II. METEOROLOJİK UZAKTAN ALGILAMA SEMPOZYUMU

UZALMET 2015

BİLDİRİ KİTAPÇIĞI

ISBN: 978-605-4610-88-4



uzalmet.mgm.gov.tr

BİLDİRİ BAŞLIĞI	YAZARLAR	Sayfa No
AIRS Versiyon 6 Termodinamik Faz, Etkin Çap ve Optik Kalınlık Ürünlerinin Sistematik Değerlendirilmesi	Volkan Fırat	1
TÜRKİYE İÇİN UYDU KAYNAKLI ATMOSFER ÜRÜNLERİ VERİ TABANININ TANITILMASI	İbrahim SÖNMEZ, Erdem ERDİ, Fatih DEMIR, Murat ARSLAN, Hakan KOÇAK, Ahmet ÖZTOPAL	13
KONVEKTİF YAĞIŞLARDA BULUT TEPE SICAKLIĞI İLE YAĞIŞ MİKTARI ARASINDAKI İLİŞKİ	Gökhan Keskin, Ahmet ÖZTOPAL	21
Kıyı Ege ve Güney Marmara'da, Kısa ve Orta Vadeli Tahminlerde Öngörülemeyen Kuvvetli Hava Olaylarının Nowcasting Yöntemleri ile Belirlenmesi Üzerine bir Çalışma	Barış UZUN, Köksal KÖKSOY	38
Hiper-Spektral AVIRIS Verisini Kullanarak Sub-piksel Bulut/Açık Hava Kontaminasyonunun Araştırılması	Celil KAPLAN, Jianglong ZHANG, Muharrem KUZUCA	52
SİS OLAYLARININ METEOROLOJİK UYDU ÜRÜNLERİ İLE TESPİTİ VE ANALİZİ	Oğuzhan KOLAY, Metehan BÜYÜKKAYA	64
Toz-Yağış İlişkisinin Uydu Verileri ile İncelenmesi	Ayşe Gökçen Işık, Kahraman Oğuz, Esin Oğuz, Cihan Dündar	75
Hava Ulaşımını Etkileyen Bazı Meteorolojik Hadiselerin Uzaktan Algılama Verileri Kullanılarak İncelenmesi	Erdem ERDİ, Fatih DEMIR, Murat ÇAKIR, Mehmet ZEYBEK	87
MSG GÖRÜNTÜLERİNDEN NDVI ÜRÜNLERİNİN SERİ VE PARALEL HESAPLATILMASI	Muhammet Ali PEKİN, Kahraman OĞUZ	96
Meteoroloji Radarı ve Yıldırım Tespit ve Takip Sistem Çıktılarından Meteorolojik Uyarı Üretimi	Sinan ÇEVİK, Murat GÜLER, Ömer Faruk KAYA, İsmail TOPCAN	104

BİLDİRİ BAŞLIĞI	YAZARLAR	Sayfa No
YILDIRIM TESPİT VE TAKİP SİSTEM DOĞRULUĞU	Yusuf Salih EROĞLU, Salih ÇAKIL	112
TOMS ve OMI UYDU TÜRKIYE OZON VERILERI ANALIZI (1979-2015) ve ANKARA BREWER SPEKTROFOTOMETRE OZON VERILERI (2006-2015) ile KARŞILAŞTIRMASI	Mithat EKİCİ, Osman ESKİOĞLU, Yılmaz ACAR	121
Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Bitki Biyofiziksel Parametrelerinin Belirlenmesi ve Analizi	Sezel Karayusufoğlu Uysal, Levent Şaylan, Barış Çaldağ	133
EUMETSAT Üçüncü-Parti Veri Servisi	Aydin Gurol Erturk, Thomas Heinemann, Simon Elliott	141
RADAR YANSIMALARI (REFLEKTİVİTE) VE YER ÖLÇÜMLERİNİN ORTAK İHTİMAL DAĞILIM MODELİ	Yavuz Selim GÜÇLÜ, Murat ARSLAN, Ahmet KÖSE, Osman ÇAYLAK	151
İSTANBUL BOĞAZI KARADENİZ ÇIKIŞINDA KURULAN HF (HIGH FREQUENCY) DENİZ RADARI'NIN, METEOROLOJİK AMAÇLI ÖLÇÜM ŞAMANDIRASI (MAS) İLE VERİFİKASYONU	Cem DALGÜN, Pınar ESKİOĞLU, Yüksel YAĞAN	165
Samsun İlinde Yaşanan Meteorolojik Kökenli Afetlerin Yönetiminde Radar Görüntülerinin Kullanılması	Aytek Ersan, Emre Çoşkunlu, Erkin Tekin, Levent Uçarlı, Kıvanç Çalışkan ve Erkan Koparmal	175
Radar Ürünlerinin Yorumlamasında Topoğrafik Etkenler	Cüneyt Geçer, Burak Bozkurt	189
SODAR Verilerinin İstatiksel İncelemesi	İsmail SEZEN, Emrah Tuncay ÖZDEMİR, Ali DENİZ	201
Polarimetrik Radarlarda Meteorolojik Olmayan Eko Ayırımı	Sevgi Zübeyde Gürbüz, Uğur Oğuz	223
DENİZ ETKİLİ KAR YAĞIŞININ MEZO VE MİKRO ÖLÇEKLİ ANALİZİ	E. Tuncay Özdemir, Fatma Buran, Ali Deniz	231

BİLDİRİ BAŞLIĞI	YAZARLAR	Sayfa No
Bulut Tepe Yüksekliğinin Belirlenmesinde Radar verileri ile Yüksek Atmosfer Sondaj Verilerinin Karşılaştırılması	Erhan ARSLAN, Mehmet Uğur YILDIRIM, Hüseyin Yüksel ÖZALP, Barış ÖZGÜN	248
Meteoroloji Radarlarında Kullanılan Farklı Yağış Hesaplama Yöntemlerinin Tutarlılık Analizi	Kurtuluş Öztürk , Alper Çubuk	260
RADAR YANSIMALARINDAN YER YAĞIŞ VERİLERİNİN BULANIK MANTIK İLKELERİ ÖNGÖRÜSÜ	Zekai ŞEN, Ahmet KÖSE, Yavuz Selim GÜÇLÜ, Selçuk TÜTÜNCÜ	271
DOĞU AKDENİZ VE KARADENİZ ÜZERİNDEKİ RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN UYDU VERİLERİ İLE BELİRLENMESİ VE GİRİT ADASI ÖRNEĞİ	Emre Can Ay, Ahmet ÖZTOPAL, Adem TAŞCI	284
TÜRKİYE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİNİN UYDU VERİLERİ YARDIMIYLA BELİRLENMESİ	Atagün UNAN, Ahmet ÖZTOPAL	310
Tropical Rainfall Measuring Mission Uydu Kaynaklı Yağmur Verilerinin Yer Gözlemleri ile Karşılaştırılması	M. Tuğrul Yılmaz, Muhammad Amjad, Meriç Selamoğlu	327
Uzaktan algılama araçlarının dolu yağışının tahmininde kullanımı	Mehmet ÜNLÜER, İlker KOÇ, Göksel TURAN	338
AKDENİZ VE KARADENİZ ÜZERİNDEKİ YAĞIŞ REJİMLERİNİN UYDU VERİLERİ İLE BELİRLENMESİ	Ayşe İrem İNCİRCİ, Ahmet ÖZTOPAL	349
Türkiye'de 2006 Yılı için CM-SAF SIS ve Yüzey Işınım Verilerinin Karşılaştırması	Serhat Şensoy, Ercan Karakoç, Christine Trager-Chatterjee	366
23 Şubat 2015 Tarihinde Çeşme'de Meydana Gelen Sel Felaketinin Lokal Bilgiler ve FFGS Ürünleriyle Taşkın Tahmini ve Analizi	Ertan TURGU, Seyfullah Çelik, Halis Özcan	376

BİLDİRİ BAŞLIĞI	YAZARLAR	Sayfa No
ARTVİN-HOPA TAŞKININ UYDU-RADAR VERİLERİYLE ANALİZİ VE TAŞKIN HESABI	Esin OĞUZ, Yusuf ULUPINAR, Alaattin UĞURLU, Başak YAZICI	398
07.08.2014 tarihinde İstanbul'da Meydana Gelen Kümülonimbüs Aktivitelerinin Getirdiği Orajların Sinoptik ve Uzaktan Algılama Verileri Kullanılarak İncelenmesi	Gülru Madan, Mert Uluyazı	409
Ege Denizi üzerinde gerçekleşen 21-22 Ocak 2004 hızlı gelişen siklonun Türkiye üzerindeki etkilerinin uydu verileri, model çıktıları ve gözlem verileri ile incelenmesi	Murat KARACAKAYA, Elif Müdrike KOÇ	450
Ege Bölgesi'nde Uzun Yıllar Yağış Analizi ve 20 Mayıs 2015 tarihinde İzmir'de Meydana Gelen Şiddetli Yağış ve Sel Olayının Meteorolojik Analizi	Ercüment Avşar	463
NOWCASTING UYGULAMASI; 2 ŞUBAT 2015 ATATÜRK ULUSLARARASI HAVALİMANI ÖRNEĞİ	E. Tuncay Özdemir, Hakkı Baltacı, Mert Uluyazı, Ali Deniz	480
7-12 Eylül 2015 tarihli Toz Fırtınasının Uzaktan Algılama Verileri ile Analizi	Kahraman Oğuz, Cihan Dündar, Muhammet Ali Pekin, Beril Salman Akın	500
17.10.2014 tarihinde Hatay İskenderun Körfezi Açıklarında Gerçekleşen Hortum Hadisesinin Sinoptik Analizi ile Uydu ve Radar Ürünleri Kullanılarak Tesbiti	Akın Kolca, Mert Uluyazı	508
DENİZ ETKİSİ KAR YAĞIŞLARI VE GÖK GÜRÜLTÜSÜ 7 OCAK 2015 TRABZON ÖRNEĞİ	Metehan Büyükkaya	542
Uydu Tabanlı Yağış Verileri ile Gaziantep Taşkınlarının İncelenmesi	Ahmet Emre Tekeli	553
Farklı yağış verileri kullanarak bir ani taşkın olayının incelenmesi	İsmail Yücel	562

BİLDİRİ BAŞLIĞI	YAZARLAR	Sayfa No
METCAPPLUS PROGRAMINDA UZAKTAN ALGILAMA ÜRÜNLERİ İLE METEOROLOJİK OLAYLARIN İNCELENMESİ 22 EYLÜL BODRUM SELİ	M.Kuddusi SARI, Hüseyin BULUT	571
15 ve 21 Ağustos 2015 Tarihlerinde Çubuk ve Etimesgut'ta Meydana Gelen Fırtına ve Şiddetli Yağışın Analizi	Seyfullah Çelik, Hüseyin Şahin, Bahattin Aydın, Özkan Öz	582
Gökçeada Selinin Uydu Ve Radar Görüntüleri Eşliğinde Sinoptik Açıdan İncelenmesi	Salman GAYRETLİ, Fevzi Burak Tekin	596
25 Mayıs 2015 Tarihinde Ankara'da Meydana Gelen Kuvvetli Dolu Yağışının Uzaktan Algılama Ürünleri İle Belirlenmesi	Yusuf Ulupınar, Seyfullah Çelik, Alaattin Uğurlu	608
24 Ağustos 2015 Tarihinde Hopa'da Meydana Gelen Şiddetli Yağışın Meteorolojik ve Hidrometeorolojik Analizi	Yusuf Ulupınar, Seyfullah Çelik, Ekrem Gülsoy, Ali İhsan Akbaş, Serhan Köse	622

AIRS Versiyon 6 Termodinamik Faz, Etkin Çap ve Optik Kalınlık Ürünlerinin Sistematik Değerlendirilmesi

Volkan Hüseyin Fırat
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
vhfirat@mgm.gov.tr

Shaima L. Nasiri
U.S. Department of Energy
Office of Science
USA
shaima.nasiri@science.doe.gov

Brian H. Kahn
California Institute of Technology
NASA – Jet Propulsion Laboratory
USA
brian.h.kahn@jpl.nasa.gov

ÖZET

AIRS versiyon 6 bulut ürünleri Nisan 2013'te yayınlanmıştır ve 13 yıllık AIRS veri kaydının tamamı için kullanılabilir durumdadır. Versiyon 6 bulut ürünleri her bir AIRS görüş alanında etkin bulut yoğunluğu ve bulut tepe basıncının iki farklı seviyesi için ürünler (versiyon 5 ürünleri yalnızca AIRS/AMSU görüş alanı için türetiliyordu) ve bulut termodinamik fazını da içeren yeni ürünler bulundurmaktadır. Bulut termodinamik fazının temel görevi buz bulutu etkin çapı, optik kalınlığı ve bulut sıcaklığı türetilmesine yardımcı olmak için buz bulutu sahnelerini belirlemektedir.

