırmızı kanal = bant 12 (kısa dalga kızılötesi)
- Yeşil kanal= bant 8A (yakın kızılötesi)
- Mavi kanal=bant 2 (görünür mavi bant)

Bu tarif, yanık izlerini kahverengi renkte, sağlıklı bitki örtüsünü ise yeşil renkte vurgular.



Şekil 5:SENTINEL 2 MSI - Sahte Renk Kompozit Ürünü – 23.08.2023 (solda), 25.08.2023 (sağda) Çanakkale, Türkiye

Şekil 5'teki görüntülerde Çanakkale bölgesindeki yangın sonrası bölgede zarar gören alan net bir şekilde görülebilmektedir.



Şekil 6: Copernicus EFFIS uygulamasında yanan bölge tespiti - Çanakkale, Türkiye

EFFIS - Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi - AB'de ve komşu ülkelerde ormanların yangınlara karşı korunmasından sorumlu hizmetleri destekleyen ve Avrupa Komisyonu hizmetlerine ve Avrupa Parlamentosu'na Avrupa'daki orman yangınları hakkında güncel ve güvenilir bilgiler sağlayan bir platformdur[9]. Bu platformda MODIS ve SENTINEL uydu verilerinden alınan bilgilere göre 22-23 Ağustos tarihlerindeki yangınlarda toplam 4193 hektar alanın yandığı öngörülmüştür.

#### 2.2.2 SENTINEL 2 - MSI - Yanık Şiddeti Haritalama (Burn Severity Map) Ürünü

Birleşmiş Milletler Afet Yönetimi ve Acil Durum Müdahalesi için Uzay Tabanlı Bilgi Platformu - **UN-SPIDER** tarafından açıklandığı gibi, Normalleştirilmiş Yanma Oranı, yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) dalga boylarını kullanmaktadır[10]. Yangından önceki sağlıklı bitki örtüsü çok yüksek NIR yansımasına ve düşük SWIR tepkisine sahiptir. Buna karşılık, yakın zamanda yanmış alanlar NIR'de düşük yansımaya ve SWIR bandında yüksek yansımaya sahiptir.

Formül;

 NBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR) şeklindedir. veya MSI bant numaraları kullanılır:
 NBR = (B8A - B12) / (B8A + B12).

Daha sonra, yangın sonrası NBR'yi yangın öncesi NBR görüntüsünden çıkarılarak NBR görüntüsü farkı (dNBR olarak da bilinir) hesaplanabilir. Daha yüksek dNBR değerleri, daha yüksek yanık ciddiyetine işaret etmektedir.

Şekil 7'de de görüldüğü üzere Çanakkale bölgesindeki yangınlar bu skalaya göre orta dereceden yüksek dereceye varan bir yangın olarak nitelendirilebilir.



Şekil 7: 25.08.2023 tarihli Yanık Şiddeti Haritalama Ürünü - Çanakkale, Türkiye

# 3. SONUÇ

Küresel ve bölgesel ölçekte iklim koşullarında olumsuz yönde gerçekleşen değişiklikler ve insanın doğaya olan müdahalesinin artması nedeniyle orman yangınlarının sıklığı ve şiddeti artmıştır. Bu durum insanlar ve çevredeki tüm canlılar için yaşam tehditlerinin artmasına neden olmaktadır.

Özellikle Akdeniz havzasında, görülen iklimsel değişimler orman yangınlarının artışında önemli rol oynamaktadır. Uzun süreli kuraklıklar ve peş peşe gelen yüksek sıcaklık içeren dönemlerin sayısındaki yükselen ivmeli sürekli artış; yangın riskini artırmaktadır. Hatta özellikle can kayıplarına sebep olan ve orman ekosistemlerine de zarar veren büyük ölçekli orman yangınları her geçen yıl daha çok gözlemlenmektedir[11].