Bu çalışmada AIRS bulut termodinamik fazı, buz bulutu etkin çapı ve buz bulutu optik kalınlığı ürünlerinin ayrıntılı ve sistematik değerlendirilmesi sunulacaktır. Coğrafik bölge, yılın zamanı ve uydunun bakış açısının etkileri üzerine odaklanılacaktır (daha önceki

çalışmalar yalnızca uydu bakış açısının sıfıra yakın olduğu durumları incelemiştir). Bu çalışma, filtrelenmiş verilerin global olarak gridlenmiş setlerini oluşturmak için Smith ve diğerlerinin (2013) geliştirmiş olduğu uzay-zaman gridleme yaklaşımına dayanmaktadır. Bu yaklaşım birçok parametrenin arasındaki karşılıklı ilişkileri her hangi bir zaman dilimi için inceleme olanağı sağlamaktadır. AIRS verisinin tamamı üzerinden ortalama alınarak elde edilen sağlam istatistik ile sık olmayan ilişkileri gözleme imkanı dahi vardır.

Anahtar Kelimeler — AIRS; bulut fazı, uydu bakış açısı.

1. GİRİŞ

Bulutlar dünyanın ışıma dengesi ve iklimi üzerinde çok önemli bir rol oynarlar, buna karşın güncel iklim modellerinin en büyük belirsizliklerinden biri hala bulutlardır. Bulutlar hem atmosferden dışarı doğru olan uzun dalga ışınımı soğurur hem de güneşten gelen kısa dalga ışınımı yansıtırlar. Bu nedenle, bulut özelliklerinin belirli koşullar altında incelenmesi doğru bir şekilde değerlendirilmesi iklim modellerini geliştirmek adına çok önemlidir. Bulut termodinamik fazının (buz, sıvı su ya da bilinmeyen faz) belirlenmesi, bulut-iklim geribildirimlerinin incelenmesinde gerekli olan bulut parçacık boyutu ve optik kalınlığı özelliklerinin elde edilmesinde önemli bir adımdır [1]. Hem gün ışığında hem gece zamanı uydu gözlemlerine olanak sağladığı için bulut termodinamik fazının incelenmesinde yalnızca kızılötesi ışınıma dayanan bir yöntem kullanmak yararlıdır [2]. AIRS versiyon 6 bulut termodinamik fazı, sıvı su ve buzun tayfsal imzalarını birbirinden ayıran bir takım parlaklık sıcaklığı eşiği ve parlaklık sıcaklığı farkları testlerine dayanan bir kızılötesi yöntem ile elde edilmiştir [2-3]. Ayrıca, çok-algılı verinin birleştirilmesi ya da karşılaştırılması ile alakalı zorluklarla baş edebilmek ve veri devamlılığı ile küçültülmesini sağlamak adına bulut ürünlerinin incelenmesinde bir örgüleme algoritması kullanmak avantajlıdır [4].

Bu çalışmada, Smith ve arkadaşları (2013) tarafından geliştirilen uzay-zaman örgüleme algoritması [4] kullanılarak AIRS versiyon 6 takviye ürün dosyaları ile sağlanan yeni bir bulut özellikleri ürün setinin değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Jin ve Nasiri (2014) çalışması gibi önceki çalışmalar yalnızca nadir bakış açısına yakın uydu bakış açıları için bulut termodinamik fazını incelemişlerdir. Bu çalışma, bulut ürünlerinin iklim çalışmalarında referans olarak kullanılabilmesine olanak sağlamak adına, uydu bakış açısının AIRS versiyon 6 bulut termodinamik fazı, optik kalınlık ve etkin çap ürünlerinin üzerindeki etkisini incelemektedir.

2. METODOLOJİ

2.1. Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) Versiyon 6 Bulut Ürünleri

AIRS versiyon 6 (v6) bulut ürünleri Nisan 2013'te yayınlanmış ve tüm 13 yıllık AIRS veri kaydı için kullanılabilir durumdadır. Aqua platformunda bulunan AIRS cihazı 3.74 – 4.61 μm, 6.20 – 8.22 μm ve 8.8 – 15.4 μm kızılötesi dalga bantlarını 2378 kanal ile kapsayan bir kızılötesi spektrometre/radyometredir ve tayfsal çözünürlüğü $\lambda/\Delta\ \lambda = 1200$'dür [5]. AIRS'in konumsal çözünürlüğü nadir bakış açısında 13.5 km'dir ve günlük yaklaşık 2.9 milyon görüş alanı gözlemi vardır [3]. Versiyon 5 ve 6 bulut ürünleri algoritmaları arasında, versiyon 6'ya bulut termodinamik fazı, buz bulutu optik kalınlığı, buz bulutu etkin çapı ve buz bulutu tepe sıcaklığının eklenmesi gibi önemli değişiklikler vardır [3].

Buz ile sıvı suyu parlaklık sıcaklığı (BT) eşik değerleri ve parlaklık sıcaklığı farkları (BTD) testlerine dayanarak birbirinden ayıran AIRS v6 bulut termodinamik fazı algoritması Jin ve Nasiri (2014) çalışmasında tanımlanmıştır. Bu testler yalnızca 0.01'den büyük etkin bulut yoğunluğu olan AIRS piksellerinde gerçekleştirilmiştir. Bu algoritma dört adet buz testi içerir: (1) 960 cm^{-1}'de BT (BT_{960})< 235 K; (2) 1231 ve 960 cm^{-1} arasında BTD ($BTD_{1231-960}$) > 0.0 K; (3) $BTD_{1231-930}$ > 1.75 K; ve (4) $BTD_{1227-960}$ > -0.5 K. Ek olarak, iki adet sıvı su testi bulunmaktadır: (1) $BTD_{1231-960}$ < -1.0 K; (2) $BTD_{1231-930}$ < -0.6 K [3]. Bu algoritma buz ve sıvı su testlerinden geçenlerin toplamını alır ve elde edilen toplama göre ilgili sahnenin buz, sıvı su ya da bilinmeyen faz olarak belirler. Bu toplam için 1'den 4'e daha büyük değerler, sahnenin buz fazında olması güvenilirliğinin daha yüksek olmasını ifade eder. Toplamın -1'den -2'ye daha düşük değerde olması ise ilgili sahnenin sıvı su fazında olması güvenilirliğinin daha yüksek olmasını ifade eder. Belirsiz faz (toplamın sıfır olması) testlerden hiç birinin geçmediğine ya da bir veya iki buz ve sıvı su testinin aynı anda geçtiğine işaret eder. Jin ve Nasiri (2014) çalışması belirsiz faz için %99 dan fazla durumda hiçbir testin geçmediğini göstermiştir.

Versiyon 6'da bulunan yeni buz bulutu optik kalınlığı ve buz bulutu etkin çapı parametreleri negatif değerleri elimine etmek amacı ile logaritmik uzayda, algoritma tarafından buz olarak belirlenen piksellerde eş zamanlı olarak türetilmişlerdir [3].

2.2. Uzay-Zaman Örgüleme ve Filtreleme Algoritması

Bu çalışmada, filtrelenmiş AIRS v6 Level 2 bulut termodinamik fazı, buz bulutu optik kalınlığı ve buz bulutu etkin çapı ürünlerinin global olarak örgülenmiş veri setlerini oluşturmak için Smith ve arkadaşları (2013) tarafından geliştirilen uzay-zaman örgüleme yaklaşımına dayanılmıştır. Filtreleme algoritması maksimum enlem, maksimum güneş zenit açısı ve maksimum uydu bakış

açısı gibi bazı genel filtreleme parametrelerinin ayarlanmasına olanak verir. Bu parametreler yalnızca istenilen durumların incelenebilme olanağını sağlar. Örneğin, maksimum enlem filtresi doğru şekilde ayarlanarak yalnızca tropik verinin ya da maksimum güneş zenit açısının 90^o olarak ayarlanması ile yalnızca gün ışığı verisinin incelenmesine olanak tanınır. Genel filtreleme parametrelerinin yanı sıra uydu bakış açısının farklı durumları birbirinden ayrılacak şekilde ilave filtreleme parametreleri kullanılmıştır. Ayrıca, bulut termodinamik fazı (*cldPhase*), buz bulutu optik kalınlığı (Tau) ve buz bulutu etkin çapı (De) için, bu parametreleri çeşitli uydu bakış açısı durumlarına göre incelemek üzere, farklı indisler oluşturulmuştur (Tablo 1). Çeşitli uydu bakış açısı (*vzen*) durumları Tablo 2'de özetlenmiştir.

Uzay-zaman örgüleme algoritması (STG) günlük gözlemleri n^o x n^o eşit açı ($n > 0$) örgülerine sığdırma imkanı sağlamaktadır. STG yöntemi uzay örgüleme ve zaman örgüleme olarak isimlendirilen iki aşamadan oluşmaktadır. Bu çalışmada uzay örgüleme için 2^o x 2^o örgü kutuları kullanılmıştır. Uzay örgüleme aşamasında, gözlemler belirlenmiş örgü hücrelerine göre en yakın komşu setlerine toplanır. Her bir örgü hücresini en yakın komşu gözlemine atayan geleneksel en yakın komşu yaklaşımının aksine, bu yöntem her bir gözlemi, gözlemin en yakın komşu örgü hücresine atar; böylece, örnek sayısı her bir hücre için en azından bir olur. İstatistiksel analiz zaman örgüleme aşamasında gerçekleştirilir. Bu aşamada, uzay örgüleme kısmında en yakın komşu setlerine toplanmış olan günün farklı zamanlarından gözlemler istatistiksel olarak tek bir günlük değere özetlenir. Daha sonra, günlük olarak hesaplanmış bu örgüler bir ay, yıl ya da yıllar gibi daha uzun istatistikler oluşturmak üzere bir araya getirilir.

Tablo 1: AIRS v6 Level 2 değişkenlerinin ve aralıklarının tanımlanması.

Cloud Phase	
cldPhaseIce	$1 \leq \text{cldPhase} \leq 4$
cldPhaseWat	$-2 \leq \text{cldPhase} \leq -1$
cldPhase0	$\text{cldPhase} = 0$
cldPhaseM2	$\text{cldPhase} = -2$
cldPhaseM1	$\text{cldPhase} = -1$
cldPhaseP1	$\text{cldPhase} = 1$
cldPhaseP2	$\text{cldPhase} = 2$
cldPhaseP3	$\text{cldPhase} = 3$
cldPhaseP4	$\text{cldPhase} = 4$

Optical Thickness	
TauLow	$0 \leq \tau \leq 1$
TauMid	$1 < \tau \leq 2.5$
TauHigh	$2.5 < \tau \leq 8$

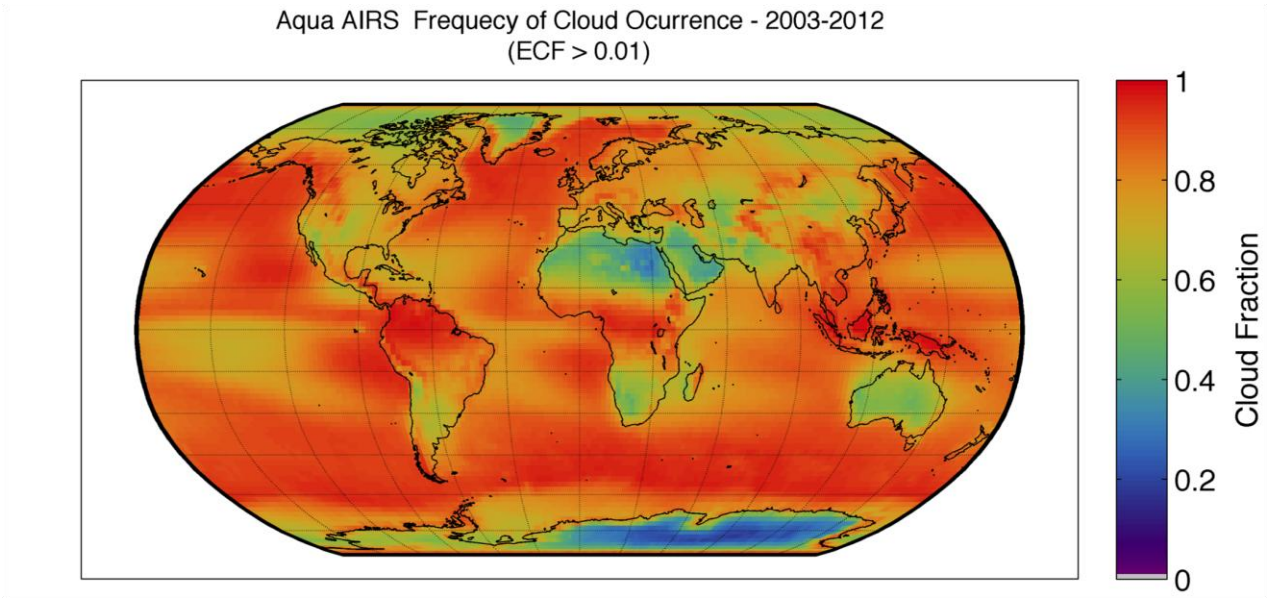
Effective Diameter (μm)	
DeLow	$0 \leq D_e \leq 40$
DeMid	$40 < D_e \leq 52$
DeHigh	$52 < D_e \leq 100$

Tablo 2: AIRS v6 Level 2 verisi için STG filtreleme parametreleri.

Viewing Zenith Angle	
vzenLow	$0° < \mid \text{vzen} \mid \leq 27°$
vzenMid	$27° < \mid \text{vzen} \mid \leq 38°$
vzenHigh	$38° < \mid \text{vzen} \mid \leq 48°$

3. SONUÇLAR

Aqua AIRS v6 L2 bulut ürünleri 2003 – 2012 yılları arasındaki on yıllık zaman için STG algoritması kullanılarak incelenmiştir. Şekil 1 on yıllık AIRS v6 L2 verisi için bulut yoğunluğu dağılımını göstermektedir. Burada sunulan dağılım IPCC AR5'da CloudSat/CALIPSO 2B-GEOPROF-LIDAR verisi ile 2006 – 2011 yılları arası için verilen dağılıma [6], 1971'den 2001'e High Resolution Infrared Radiometer ile verilen dağılıma [7] ve 2007 yılı için AIRS verisi ile verilen dağılıma [3] çok benzerdir.



Şekil 1: *Filtrelenmiş ve örgülenmiş Aqua AIRS v6 L2 bulut yoğunluğunun global dağılımı. Burada bulut yoğunluğu (Cloud Fraction) gözlenen etkin bulut yoğunluğu (ECF) > 0.01 durumlarının toplam gözlenen ECF durumlarına oranını temsil eder.*

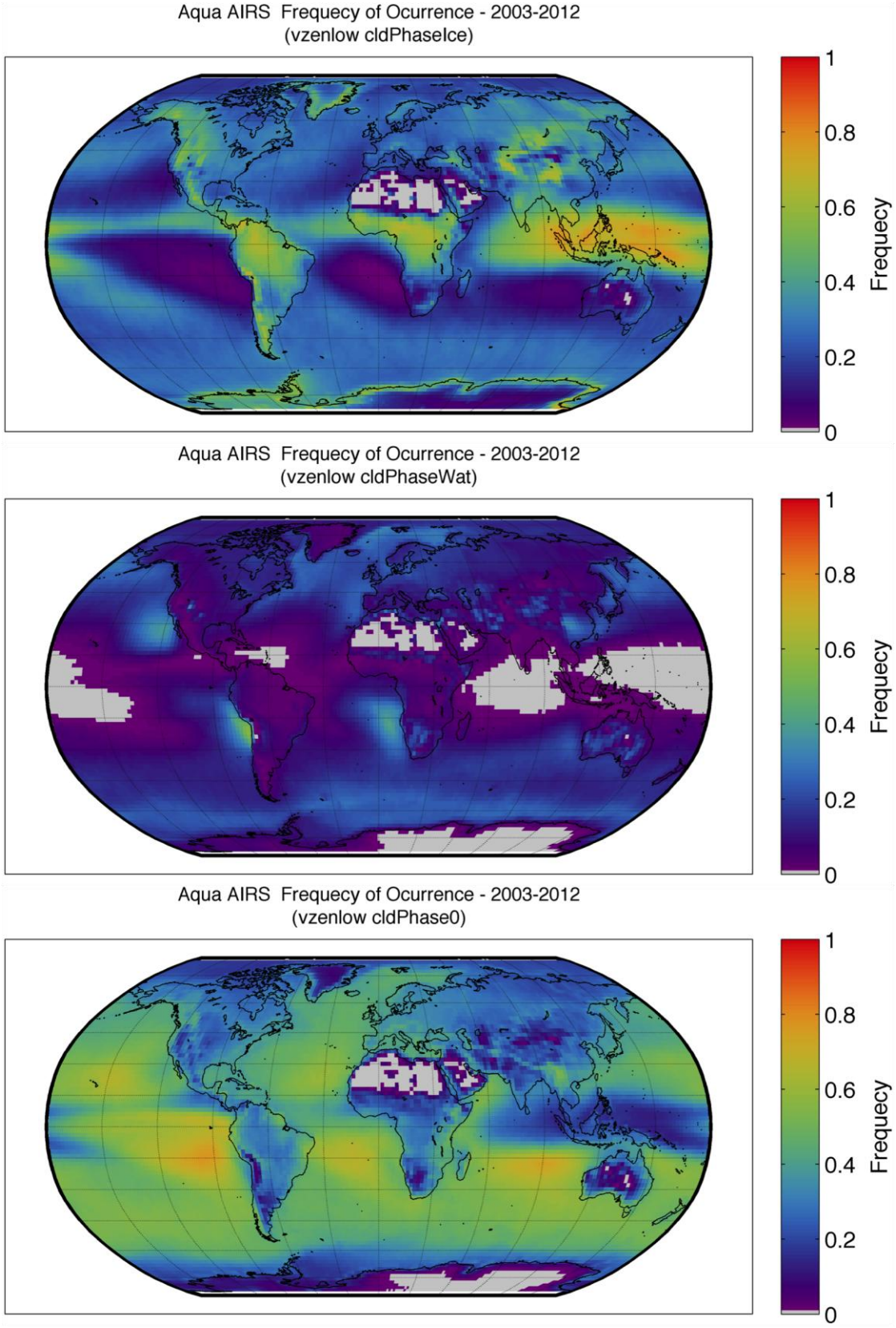
Tablo 2'de özetlenen *vzenLow* kategorisi ve 2003 – 2012 yılları için buz, sıvı su ve bilinmeyen fazların global dağılımları Şekil 2'de verilmiştir. Buz fazı frekansı Maritime Continent, Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ), orta Afrika ve Güney Amerika'nın kuzeyinde en yüksektir.

Sıvı su frekansı ise Kaliforniya, Güney Amerika, Güney Afrika ve Avustralya üzerinde marin stratus ve stratokumulus bölgelerinde en yüksektir. Şekil 2'de verilen buz ve sıvı su dağılımları Lin ve arkadaşları (2010) tarafından CERES – MODIS verisi ile 2005 yılı için verilen dağılıma [8] ve Kahn ve arkadaşları (2014) tarafından 2007 yılı için AIRS verisi ile verilen dağılıma [3] çok benzerdir. Ayrıca, bilinmeyen faz dağılımı yine Kahn ve arkadaşları (2014) çalışmasında verilen dağılıma çok benzerdir ve genel olarak alize bulutlarını algılamaktadır.

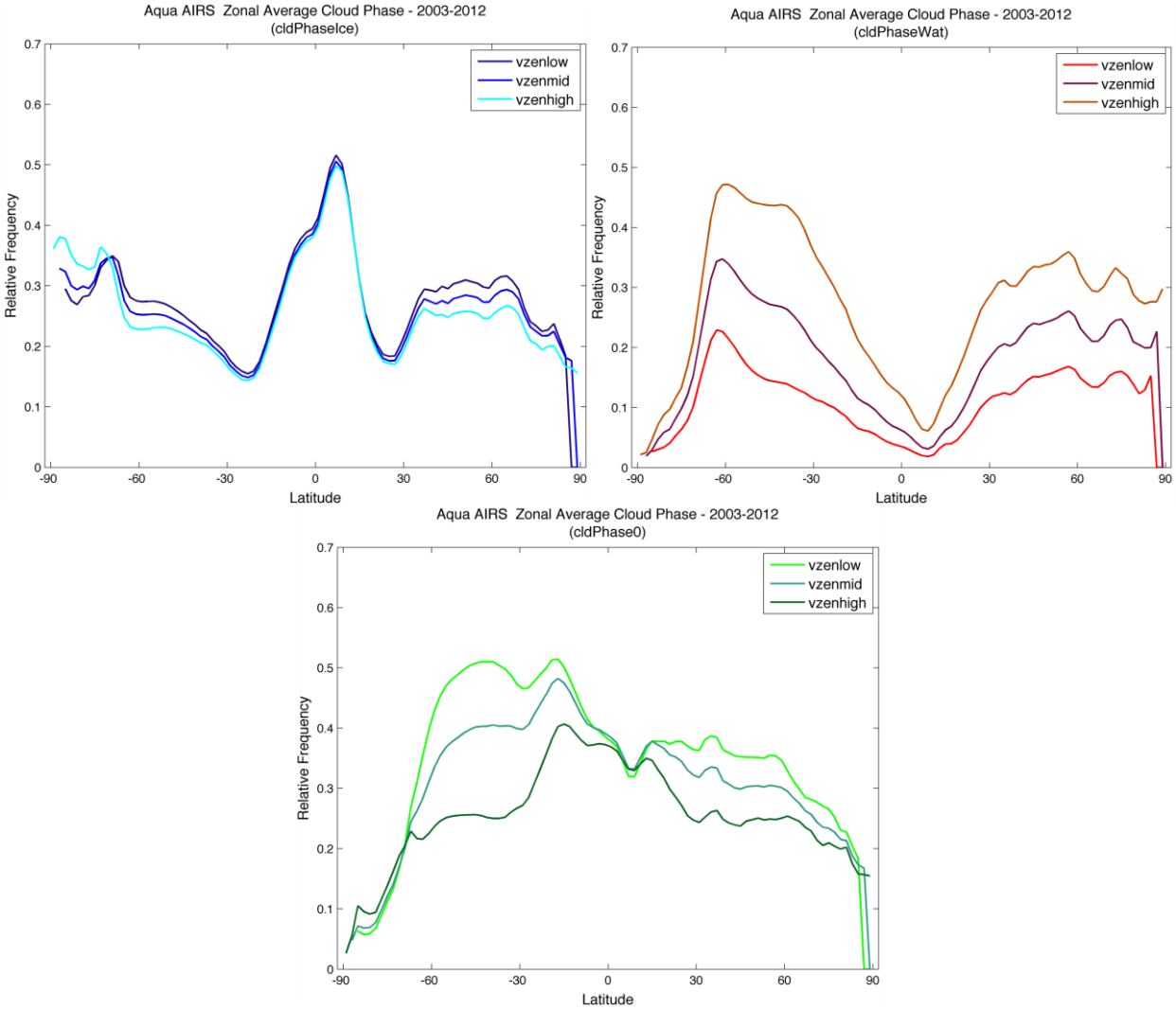
Şekil 3'de bulut termodinamik fazının bölgesel ortalamaları Tablo 2'de özetlenen değişik uydu bakış açısı (vzen) değerlerine göre verilmiştir. Bu şekle göre, vzen'in bölgesel bulut fazı algılanmasında küçük bir etkisi vardır. Öte yandan, vzen yükseldikçe daha fazla sıvı su ve daha az bilinmeyen faz gözlenmektedir. vzen etkisi orta enlemlerde daha belirgindir. Buz, sıvı su ve bilinmeyen fazların vzenLow ve vzenHigh (Tablo 2'de özetlenmiştir) durumları arasındaki global dağılım farkları Şekil 4'de verilmiştir. Bu şekil vzen'in AIRS bulut termodinamik fazı üzerinde ki etkisinin diğer bir ibaresidir. Tibet platosu ve Kuzey Amerika'nın batısı gibi dağlık bölgelerde daha yüksek vzen değerleri daha az buz ve daha fazla bilinmeyen faz piksellerine neden olmaktadır. Bu bölgelerdeki düşük yüzey sıcaklıkları ve bitki örtüsü olmayan bu alanların yüzey emme kuvveti sorunları bu fark üzerinde bir rol oynamaktadır. Kahn ve arkadaşları (2011) çalışması heterojenliğin vzen ile yükseldiğini ve bu durumun algoritmanın bulut fazı algılama yeteneğini düşüreceğini göstermiştir [9]. Bu gözlem, değişen vzen ile faz frekanslarının neden değiştiğini açıklayabilir.