Bu nedenle orman yangını takibi, yangından korunma, yangın büyüklüğünü algılama, kriz yönetimi ve erken acil müdahale için önemlidir. Bu bağlamda, hava tahmincileri ve ilgili kuruluşlar için yangının uydular ile takip edilebilmesi kritik öneme sahiptir. Yangın sonrası bölgelerin toparlanma dinamiklerinin gözlem ve takibi, dayanıklılığın değerlendirilmesi ve yönetimi; yangınlardan sonra ekosistem restorasyonunu destekleyecek ilgili bilgilerin kayıt altına alınması açısından çok önemlidir[12].

Meteosat Üçüncü Nesil (MTG) ve Metop-İkinci Nesil (Metop-SG) uyduları, yüksek mekansal ve zamansal çözünürlüklerle yakın gelecekte yangınların ve zararlı etkilerinin izlenmesi için değerli veriler sağlayacaktır. Yeni nesil uydulardaki geliştirilmiş uzamsal ve zamansal çözünürlüğüne rağmen, ne yazık ki bu uydular orman yangınlarına erken müdahale gibi konularda yetkililere fayda sağlayacak gelişmişlikte çözünürlüğe sahip değildir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Lloret, Francisco, ve Josep Piñol, 'Wildfires', in Jamie Woodward (ed.), *The Physical Geography of the Mediterranean* (Oxford, 2009; online edn, Oxford Academic, 12 Kasım. 2020), https://doi.org/10.1093/oso/9780199268030.003.0033, Son Kontrol: 06.11.2023.
- [2] https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/IPCC%206.%20De%C4%9Ferlendirme%2
  0Raporu/IPCC%20-%20ar6\_WGI\_Y%C3%B6netici%20%C3%96zeti.pdf, Son Kontrol: 06.11.2023.
- [3] https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler, Son Kontrol: 06.11.2023.
- [4] https://ehs.unu.edu/news/news/fighting-fire-with-fire-5-facts-on-reducing-mediterraneanwildfire-risk.html, Son Kontrol: 06.11.2023.
- [5] https://training.eumetsat.int/course/view.php?id=461, Son Kontrol: 06.11.2023.
- [6] https://landsaf.ipma.pt/en/news/news/wildfires-swept-southern-europe-in-summer-2021/ Son Kontrol: 06.11.2023.
- [7] https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-olci, Son Kontrol: 06.11.2023.
- [8] https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument , Son Kontrol: 06.11.2023.
- [9] https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis\_current\_situation/, Son Kontrol: 06.11.2023.
- [10] https://www.un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practiceburn-severity-mapping, Son Kontrol: 06.11.2023
- [11] Varol, T., & Ertugrul, M. (2015). Climate change and forest fire trend in the Aegean and Mediterranean regions of Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 24(10B), 3436-3444.
- [12] Pérez-Cabello, F., Montorio, R., & Alves, D. B. (2021). Remote sensing techniques to assess post-fire vegetation recovery. Current Opinion in Environmental Science & Health, 21, 100251.

# Sentinel Ürünleri ile Orman Yangınlarında Skar Belirleme ve Rejenerasyon İzleme

S. Yeşer ASLANOĞLU Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Ankara yaslanoglu@hacettepe.edu.tr

#### ÖZET

Bu çalışma, orman yangınlarının doğal ve insan yapısı ekosistemlere olan etkilerini anlamak, uzun vadeli yangın yönetim stratejilerini geliştirmek ve orman yangınlarına etkili müdahale sağlamak amacıyla Sentinel uydu verilerinin etkili bir şekilde kullanılabilirliğini araştırmaktadır. Sentinel uydu ürünleri, özellikle orman yangınlarının sebep olduğu skarın belirlenmesi ve yangın alanında doğal rejenerasyonun izlenmesi gibi önemli uygulamalarda kullanılabilir veri kaynaklarıdır. Çalışmada, Sentinel yüksek çözünürlüklü görüntüleri, atmosferik kolon verileri ve zaman serisi analizleriyle orman yangınlarının skar oluşum süreçlerinin haritalandırılması ve yeniden ağaçlandırma ve/veya doğanın kendi kendini onardığı alanların izlenmesinin mümkün olduğu gösterilmektedir. Normalleştirilmiş Yanma Oranı (NBR), Nem İndeksi (MI) ve Normalize Fark Bitki Örtüsü (NDVI) gibi indekslerin kullanımıyla orman yangınlarının doğal ve insan yapısı ekosistemlere olan etkilerini daha iyi anlamak ve gelecekteki yangın yönetim stratejilerini geliştirmek için önemli bilgiler sunmaktadır. Ayrıca Karbon Monoksit (CO), Azot Dioksit (NO<sub>2</sub>) gibi yanma gazlarının ve aerosollerin haritalandırılması yapılarak uzun mesafeli taşınımın boyutu hakkında önemli bilgiler elde edilmesini sağlamaktadır. Sentinel ürünlerinin bu tür uygulamalarda kullanılması, orman yangınlarına karşı etkili bir müdahale ve uzun vadeli ekosistem iyileştirme çabalarını desteklemek için önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler — Uzun mesafeli taşınım, Sentinel, NDVI, NBR, MI, CO, NO2