Tablo 3, 2003'den 2013'e kadar Aralık – Ocak –Şubat (DJF) ve Mart – Nisan – Mayıs (MAM) için, 2003'den 2012'ye kadar Haziran – Temmuz – Ağustos (JJA) için ve 2002'den 2012'ye kadar Eylül – Ekim – Kasın (SON) için AIRS bulut termodinamik fazının vzenLow ve vzenHigh durumları arasındaki global dağılım ortalaması farklarını göstermektedir. Tablo 3'e göre vzen bağımlılığı yılın farklı zamanlarında önemli bir şekilde etkilenmemektedir.

Uydu bakış açısı (vzen) etkisi buz bulutu optik kalınlığı (Tau) ve buz bulutu etkin çapı (De) için de incelenmiştir. Tablo 1'de özetlenen farklı Tau ve De binleri için değişik vzen durumlarının etkisi bölgesel ortalama değerleri ile Şekil 5'de verilmiştir. Bu şekle göre Tau ve De değişkenleri vzen'e zayıf bir bağımlılık göstermektedir. Tau'nun tüm binleri artan vzen değerleri ile artma eğilimi göstermektedir.



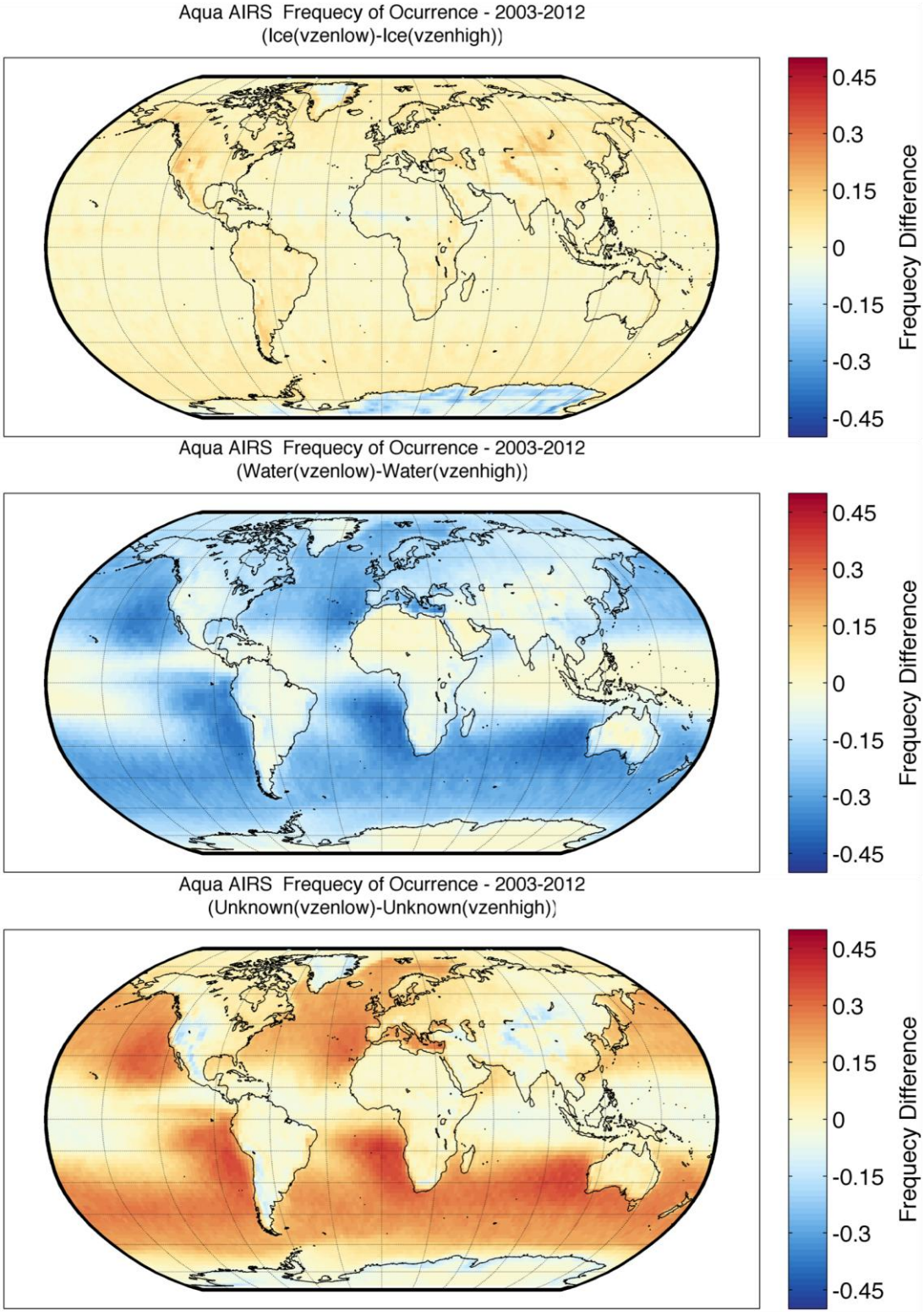
Şekil 2: *Filtrelenmiş ve örgülenmiş Aqua AIRS v6 L2 buz fazı (üst), su fazı (orta) ve bilinmeyen fazın (alt) 2003 – 2012 yılları için global dağılımları.*



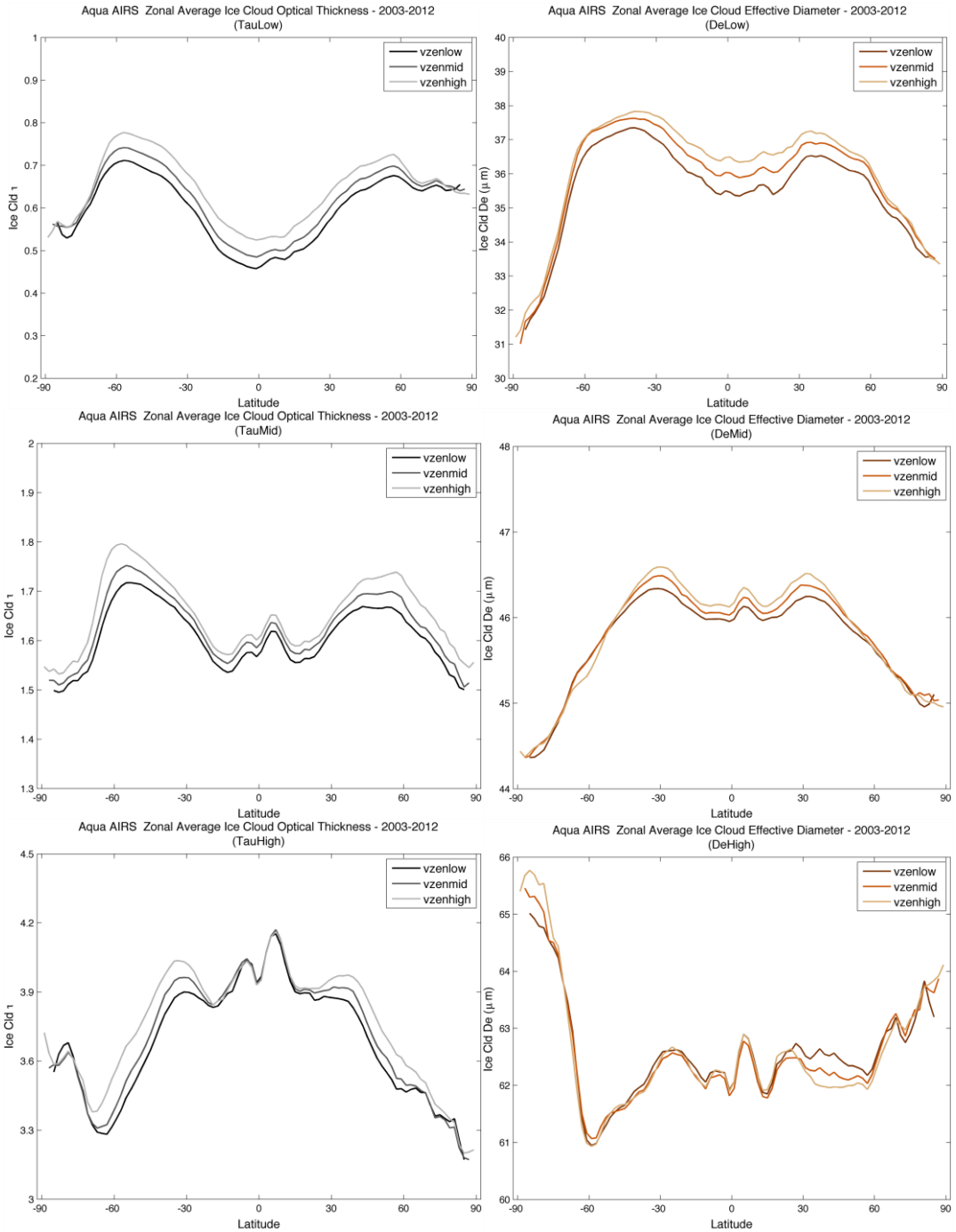
Şekil 3: Filtrelenmiş ve örgülenmiş Aqua AIRS v6 L2 buz fazı (üst sol), su fazı (üst sağ) ve bilinmeyen fazın (alt) 2003 – 2012 yılları için farklı vzen durumlarına göre bölgesel ortalamaları.

Tablo 3: Filtrelenmiş ve örgülenmiş Aqua AIRS v6 L2 buz fazı (ice), su fazı (water) ve bilinmeyen fazın (unknown) yılın farklı zamanları için vzenLow ve vzenHigh durumları arasindaki global dağılım ortalamarı arasındaki farkları.

	ice	water	unknown
DJF	0.02	-0.16	0.10
MAM	0.02	-0.15	0.09
JJA	0.02	-0.17	0.11
SON	0.02	-0.18	0.12



Şekil 4: Filtrelenmiş ve örgülenmiş Aqua AIRS v6 L2 buz fazı (üst), su fazı (orta) ve bilinmeyen fazın (alt) 2003 – 2012 yılları için vzenLow ve vzenHigh durumları arasındaki farkların global dağılımları.



Şekil 5: Filtrelenmiş ve örgülenmiş Aqua AIRS v6 L2 buz bulutu optik kalınlığı (sol kolon) ve buz bulutu etkin çapı (sağ kolon) düşük (üst sıra), orta (orta sıra) ve yüksek (alt sıra) değerleri ve 2003 – 2012 yılları için farklı vzen durumlarına göre bölgesel ortalamaları.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada AIRS versiyon 6 Level 2 termodinamik bulut fazı, buz bulutu optik kalınlığı ve buz bulutu etkin çapı verilerinin uydunun bakış açsına olan hassasiyeti 2003'den 2012'ye olan zamanı kapsayan on yıllık veri için incelenmiştir. Uzay-zaman örgüleme algoritması uydu bakış açısının etkisini incelemek üzere kullanılmıştır. Ayrıca, global bulut haritası 10 yıllık bir periyot için ve ayrı ayrı buz, sıvı su ve bilinmeyen fazlar için verilmiştir.

Uydu bakış açısına göre yapılan analiz, uydu bakış açısının buz fazı algılanmasında çok az etkisi olduğunu göstermiştir. Öte yandan, daha yüksek uydu bakış açısı değerlerinin daha fazla sıvı su ve daha az bilinmeyen faz pikselleri gözlenmesine neden olduğu gözlenmiştir. Bu gözlemin nedeni artan uydu bakış açılarının heterojenliği arttırması ve artan heterojenliğin faz algılama kabiliyetini azaltması [9] olabilir. Uydu bakış açının en yüksek etkisi orta enlemlerde gözlenmiştir. Ayrıca, global olarak uydu bakış açısı faz algılanmasını önemli bir şekilde etkilememektedir. Buz bulutu optik kalınlığı ve buz bulutu etkin çapı uydu bakış açısından çok fazla etkilenmemektedir. Buz bulutu optik kalınlığı artan uydu bakış açıları için artma eğilimdedir.

Bu bulgular AIRS versiyon 6 Level 2 kullanıcılarının özellikle sıvı su ve bilinmeyen faz verilerini kullanırken farklı uydu bakış açısı etkilerini göz önünde bulundurmalarının iyi olacağı kanaatini getirir. Ayrıca, bu sonuçlar bir uydu bakış açısı düzeltme algoritmasının geliştirilmesi ve gelecek versiyon için uygulanmasının gerekliliğini tavsiye eder. Böylece, verilerin güvenirliliği hem iklim çalışmalarında kullanmak üzere hem de diğer cihaz verileri ile kullanmak üzere artmış olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] **Nasiri S. L., Kahn B. H.,** *Limitations of Bispectral Infrared Cloud Phase Determination and Potential for Improvement,* Journal of Applied Meteorology and Climatology, (2895-2910), 2008.

[2] **Jin H., Nasiri S. L.,** *Evaluation of AIRS Cloud-Thermodynamic-Phase Determination with CALIPSO,* Journal of Applied Meteorology and Climatology, (1012-1027), 2014.

[3] **Kahn B. H., Coauthors,** *The Atmospheric Infrared Sounder version 6 cloud products,* Atmospheric Chemistry and Pyhsics, (399-426), 2014.

[4] **Smith N., Coauthors,** *A Uniform Space-Time Gridding Algorithm for Comparison of Satellite Data Products: Characterization and Sensitivity Study,* Journal of Applied Meteorology and Climatology, (255-268), 2013.

[5] **Aumann H. H., Coauthors,** *AIRS/AMSU/HSB on the Aqua Mission: Design, Science Objectives, Data Products, and Processing Sysyems,* IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, (253-264), 2003.

[6] **Boucher O., Coauthors,** *Clouds and aerosols. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, (571-657), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

[7] **Wylie D., Coauthors,** *Trends in global cloud cover in two decades of HIRS observations,* Journal of Climate, (3021-3031), 2005.

[8] **Lin B., Coauthors,** *Radiation characteristics of low and high clouds in different oceanic regions observed by CERES and MODIS,* International Journal of Remote Sensing, (6473-6492), 2010.

[9] **Kahn B. H., Coauthors,** *Impacts of subpixel cloud heterogeneity on infrared thermodynamic phase assesment,* Journal of Geophysical Research, (1441), 2011.

TÜRKİYE İÇİN UYDU KAYNAKLI ATMOSFER ÜRÜNLERİ VERİ TABANININ TANITILMASI

İbrahim Sönmez
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
Samsun
isonmez@omu.edu.tr

Erdem Erdi
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
eerdi@mgm.gov.tr

Fatih Demir
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Havacılık Meteorolojisi Şube Müdürlüğü
Ankara
fdemir@mgm.gov.tr

Murat Arslan
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
İç Denetim Birimi Başkanlığı
Ankara
muarslan@mgm.gov.tr

Hakan Koçak
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
hkoçak@mgm.gov.tr

Ahmet Öztopal
İstanbul Teknik Üniversitesi
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
İstanbul
oztopal@itu.edu.tr

ÖZET

Avrupa Meteorolojik Uydular İşletme Teşkilatı (EUMETSAT) bünyesinde kurulan Uydu Verisi Uygulama Merkezleri (SAF) arasında yer alan NWC-SAF, kısa vadeli hava tahminine yönelik ürünler üretmek amacıyla kurulmuştur. NWC-SAF bünyesinde geliştirilen SAFNWC/MSG yazılımı, sabit yörüngeli İkinci Nesil METEOSAT Uyduları (MSG) üzerinde bulunan SEVIRI sensöründen alınan uydu verilerini ve Sayısal Hava Tahmin Modeli ürünlerini girdi olarak kullanarak uydunun gördüğü tüm disk alanı için 15 dakikalık aralıklarla 10 farklı ana ürün kategorisinde toplam 33 atmosferik parametre üretmektedir. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümünde kurulumu gerçekleştirilen SAFNWC/MSG yazılımı ile 2004-2017 yıllarına ait NWC-SAFürünleri üretilerek ülkemiz için ilk uydu kaynaklı atmosfer ürünleri veri tabanını oluşturulması hedeflenmektedir. Bu veri tabanı, EUMETSAT ve ECMWF'den 2004-2014 dönemine ait arşiv verilerinin temin edilmesi ve 2015-2017 dönemine ait anlık verilerin yakın gerçek zamanlı olarak işlenmesi ile oluşturularak tüm araştırmacı, kurum ve kuruluşların ücretsiz erişimine açılacaktır.

Anahtar Kelimeler - EUMETSAT, MSG, NWC-SAF, ECMWF.

1 GİRİŞ

Atmosfer olaylarının takip edilmesi için farklı özelliklere sahip gözlem şebekeleri kullanılmaktadır. Kurulum ve işletme kolaylıklarının yanı sıra ekonomik olmaları yer gözlem istasyonlarının yaygın olarak kullanılmasına neden olmaktadır [1,2,3]. Ancak noktasal bilgi sağlamaları ve özellikle bazı parametrelerin alansal temsiliyetlerinin sınırlı olması nedeni ile uzaktan algılama araçlarından uyduların kullanımı ile bu açığın kapatılması hedeflenmektedir. Özellikle geniş kapsama alanına sahip olmaları ve küresel ölçekte veri sağlayabilmeleri son zamanlarda uydu kullanımının yaygınlaşmasına ve uydulardan elde edilen ürün sayısının artmasına neden olmaktadır.

Yeryüzünden yansıyan ve yayınlanan radyasyonu algılamak için tasarlanan uydu sensörleri sistematik ve sürekli gözlem yapılmasını sağlamaktadır. Uydular, sabit ve kutupsal yörüngeli olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadırlar. Kutupsal yörüngeli uydular, bir kutup bölgesinden diğerine doğru hareket ederek tarama yaparken her 90-105 dakikada bir tarama tamamlamaktadırlar. Bununla birlikte dünya üzerindeki aynı noktadan günde iki defa ölçüm sağlamaktadırlar. AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) ve ATSR(Along Track Scanning Radiometer) bu alanda en yaygın olarak kullanılan kutupsal yörüngeli uydu sensörleridir [4,5,6]. Öte yandan dünya üzerindeki sabit bir disk alanını görüntüleyen sabit yörüngeli uydular ise 15 dakika gibi yüksek zamansal çözünürlüğe sahiptirler [7,8].

Kutupsal ve sabit yörüngeli uydularda bulunan sensörler farklı dalga boylarında radyasyon miktarını ölçmelerinin yanı sıra, bu kanal verileri kullanılarak farklı ürünlerin elde edilmesine de olanak sağlamaktadırlar. Örneğin, bulutluluk, yağış, toprak nemi, karla kaplı alan, orman yangını, yüzey bitki örtüsü gibi ürünler bu alanda üretilen ürünlerden sadece bazılarıdır. Halihazırda yürütülen çalışmalar ile hem ürün yelpazesi genişletilmesi hem de ürün kalitesinin artması hedeflenmektedir [9,10,11]. Bu ürünler dünyadaki birçok kişi, kurum ve kuruluşlar tarafından hem araştırma hem de operasyonel alanda kullanılmaktadır [12,13,14,15].

Avrupa Meteorolojik Uydular İşletme Teşkilatı (EUMETSAT) bünyesinde faaliyet gösteren SAF(Uydu Verisi Uygulama Merkezleri) programları, METEOSAT İkinci Nesil(MSG) uydu verileri kullanılarak çeşitli ürünler üretilmesini amaçlamaktadır. Bunlardan biri olan Nowcasting SAF(NWC-SAF), kısa vadeli hava tahminine yönelik yüksek kaliteli ürünler ortaya çıkarmayı hedeflemektedir [16,17]. NWC-SAF tarafından kullanıcılara sağlanan SAFNWC/MSG yazılımı, 15 dakika MSG veri sıklığında ve 10 SAFNWC/MSG ürün kategorisinde toplam 33 atmosferik

parametrenin üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, TÜBİTAK tarafından desteklenen 114Y147 nolu proje kapsamında Ondokuz Mayıs Üniversitesi(OMÜ) Meteoroloji Mühendisliği Bölümü'nde kurulumu gerçekleştirilen SAFNWC/MSG yazılımı ile ülkemizin ilk uydu kaynaklı atmosfer ürünleri veri tabanının tanıtılması hedeflenmektedir. 2004-2017 yıllarını kapsayacak veri tabanı tanıtılarak, kullanıcılara açılacak olan ürün erişimi ve ara hizmetler hakkında bilgi sunulacaktır.

2 NOWCASTING - SAF

MSG uydularında bulunan SEVIRI(Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) sensörü, dünya üzerinde gördüğü sabit disk alanını her 15 dakikada bir tarayarak 12 farklı spektral kanalda veri sağlamaktadır. Bunlardan 0.75, 0.63, ve 0.81μm kanalları spektrumun görünür; 1.6 μm kanalı yakın infrared; 3.9, 6.2, 7.3, 8.7, 9.7, 10.8, 12.0, ve 13.4 μm kanalları ise infrared kısmında yer almaktadır. 0.75 μm görünür kanalı uydu alt noktasında 1x1 km'lik uzaysal çözünürlüğe sahipken diğer kanalların çözünürlüğü 3x3km'dir [18].

Ülkemizin de üyesi bulunduğu EUMETSAT, bünyesinde farklı SAF Merkezleri aracılığıyla uydu verilerinden ürünler ortaya çıkarılmasını hedeflenmektedir. Bunlardan biri olan Nowcasting-SAF(NWC-SAF), kısa vadeli hava tahminine yönelik ürünler elde etmek amacıyla 1997 yıllında çalışmalara başlamıştır. Geliştirilen SAFNWC/MSG Yazılımı ile SEVIRI sensöründen alınan uydu verileri ve sayısal hava tahmin model (SHTM) verilerini kullanarak 10 ana ürün kategorisinde toplam 33 atmosferik parametre üretilmektedir.