#### 1. GİRİŞ

Yangınlar, doğal veya insan kaynaklı olmasına bakılmaksızın oldukça büyük boyutta yıkımlara neden olmaktadır. Elbette iklim değişikliğine uyum çerçevesinde doğal sebepli yangınların önlemesinde çok ciddi önlemlerin alınması ve kuralların esnetilmeden uygulanması gereklidir. Bununla birlikte insan kaynaklı yangınların halen söz konusu olabilmesi kuralsızlığın, var olan kuralları hiçe saymanın ve pek tabiki çevresel etik değerlere sahip olmamanın getirdiği ciddi sonuçlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Şüphesiz ki her türlü yangın sebep olduğu maddi hasarın yanısıra manevi olarak da yaralayıcı etkilere sahiptir. Özellikle küresel iklim değişikliği ve ısınma sonucu fenomen haline gelen orman yangınları, çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan yıkıcı etkileri nedeniyle dünya genelindeki pek çok araştırma grubu tarafından çalışılmaktadır [1]. Yürütülen araştırmalar son yıllarda orman yangınlarının artan sıklıkta ve şiddette gerçekleştiğini vurgulamaktadır [2]. İklim değişikliğinin yangın davranışı üzerindeki etkileri incelendiğinde, yangın oluşumunun değişen desenleri ve orman ekosistemlerine yöneltilen zorlukların kuraklık ve aşırı sıcaklık dalgaları ile tetiklenerek daha büyük boyutlara ulaştığı [4] beraberinde ortaya çıkan hava kalitesindeki kötüleşme ile neden olduğu ekonomik kayıplara dikkat çekilmiştir [7], [8].

Uydular, 50 yılı aşkın süredir sağladıkları bilimsel ve teknik destek ile hayatımızı önemli ölçüde kolaylaştırmakta ve bilimsel gelişmenin önünü açmaktadırlar. Pek çok alanda olduğu gibi uzay tabanlı uzaktan algılama sayesinde muhtemel yangın alanlarının, yangın sırası açığa çıkan enerji ve emisyonların, yangın sonrası skar boyutunun ve yine yangın sonrası bitki örtüsünün rejenerasyonunun ayrıntıları hakkında bilgi edinmek ve analizler gerçekleştirmek mümkündür. Bilimsel ve teknolojik anlamda büyük yatırımların sonucu olarak dünya çevresinde bir yörüngede ilerlerken yer ve atmosfer gözlemi yapan uydulardan son yıllarda Sentinel görevine ait olanlar oldukça büyük ilgi görmektedir. Türkçe karşılığı ile "gözcü" uyduları, Avrupa Uzay Ajansı (ESA), Avrupa Meteoroloji Uyduları İşletme Teşkilatı (EUMETSAT), Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF), Avrupa Ajansları ve Okyanus Merkatör Uluslararası işbirliği ile yürütülen Copernicus Programı çerçevesinde işletilmektedir [9]. Yine Copernicus Programı sayesinde Sentinel görevlerine ait veriler oluşturulmuş çevrimiçi kütüphaneler ile son kullanıcılara sunulmaktadır [10].