SAFNWC/MSG Yazılımında kullanılan ürün üretim algoritmaları daha çok Kuzey Avrupa atmosferik şartları dikkate alınarak optimize edilmiştir. Ayrıca ilgili algoritmalarda kullanılan testler ve bunlara ait eşik değerlerin kullanıcılar tarafından değiştirilmesine imkan sağlamaktadır. NWC-SAF bünyesinde Yazılımın iyileştirme ve geliştirme çalışmalarına sürekli devam edilmekte ve belirli aralıklarla yeni sürümleri kullanıcılara lisanslı ve ücretsiz olarak NWC-SAF web sitesinden(http://www.nwcsaf.org) sunulmaktadır. SAFNWC/MSG Yazılımına ait ürün detayları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. SAFNWC/MSG Yazılımı tarafından üretilen ürün paketleri ve açıklamaları

Ürün No	Ürün Paket İsmi	Paket ürünleri	Ürün açıklaması
Bulut Ürünleri			
1	Bulut maskesi	- Bulut Maskesi - Toz Maskesi - Volkanik Kül Maskesi	Bulutlu alanların tespit edilmesi için kullanılır. Her bir piksel *bulutlu*, *parçalı bulutlu*, *açık* ve *kar/buz* sınıflarından biri ile tanımlanmaktadır. Ayrıca atmosferde bulunan toz ve volkanik kül tespitini yapar.
2	Bulut tipi	- Bulut Tipi - Bulut Su/Buz Fazı	kümülüform/stratiform ile çok alçak, alçak, orta, yüksek ve çok yüksek temel sınıflandırmaları kullanılarak bulut tipleri 20 farklı sınıfa ayrılır.
3	Bulut tepe sıcaklığı ve yüksekliği	- Bulut Tepe Basıncı - Bulut Tepe Yüksekliği - Bulut Tepe Sıcaklığı - Efektif Bulutluluk	Tespit edilen buluta ait tepe basıncı, yükseklik, sıcaklık gibi bilgileri verilir.
Yağış ve Konveksiyon Ürünleri			
4	Yağış bulutları	- Yağış İhtimal Yüzdesi	0-100 arasında değişen yağış olasılık yüzdesini verir.
5	Konvektif yağış oranı	- Konvektif Yağış Oranı - Konvektif Yağış Saatlik Toplamı - Veri Kullanım Bayrakları	Konvektif yağış durumunda, yağış şiddetini 11 farklı sınıf ile ifade eder.
6	Hızlı gelişen fırtınalar	- Hızlı Gelişen Fırtına Tespiti ve Bilgileri: - Fırtına Coğrafi Sınırları - Fırtına Hareket Yönü ve Hızı - Fırtına Şiddeti - Fırtına Safhası	Yoğun konvektif sistem bulutlarının belirlenmesi ve takip edilmesi ile hızlı gelişen konvektif hücrelerin tespitini hedefler.
Açık Hava Ürünleri (Fiziksel Çıkarım)			
7	Fiziksel Çıkarım Ürünleri	- Toplam Yağışa Geçebilir Su Miktarı - Sınır Seviyesi Yağışa Geçebilir Su Miktarı - Orta Seviye Yağışa Geçebilir Su Miktarı - Yüksek Seviye Yağışa Geçebilir Su Miktarı - Lifted İndeksi - Showalter İndeksi - K-İndeksi - Parametre - SHTM Farkları	Atmosferik kararlığı farklı indeks parametreleri yardımıyla tanımlar ve atmosferin farklı seviyelerine ait yağışa geçebilecek su miktarını verir.
Kavramsal Model ve Rüzgar Ürünleri			
8	Yüksek çözünürlüklü rüzgar	- Rüzgar Vektörü (Yön ve Hız) - Rüzgar Vektörü Enlem ve Boylamı - Rüzgar Vektörü Basınç Seviyesi ve Sıcaklığı - Rüzgar Vektörü Güvenirliği	Atmosferin farklı seviyelerindeki rüzgar vektörlerini tespit eder ve bunlara ait bilgileri verir.
9	Uydu Görüntüsü interpolasyonu	- Otomatik Uydu Görüntüsü Yorumlama (Kavramsal Model Çıktısı)	Cephesel hatların uydu verileri ile tespit edilmesini hedefler.
10	Hava kütlesi analizi	- Hava Kütlesi Analizi Sınıflandırması - Sırt Hattı	Hava kütlelerinin arktik, kutupsal, tropikal, ekvatoral ile kıtasal/denizsel ve kararlı/kararsız temel sınıflandırmaları kullanılarak 25 farklı sınıfa ayırır.

3 NWC-SAF ÜRÜNLERİ VERİ TABANI

3.2 Çalışma Alanı

Proje çalışmaları kapsamında, SAFNWC/MSG Yazılımı ürünlerinin ülkemizin de içinde kalacağı 24^o-46^o E ve 33^o-44^o N bölgesi için üretilmesi planlanmaktadır(Şekil 1). Üretilecek olan ürünlere ait uzaysal çözünürlük MSG piksel çözünürlüğünde olup, ülkemizin bulunduğu bölge için bu değer yaklaşık 6km x 6km alana karşılık gelmektedir.



Şekil 1: *NWC-SAF ürünleri için üretim alanı*.

3.1 Üretim Zinciri

Tablo 1'de listesi verilen 10 farklı kategorideki toplam 33 atmosferik parametre Türkiye alanı için 2004-2017 dönemini kapsayacak şekilde 15 dakikalık sıklığa sahip olacak şekilde proje kapsamında üretilecektir. Bu amaç doğrultusunda, 14 yıllık veri tabanının iki aşamada oluşturulması hedeflenmiştir. 2004-2014 dönemine ait ürünlerin üretilmesi için EUMETSAT ve ECMWF'den temin edilecek arşiv verileri ile üretilecekken, 2015-2017 dönemine ait ürünler ise yakın gerçek zamanlı olarak üretilecektir.

3.1.1 Altyapı kurulması

SAFNWC/MSG Yazılımının Tablo 1'de belirtilen ürünleri üretebilmesi için MSG SEVIRI verileri ve SHTM verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmanın ilk aşaması olarak iki veri kaynağının yakın gerçek zamanlı olarak OMÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü'nde düzenli alınması için gerekli altyapı kurulmuştur. TÜBİTAK tarafından desteklenen 112Y306 nolu proje

kapsamında aynı Bölümde EUMETSAT uydu alıcı sistemi kurulumu gerçekleştirilmiştir. Bu sistem sayesinde MSG SEVIRI sensörüne ait veriler yakın-eş zamanlı olarak alınabilmektedir. Yine aynı Bölümde Meteoroloji Genel Müdürlüğü aracılığıyla ECMWF'den arşiv ve anlık SHTM verileri çeken sistem kurularak çalışır hale getirilmiştir.

3.1.2 2004-2014 ürünlerinin arşiv verisinden üretilmesi

Arşiv veri üretimi 2004-2014 dönemini kapsamaktadır. Bu dönem için NWC-SAF ürünlerini üretmek amacıyla SAFNWC/MSG Yazılımının kurulumu gerçekleştirilerek gerekli ayarlamalar tamamlanmıştır. Arşiv dönemine ait verilerin temini adına, Meteoroloji Genel Müdürlüğü aracılığıyla EUMETSAT'dan MSG SEVIRI sensörüne ait verileri sipariş edilmiştir. Bölümler halinde gelen MSG verilerinin açılarak arşiv ürünü üretiminde kullanılmak üzere OMÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü'nde yer alan veri saklama ünitelerine aktarımı devam etmektedir. Öte yandan 2004-2014 dönemine ait SHTM verileri ECMWF'den çekilerek aynı arşiv verileri üretimi için hazır hale getirilmiştir.

3.1.3 2015-2017ürünlerinin yakın gerçek zamanlı olarak üretilmesi

NWC-SAF ürünlerinin yakın gerçek zamanlı üretimi 2015-2017 döneminde gerçekleştirilecektir. Kurulan sistem sayesinde SHTM verileri ECMWF'den yakın gerçek zamanlı olarak çekilmektedir. Ürün üretimi için gerekli olan SEVIRI verileri ise OMÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümünde halihazırda çalışan uydu alıcı sisteminden elde edilmektedir. Bu iki veri kaynağını kullanan SAFNWC/MSG Yazılımı, yakın gerçek zamanlı çalıştırılarak çalışma alanı için 15 dakika aralıkla 10 ürün kategorisindeki toplam 33 parametreyi üretmeye başlamıştır.

3.3 Ürün Sunumu

2004-2014 dönemini kapsayan arşiv verileri ve 2015-2017 dönemi boyunca gerçek zamanlı ürünler, OMÜ-Meteoroloji Mühendisliği Bölümü web sitesinden isteyen kurum, kuruluş ve araştırmacılar için ücretsiz erişime açılacaktır. SAFNWC/MSG Yazılımı ürünleri HDF formatında kullanıcılara sunulacaktır. Araştırma amaçlı arşiv verileri ve operasyonel amaçlı yakın gerçek zamanlı ürünlere web sitesinden sürekli erişime açık olacak ve istenilen parametre ile zaman aralığına ait veriler kullanım için indirilebilecektir. Aynı web sayfası, kullanıcıların istediği zamana ait ürün için hızlı görüntüleme olanağı sağlayacaktır. Kullanıcı ve araştırmacıların HDF formatı ve "Near Sided Perspective" projeksiyonundaki bu verileri "Plate Caree" projeksiyonunda ve GeoTIFF formatına aktarmalarını sağlayacak dönüştürücü yazılımlar geliştirilerek kullanıcılara

sunulacaktır. Böylece ilgili ürünlerin birçok Coğrafi Bilgi Sistemlerinde (CBS) programı aracılığı ile de kullanılması mümkün olacaktır.

4 SONUÇLAR

Yürütülen çalışma sonunda, Türkiye alanı için 15 dakikalık zaman aralıklarına sahip 10 ürün kategorisinde toplam 33 atmosferik parametrenin 2004-2017 yıllarını kapsayacak şekilde üretimi sağlanmış olacaktır. 14 yıllık zamanı kapsayacak olan bu veri tabanı, Türkiye'nin ilk uydu kaynaklı atmosfer ürünleri veri tabanı olarak hizmete girecektir. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü'nde kurulumu gerçekleştirilecek altyapı ile veri tabanında bulunan ürünlerin kullanıcılara ücretsiz ulaştırılması sağlanacaktır.

Oluşturulacak veri tabanı, ülkemizdeki tüm araştırıcılar için önemli bir veri kaynağı niteliğinde olacaktır. Ayrıca Yüksek lisans/Doktora çalışmaları yürüten araştırmacılar bu veri tabanı aracılığıyla doğrudan veri elde ederek çalışmalarında kullanabileceklerdir. Ayrıca yakın gerçek zamanlı olarak üretilecek olan ürünler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri, Afet Koordinasyon Merkezleri gibi kurum ve kuruluşlar tarafından operasyonel amaçlı olarak da kullanılabilecektir.

Diğer potansiyel çalışmalara ek olarak, proje çalışması çerçevesinde 14 yıllık 'Bulut Maskesi' ürününü kullanarak ülkemiz için bulutluluk atlası çıkarılacaktır. MSG piksel çözünürlüğünde (6km x 6km) bulutlu, parçalı bulutlu ve bulutsuz (açık) yüzde değerleri ayrı ayrı hesaplanarak her birinin Türkiye alanı için doku (texturemap) tarzında aylık, mevsimsel ve yıllık olarak haritalanarak bulutluluk atlası elde edilecektir. Oluşturulacak Bulutluluk Atlası, özellikle ülkemizdeki güneşlenme potansiyelinin belirlenmesi ve potansiyel güneş çiftlikleri alanlarının belirlenmesine önemli katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR : Bu çalışma, 'TÜBİTAK 1001 - Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı' kapsamında ve 114Y147(COST IC 1406) nolu proje numarası adı altında desteklenmiştir. Proje Ekibi ve Yazarlar destek nedeniyle TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

[1] **Sönmez İ.,** *Quality control tests for western Turkey Mesonet*, Meteorological Applications, 20: 330-337,doi: 10.1002/met.1286. 2013.

[2] **Schroeder J.L., Burgett W.S., Haynie K.B., Sönmez İ., Skwira G.D., Doggett A.L., Lipe J.W.,** *The West Texas mesonet: A technical overview*, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 22, 211–222, 2005

[3] **Brock F.V., Crawford K.C., Elliott R.L., Cuperus G.W., Stadler S.J., Johnson H.L., Eilts, M.D.,** *The Oklahoma mesonet: A technical overview*, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 12, 5-19, 1995.

[4] **Simon, M., Plummer, S., Fierens, F., Hoelzemann, J.J., Arino O.,** *Burnt area detection at global scale using ATSR-2: The GLOBSCAR products and their qualification*, J. Geophys. Res., 109, D14S02, 2004.

[5] **Hawbaker, T.J., Radeloff, V.C., Syphard, A.D., Zhu, Z.L., Stewart S.I.**, *Detection rates of the MODIS active fire product in the United States*, Remote Sensing of Environment, 112, 2656−2664, 2008.

[6] **Chuvieco, E., Englefield, P., Trishchenko, A. P., Luo Y.,** *Generation of long time series of burn area maps of the boreal forest from NOAA-AVHRR composite data*, Remote Sensing of Environment, 112, 2381−2396, 2008.

[7] **Schmetz J., Pili P., Tjemkes S., Just D., Kerkmann J., Rota S., Ratier A.**, *An introduction to Meteosat Second Generation (MSG)*, Bull. Amer. Meteor. Soc., 83, 977-992, 2002.