## 2. ÖZELLEŞMİŞ SENTİNEL VERİLERİ İLE YANGIN ANALİZİ

Bu çalışmanın konusu olan orman yangını analizlerinde kullanılan ilgili Sentinel uyduları ve taşıdıkları yüksek teknoloji sensörler sayesinde üretilen büyük veriler aşağıda açıklanmaktadır.

## 2.1 Sentinel 2

Sentinel-2 geniş kaplama alanına ve yüksek çözünürlüğe sahip çok kanallı görüntüleme görevidir. 2015 yılından beri birbirine 180°'lik açı ile yörüngesel geçişlerini gerçekleştiren Sentinel-2A ve Sentinel-2B uyduları değerli yük olarak Çok Kanallı Enstrüman (MSI) pasif sensörünü taşımaktadır. 290 km'lik kaplama genişliğine (swath width) sahip ikiz uydular, Ekvator üzerinde aynı noktayı 5 günlük zamansal döngüler ile ziyaret etmektedir. Bir başka değişle, Sentinel 2 uydularına ait gözlem ürünleri tüm gezegeni 5 günlük sürede mekansal olarak kaplamaktadır. Üzerinde taşıdığı MSI, 10'u Görünür Yakın Kızılötesi (VNIR) ve üçü Kısa Dalga Kızılötesi olmak üzere toplam 13 kanaldan ortalama 13 dakikada 10 m, 20 m ve 60 m mekansal çözünürlükte veri toplamaktadır [11]. İkiz uydular, SPOT ve LANDSAT uydularının bir nevi mirasını devam ettirerek tarım, arazi yönetimi, ormancılık, afet kontrolü, risk haritalandırması, insani yardım operasyonları ve güvenlik gibi Copernicus Programı tarafından sunulan hizmet ve uygulamaları destekleyici veriler üretmektedir.



Şekil 1: Sentinel-2 ikiz uydularına ait şematik gösterim [11].

Şekil 1'de şematik olarak gösterilen ikiz uyduların sağladığı ürünler aşağıda açıklanmaktadır [11]. **Gerçek Renk (True Color):** Doğal renkleri içeren ürün, Dünya'yı insanların doğal olarak gördüğü şekilde temsil eder.

Sahte Renk (False Color): Sahte renkli kompozit, genellikle bitki yoğunluğunu ve sağlığını değerlendirmek için kullanılır, çünkü bitkiler kızılötesi ve yeşil ışığı yansıtır, ancak kırmızıyı absorbe ederler. Şehirler ve açık arazi gri veya kahverengi, su mavi veya siyah olarak görünür.

Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI): Yeşil bitki örtüsünü nicelendirmek için basit, ancak etkili bir indekstir. Bitkilerin belirli dalga boylarında ışığı nasıl yansıttığına dayanan bir bitki sağlığı ölçüsüdür.

Sahte Renk (kentsel): Bu kompozit, kentsel alanları daha açık bir şekilde görselleştirmek için kullanılır. Bitki örtüsü yeşil tonlarında görünürken, kentsel alanlar beyaz, gri veya mor renklerle temsil edilir. Topraklar, kum ve mineraller çeşitli renklerde gösterilir. Kar ve buz koyu mavi olarak görünürken, su siyah veya mavi olarak görünür. Sular altında kalan bölgeler çok koyu mavi ve neredeyse siyahtır. Bu kompozit, orman yangınlarını ve volkan çukurlarını tespit etmek için kullanışlıdır, çünkü bunlar kırmızı ve sarı tonlarda görüntülenir.

Normalleştirilmiş Fark Nem İndeksi (Normalized Difference Moisture Index, NDMI): Bitki su içeriğini belirlemek ve kuraklıkları izlemek için kullanılır.

Kısa Dalga Kızılötesi (Short Wave Infra Red, SWIR): SWIR ölçümleri, suyun bitkilerde ve toprakta ne kadar bulunduğunu tahmin etmeye yardımcı olabilir, çünkü su SWIR dalga boylarını absorbe eder.

Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (Normalized Difference Water Index, NDWI): Su kütlelerini haritalamak için kullanılan en uygun indekstir.

Normalleştirilmiş Fark Kar İndeksi (Normalized Difference Snow Index, NDSI): Bu indeks bulut ve kar örtüsü arasındaki farkı ayırt etmek için kullanılabilir, çünkü kar kısa dalga kızılötesi ışığı absorbe ederken görünür ışığı yansıtır. Fakat bulut genellikle her iki dalga boyunda da yansıyan özellik gösterir. Kar örtüsü parlak canlı mavi olarak temsil edilir.

**Görüntü Sınıflandırması (Scene Classification):** Sentinel-2 verilerinin bulutlu, açık hava ve su piksellerini ayırt etmek için geliştirilmiştir ve yalnızca ESA'nın görüntü sınıflandırma algoritmasıyla elde edilen 2. Seviye ürünlerinin bir sonucudur.

#### 2.2 Sentinel 5P

Sentinel 5 Precursor (5P), Copernicus Programı kapsamında devreye alınan ilk atmosfer gözlem görevidir. Copernicus Sentinel 5P (Şekil 2), ESA, Avrupa Komisyonu (EC), Hollanda Uzay Ofisi (NSO), veri kullanıcıları, bilim insanları ve endüstrinin ortak çalışmasının ürünüdür. 2017 yılından beri üzerindeki değerli yük Troposferik Gözlem Enstrümanı (TROPOMI) sayesinde Copernicus Sentinel-5P görevinin ana hedefi, yüksek mekansal ve zamansal çözünürlükte atmosfer ölçümleri yaparak hava kalitesi, Ozon (O<sub>3</sub>) ve Morötesi (UV) radyasyonu ile iklim izleme ve tahmininde kullanılmak üzere ürün sağlamaktır. TROPOMI, her biri iki kanallı UV, görünür (VIS), yakın kızılötesi (NIR) ve SWIR olmak üzere toplam dört spektrometreden oluşmaktadır. Bu sayede Azot Dioksit (NO<sub>2</sub>), Kükürt Dioksit (NO<sub>2</sub>), O<sub>3</sub>, Formaldehit (HCHO), Karbon Monoksit (CO) gibi iz gazların yanısıra Bulutluluk ve UV – Aerosol İndeksi (AI) gibi parametreleri de ölçmektedir [12].



Şekil 2: Sentinel-5P uydusuna ait gerçek görüntü [12][11].

#### 2.3 Sentinel Hub

İlk iki başlık altında açıklanan uydular ve dolayısıyla sensörlerin ölçtüğü verilerin işlenmesi titizlik gerektiren bir konudur. Hiyerarşik Veri Formatındaki (HDF) büyük veri dosyaları Matlab veya python gibi programlama dillerinden faydalanarak hazırlanan kodlar ile işlenebilmekte ve gerekli analizler yapılabilmektedir. Uzmanlık gerektiren kod yazma işlemi şüphesiz ki daha ayrıntılı işlemlere olanak sağlamaktadır. Son yıllarda oldukça popüler hale gelen yapay zeka uygulamaları ve açık kaynak kodlu çevrimiçi kütüphaneler ile son kullanıcıların ihtiyaç duyduğu pek çok yararlı bilgiye erişim sağlanabilmektedir. Fakat yine de bu tip işlemlerde temel derecede bilgi sahibi olmadan erişilebilecek çeşitli kaynakların da faydalı olabilmesi imkansızdır.

Kodlama bilmeyenler için belirli arayüz uygulamalarının yanısıra özellikle Sentinel Hub [13] gibi ağ tabanlı Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) altyapısına sahip uygulamalar veriyi hızlı analiz edebilme imkanı sağlamaktadır. Bu sayede acil müdahale gerektiren durumlarda karar alma mekanizmaları için zaman kazandırmaktadır. Ayrıntılı kullanım klavuzları ve üyelik sistemi üzerinden ücretlendirme politikasına ait bilgiler yine uygulama internet sitesinde verilmektedir [13].