[8] **Calle, A., Casanova, J.L., Romo A.**, *Fire detection and monitoring using MSG Spinning Enhanced Visible and Infarared (SEVIRI) data*, J.of Geophysical Research, Vol. 111, doi:10.1029/2005JG00116, 2006.

[9] **Cimini D., Romano F., Ricciardelli E., Di Paola F., Viggiano M., Marzano F. S., Colaiuda V., Picciotti E., Vulpiani G., Cuomo V.,** *Validation of satellite OPEMW precipitation product with ground-based weather radar and rain gauge networks*, Atmospheric Measurement Techniques Discussions, 6(3), 4279-4312, 2013.

[10] **Frei A., Tedesco M., Lee S., Foster J., Hall D.K., Kelly R., Robinson D.A.**, *A review of global satellite-derived snow products*, Advances in Space Research, 50(8), 1007-1029, 2012.

[11] **Wagner W., Naeimi, V., Scipal, K., Jeu, R.A.M. De, Martinez-Fernandez J.**, *Soil moisture from Operational Meteorological Satellites*, Hydrogeology Journal, 15, 121-131, 2007.

[12] **King, M.D., Platnick S., Menzel W.P., Ackerman S.A., Hubanks P.A.,** Spatial and Temporal Distribution of Clouds Observed by MODIS Onboard the Terra and Aqua Satellites, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 51, 3826-3852, 2013.

[13] **Moody E. G., King M. D., Schaaf C. B., Platnick S.,** MODIS-derived spatially complete surface albedo products: Spatial and temporal pixel distribution and zonal averages, J. Appl. Meteor. Climatol., 47, 2879-2894, 2008.

[14] **Jain S.K., Saraf, A.K., Goswami, A., Ahmad T.,** Flood inundation mapping using NOAA AVHRR data, Water Resources Management, 20(6), 949 – 959, 2006.

[15] **Flasse S.P., Ceccato P.,** A contextual algorithm for AVHRR fire detection, International Journal of Remote Sensing, 17(2),419-424, 1996..

[16] **Erdi E., Çukurçayır M. L., Koçak H., Eminoğlu S., Tekeli A. E., Sönmez İ.,** NWCSAF PPS ve MSG Yazılımlarından Elde Edilen Ürünler Ve Bu Ürünlerin Bir Örnek Olayda İncelenmesi, TMMOB Afet Sempozyumu, 5-7 Aralık, Ankara, 301-312, 2007.

[17] **Dybbroe A., Karlsson K., Thoss A.,** NWCSAF AVHRR Cloud Detection and Analysis Using Dynamic Thresholds and Radiative Transfer Modeling. Part I: Algorithm Description, J. Appl. Meteor., 44, 39–54, 2005.

[18] **Schmetz, J., Konig, M., Pili, P., Rota, S., Ratier, A., Tjemkes, S.,** Meteosat Second Generation (MSG): Status after launch, paper presented at 12th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, Am. Meteorol. Soc., Long Beach, Calif., 2003.

KONVEKTİF YAĞIŞLARDA BULUT TEPE SICAKLIĞI İLE YAĞIŞ MİKTARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

Gökhan Keskin
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Gaziantep Meydan Meteoroloji Müdürlüğü
Gaziantep
gkeskin@mgm.gov.tr

Ahmet Öztopal
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi
İstanbul
oztopal@itu.edu.tr

ÖZET

Ülkemizde son yıllarda şiddetli konvektif yağışların neden olduğu taşkın ve sellerin sonucunda çok sayıda can ve mal kaybı yaşanmaktadır. Özellikle 8 ve 9 Eylül 2009 tarihlerinde Marmara Bölgesi'nde görülen aşırı yağışlar neticesinde meydana gelen seller nedeniyle Ayamama ve Selimpaşa'da can ve mal kayıpları yaşanmış ve bunun sonucunda da konvektif yağışların zamanını ve şiddetini tespit etmenin önemi bir kez daha anlaşılmıştır. Dolayısıyla şiddetli yağışların önceden tahmin edilebilmesi ve gerekli uyarıların vaktinde yapılabilmesi elzem bir konudur.

Yukarıda belirtilen şiddetli yağış olayının analizi için, MSG uydusunun IR 10.8 kanalından TMetVis programı vasıtasıyla Çatalca, Kumköy, Sarıyer, Bandırma, Erdek, Edirne, Kırklareli, Çorlu ve Tekirdağ meteoroloji istasyonlarının üzerindeki bulut tepe sıcaklıkları elde edilerek, bu istasyonlardan elde edilen dakikalık yağış verileri 1, 3 ve 6 saatlik olarak düzenlenmiş ve bulut tepe sıcaklıklarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen karşılaştırma grafiklerinin ışığında yağışların meydana geldiği zamanlarda istasyonlar üzerindeki bulut tepe sıcaklığında bariz bir düşüş saptanmıştır. Zaman çözünürlüğünü azalttığımızda yani 1 saatten 6 saate doğru gidildiğinde yağış ve bulut tepesi arasındaki bu ilişki daha belirgin görülmektedir.

1. GİRİŞ

Şiddetli hava olaylarının daha çok meydana gelmesiyle küresel iklim değişiminin etkileri günümüzde daha belirgin görülmektedir. Yapılan ölçümler, 1906-2005 yılları arasını kapsayan yüz yılda dünyanın ortalama yüzey sıcaklığının yaklaşık 0,76 °C arttığını gösteriyor [1]. İklim araştırmacıları camiasındaki genel kanı bu artışın büyük oranda insan kaynaklı sera gazı salımı nedeniyle meydana geldiği yönündedir. Hiç kuşku yok ki sözü edilen ısınma, deniz seviyelerinin yükselmesi, kutuplardaki ve dağlardaki buzul hacminin azalması, yağış rejimlerinin değişmesi gibi birçok çevresel değişime de yol açıyor. Küçük ölçekte ise ani seller, taşkınlar, dolu, kar ve şiddetli fırtınalar bu değişikliğin afet olarak tanımlanan önemli etkileridir.

Yetersiz yağışölçer ağlar, özellikle bahar aylarında bu küçük ölçekteki ani yağışların fark edilebilirliğini düşürmektedir. Bu olumsuzluğun üstesinden gelmek için de günümüzde yüksek çözünürlükteki uydu ve radarlar kullanılmaktadır. Bunun sonucunda şiddetli yağışların tespiti ve alınacak önlemlerle zararı en aza indirme konusunda ilerleme kaydedilmiştir.

Uzaktan algılama sistemlerindeki bu gelişmelerle birlikte yağışların türü ve miktarını belirlemek de daha kolay hale gelmiştir. Sinoptik ölçekte görüşe ve düzenli veri sistemine sahip olan uydu sistemleri özellikle konvektif sistemlerin belirlenmesi ve tahmininde önemli katkılar sağlamaktadır. Uydu görüntüleri, yer istasyonlarında oluşabilecek herhangi problemlerden dolayı veri temininde karşılaşılabilecek olumsuzluklara karşı en önemli alternatiftir. Yerden 36000 km uzaklıktaki meteorolojik uyduların yüksek zaman ve alan çözünürlüğüne sahip gece gündüz görüntü alınan kızılötesi kanalı ve sadece gündüz görüntü alınan görünür kanalı sayesinde tüm gün boyunca yağış takip edilebilmektedir [2].

2005'ten beri EUMETSAT (Eurpean Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites) tarafından işletilen İkinci Nesil Meteosat'ın Meteosat 8 uydusu yüksek zaman ve alan çözünürlüğü ile konvektif sistemleri belirleme ve tahmininde başarılı şekilde çalışmalarına devam etmektedir. Özellikle oluşturulan kanal farkları kanalları ve RGB uygulamaları sayesinde bulutun mikrofiziği de daha iyi anlaşılmaktadır.

Bulut tepe sıcaklığı kızılötesi kanaldan elde edilen bilgidir. Bu yüzden kızılötesi kanal için geliştirilen tüm teknikler yağış ile bulut tepe sıcaklığı ilişkisine dayanır. Bu durum sirüs gibi yüksek seviye bulutları için geliştirilen tekniklerin yanlış yağış bilgisi üretmesine neden olur. Bulut tepe sıcaklığı yüksek olan ve yağış üretebilen bulutların da bu tekniklerle belirlenmesi zordur. Çünkü kızılötesi ışın yağmur damlacığıyla doğrudan etkileşimde bulunmaz. Yapılan çalışmalara göre konvektif sistemlerde bulut tepe sıcaklığı ile yağış arasında belirgin bir ilişki vardır. Bunun sonucunda soğuk tepeli bulutların sıcak tepeli bulutlara göre fazla yağış üretmeleri beklenir [2].

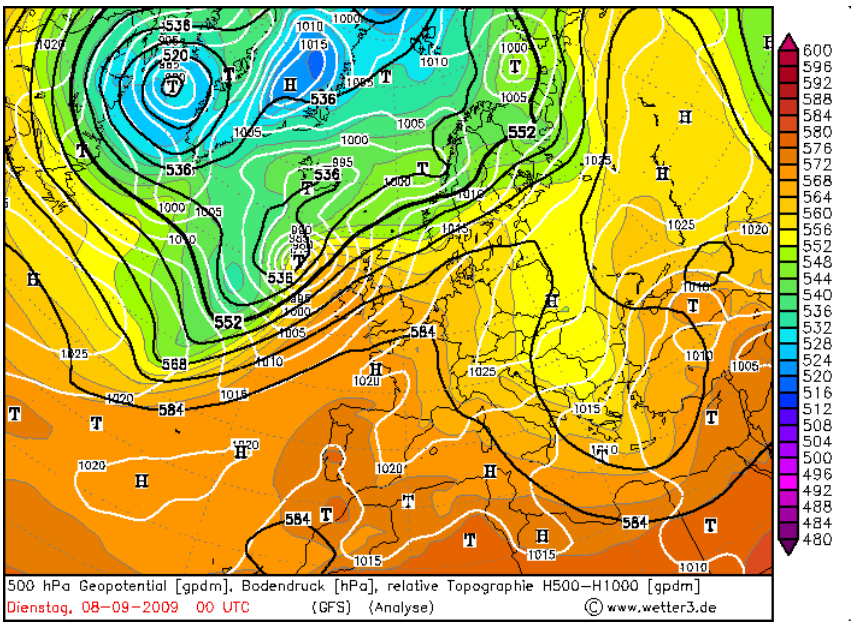
Konvektif yağışların neden olduğu yıkımlar ve can kayıplarını en az indirmek için onların şiddetini ve zamanını iyi tespit etmek gerekir. Son yıllarda da yurdumuzun çeşitli bölgelerinde böyle meteorolojik afetlerle karşı karşıya kalmaktayız. Bu çalışmada 8 ve 9 Eylül 2009 tarihlerinde Marmara Bölgesi'nde ve özellikle İstanbul'da meydana gelen konvektif yağışlar incelenecektir. Bu şiddetli yağışlar incelenirken, TMetVis programından görünür, kızılötesi ve su buharı kanallarından elde edilen veriler ve bunların RGB uygulamaları ışığında görüntüler yorumlanarak bulut tepe sıcaklığıyla yağış verileri arasındaki ilişki grafiklerle gösterilecektir. Bunların yanında o günlere ait sinoptik kartlarla sistemin oluşum mekanizması gösterilecektir.