Şekil 3'te Sentinel Hub'ın uygulama arayüzü olan EO Browser kullanılarak elde edilmiş yangın alanları belirleme örneği verilmektedir. Arayüz açıldığında soldaki menüden ilgili uydu ve/veya kullanılmak istenen örneğin doğal yangınlar, hava kalitesi gibi temalar seçilebilmektedir. Ayrıca istene analiz için tarih bilgileri girilebilmekte ve harita pencesi kullanılarak tarihe bağlı olarak istenen mekandaki ilgili yörüngesel granüller seçilebilmektedir. Şekil 3'te Sentinel 2A uydusu ve eş zamanlı olarak doğal yangınlar teması seçilerek 30.07.2021 Antalya için oluşturulmuş gerçek renk üzerine yanma alanı belirleme örneği verilmektedir. Gerçek renk görüntünün üzerinde yanma nedeniyle sıcaklığın arttığı noktalar bu görselde kırmızı renkte işaretlenmiş olarak üretilmektedir. Bu sayede yangın dumanı altında kalan başlangıç noktası/ları daha kolay izlenebilmekte ve çıkış noktasına ait koordinat bilgileri elde edilebilmektedir.



Şekil 3: Sentinel Hub EO Browser, yanmış alan belirleme örneği (30.07.2021-Antalya/Manavgat).

Diğer bir önemli parametre olan NBR ise basınç noktalarından farklı olarak kullanıcıya yanan alanların belirlenebilmesi imkanını sağlamaktadır. Şekil 4'te bir örneği verilen NBR haritasında yanmış alanın daha da belirgin hale gelebilmesi için RGB renk değerleri yine soldaki menü kullanılarak özelleştirilebilir. Ayrıca harita penceresi üzerinde bulunan araçlar kullanılarak poligon oluşturma seçeneği ile alanın yüzölçümü hesaplanabilmektedir.



Şekil 4: Sentinel Hub EO Browser yangın bölgelerine ait NBR (sol) ve NBR haritası üzerinden yangın skar alanı belirleme (sağ) örneği.

Bitki örtüsü varlığı ile ilgili analizler gerçekleştirebilmek için önemli iki parametre olan NDVI ve MI tanımlamaları daha önceki bölümde verilmişti. Şekil 5'te ise bir yangın bölgesinin NDVI (sol) ve MI (sağ) değerlerinin zamansal olarak değişimi verilmektedir. Yangının gerçekleştiği tarihte yaşanan tahribat ve devam eden günlerde sıcaklığın ancak kademeli olarak düşmesi nedeniyle bitki örtüsü ve nem içeriğindeki sarsıcı düşüş açıkça görülebilmektedir. Fakat tekrar net bir şekilde grafiklerden görülebileceği üzere yangın hadisesinin üzerinden yaklaşık olarak iki yıl geçmesine rağmen bitki örtüsü ve nemlilik halen yangından önceki seviyelere ulaşamamıştır. Anlık bir kıvılcım ile başlayan felaketin yaralarını sarmak için doğanın uzun yıllara ihtiyacı vardır.



Şekil 5: Sentinel Hub EO Browser yangın bölgelerine ait NDVI (sol) ve MI (sağ) örneği.

Son olarak yine Sentinel Hub EO Browser kullanılarak Sentinel 5P CO (sol) ve NO<sub>2</sub> (sağ) ürünlerinin görselleştirilmesine ait örnekler Şekil 6'da verilmektedir. Farklı bölgelerdeki yangınlara ait gaz kirleticilerinin yoğunlukları ve o andaki hakim rüzgar yönü doğrultusunda kirleticinin ve dolayısıyla dumanın dağılımı görülebilmektedir. Kirleticinin özelliği, yarılanma ömrü ve rüzgar hızına bağlı olarak uzun mesafeli taşınımın söz konusu olup olmadığı yine bu haritalar yardımı ile hızlıca yorumlanabilmektedir. Tabiki rüzgar hızı, yönü ve şiddeti gibi farklı meteorolojik bilgilere ihtiyaç duyulmakla birlikte, bu tip hızlı oluşturulabilecek kirletici dağılım haritaları sayesinde yangından etkilenebilecek bölgeler için erken uyarı ve önlemlerin alınması kolaylaşmaktadır.



Şekil 6: Sentinel Hub EO Browser yangın bölgelerine ait CO (sol) ve NO<sub>2</sub> (sağ) örneği. 767

#### **3. GENEL DEĞERLENDİRME**

Sentinel programı kapsamında yörünge geçişleri sırasında atmosferik ve yersel gözlem ürünleri sağlayan uydular ve Copernicus ve Sentinel Hub gibi verinin yanısıra görselleştirme arayüzleri ve ayrıntılı bilgi sağlamaktadır. Farklı uyduların, meteoroloji enstitülerinin ve uzay ajanslarının da benzer hizmetleri sağladığı bilinmektedir. Bu hizmetler, sadece acil durum veya yangın olaylarında değil, mevcut kirliliğin veya durumun izlenmesinde büyük fark yaratmaktadır. Bilimsel araştırmalar için en gerekli unsur olan veriyi sağlamakta ve hatta işlenebilmesinin önünü açmaktadır. Ayrıca hızlı arayüzler sayesinde sadece bilim dünyasının değil, aslında karar vericilerin hızlı aksiyon alabilmelerine de yardımcı olmaktadır. Bu gibi mekanizmaların artması ve de yaygınlaşması, politika yapıcıların ve uygulayıcıların iş süreçlerinde daha çok bilim ve teknikten yararlanarak daha doğru kararlar almalarına olanak sağlayacaktır.

#### KAYNAKLAR

- Weilnhammer V., Schmid J., Mittermeier I., Schreiber F., Jiang L., Pastuhovic V., Herr C., Heinze S., Extreme Weather Events in Europe and their health consequences – A Systematic Review, International Journal of Hygiene and Environmental Health, (233, 113688), 2021.
- [2] Abatzoglu J. T., Williams A. P., Impact of Anthropogenic Climate Change on Wildfire Across Western US Forests, Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, (113 (42) 11770-11775), 2016.
- [3] Tyukavina A., Potapov P., Hansen M. C., Pickens A. H., Stehman S. V., Turubanova S., Parker D., Zalles V., Lima A., Kommareddy I., Song X.-P., Wang L., Harris N., *Global Trends of Forest Loss Due to Fire from 2001 to 2019*, Frontiers in Remote Sensing, (3:825190), 2022.
- [4] Juang C. S., Williams A. P., Abatzoglou J. T., Balch J. K., Hurteau M. D., Moritz M. A., Rapid Growth of Large Forest Fires Drives the Exponential Response of Annual Forest-Fire Area to Aridity in the Western United States, Geophysical Research Letters, (49, e2021GL097131), 2022.
- [5] Fischer E., Sippel S., Knutti R., Increasing Probability of Record-Shattering Climate Extremes, Nature Climate Change, (529–534), 2019.
- [6] Çamalan G., Akıl S., Pekin M. A., Using Meteorological Early Warning System (MEUS) and Meteorological Indices for Assessment of Manavgat Forest Fires Occurred in Turkiye July-August 2021, European Journal of Forest Engineering, 9(1), 10-25, 2023.

- [7] Jaffre D. A., Widger N., Downey N., Pfister G., Boynard A., Reid S. B., Impact of Wildfires on Ozone Exceptional Events in the Western U.S., Environmental Science & Technology, (11065–11072), 2013.
- [8] Nolan R. H., Collins L., Gibson R. K., Samson S. A., Rolls K. T., Milner K., Medlyn B. E., Price O. F., Griebel A., Choat B., Jiang M., Boer M. M., *The Carbon Cost of the 2019-20 Australian Fires Varies with Fire Severity and Forest Type*, Global Ecology and Biogeography, (131–2146), 2022.
- [9] https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/copernicus, Sentinels, Son Kontrol: 02.11.2023.
- [10] https://scihub.copernicus.eu/, Copernicus Open Access Hub, Son Kontrol: 02.11.2023.
- [11] https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/copernicus/sentinel-2, Son Kontrol: 02.11.2023.
- [12] https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/copernicus/sentinel-5p, Sentinel-5P, Son Kontrol: 02.11.2023.
- [13] https://www.sentinel-hub.com/, *Sentinel Hub*, Son Kontrol: 02.11.2023.