2. METEOROLOJİK ANALİZ

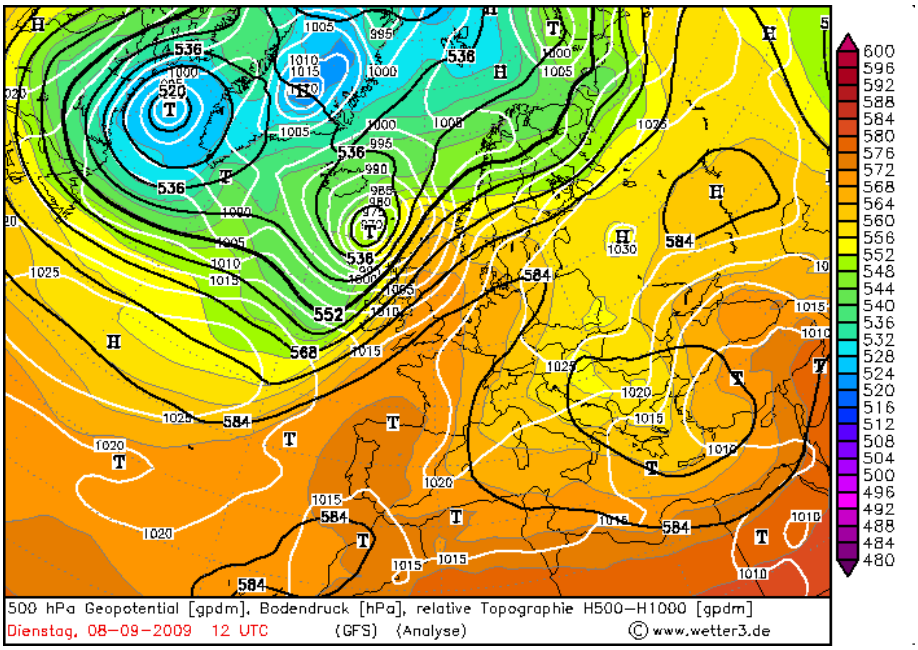
Bu bölümde 8 ve 9 Eylül 2009 tarihlerinde Marmara Bölgesi'nde özellikle İstanbul'da gerçekleşen şiddetli yağmur için ilk olarak 500 mb ve yer kartları değerlendirilmiş ve ardından TMetVis programı kullanılarak hangi saatlerde hangi bulut tepesinin hangi sıcaklığa sahip olduğu belirlenmiştir.

8 Eylül 2009 tarihinin 500 ve 1000 mb haritalarına baktığımızda Marmara Bölgesi'ni yukarı seviyede cut off olan alçak merkezin etkisinde, yer seviyesinde ise alçak basıncın merkezinin etkisindedir. Karadeniz üzerinden gelen kuzeyli rüzgârlarla yukarı enlemlerden taşınan soğuk hava, Batı Karadeniz'in sıcak suları üzerinde hareket ettikçe bu iki tabaka arasındaki sıcaklık farkları da artıyor ve atmosfer dikey doğrultuda çok kararsız hale geliyor. Sıcak denizden kolayca

buharlaşan su hemen üst seviyelere tırmanarak kümülonimbus bulutlarını meydana getiriyor. Cut off'un etkisiyle sistem uzun süre Marmara Bölgesi üzerinde kalmıştır. Bu iki gün boyunca da denizden sürekli nemle beslenmişlerdir (Şekil 2.1 ve 2.2) .

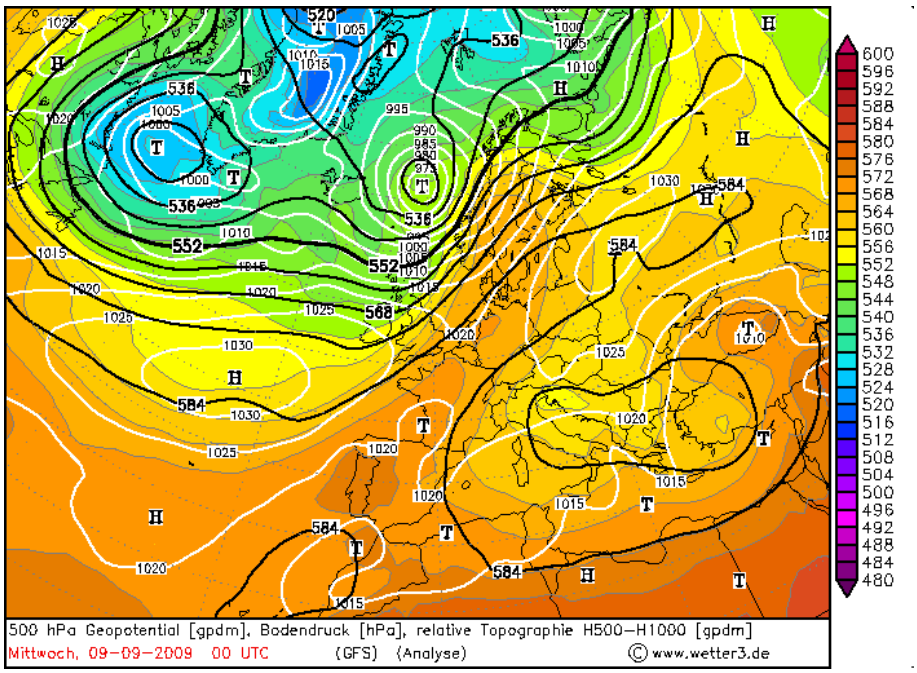


Şekil 2.1**:** 08.09.2009 tarihli 00 GMT'ye ait yer kartı ve 500 mb haritası [3]

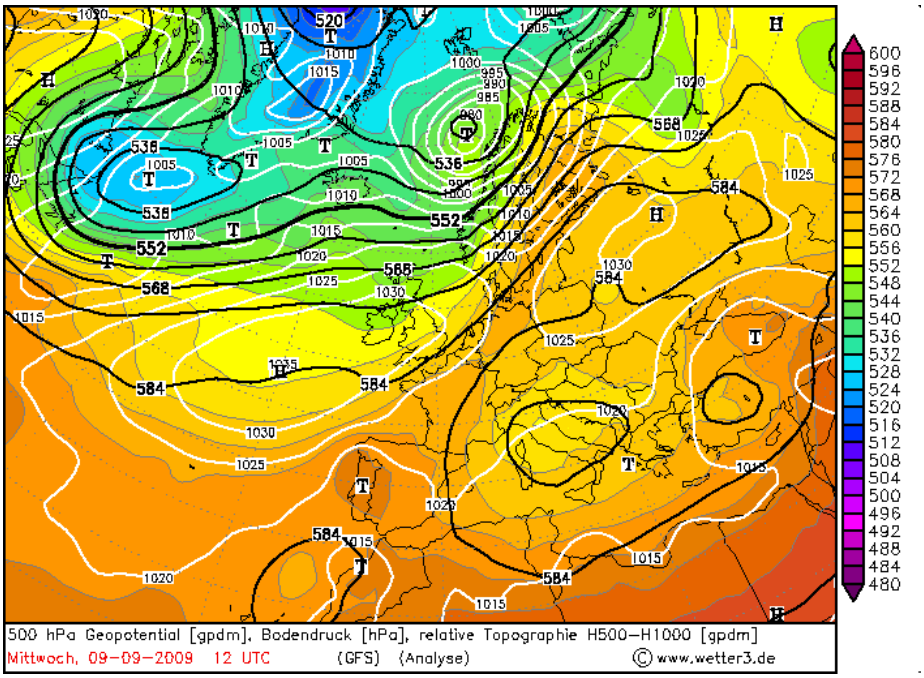


Şekil 2.2**:** 08.09.2009 tarihli 12 GMT'ye ait yer kartı ve 500 mb haritası [3]

9 Eylül 2009 tarihine baktığımız zaman ise yer seviyesindeki basınçta küçük bir artış görülmekte ilerleyen saatlerde ise alçak merkez etkisini kaybetmektedir (Şekil 2.3 ve 2.4).



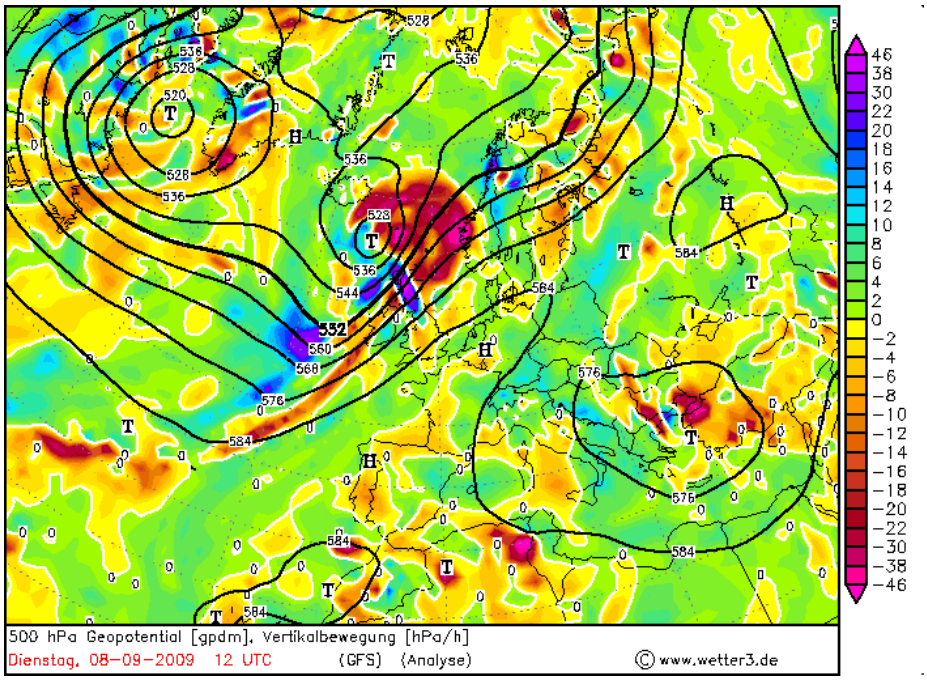
Şekil 2.3**:** 09.09.2009 tarihli 00 GMT'ye ait yer kartı ve 500 mb haritası [3]



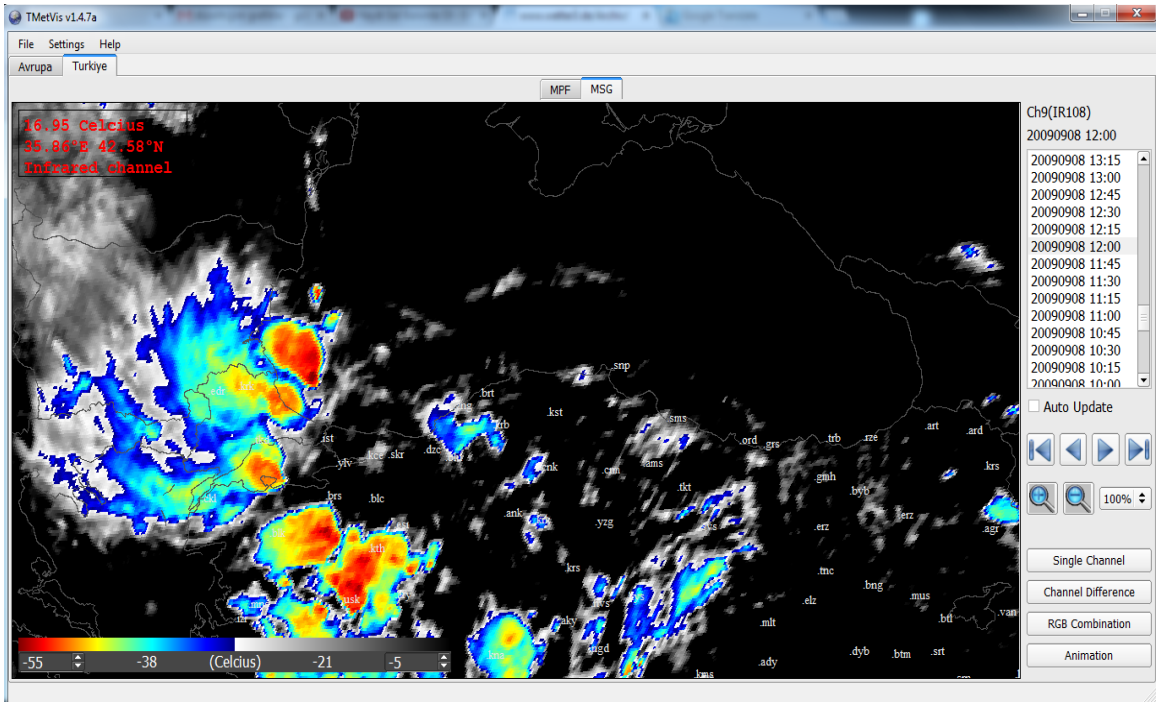
Şekil 2.4: 09.09.2009 12 GMT'ye ait yer kartı ve 500 mb haritası [3]

8 Eylül 2009 tarihinin 12 GMT zamanındaki ve 9 Eylül 2009 tarihinin 06 GMT zamanındaki 500 mb yukarı seviye ve düşey hız kartına baktığımız zaman da Cb oluşumunu sağlayabilecek yüksek

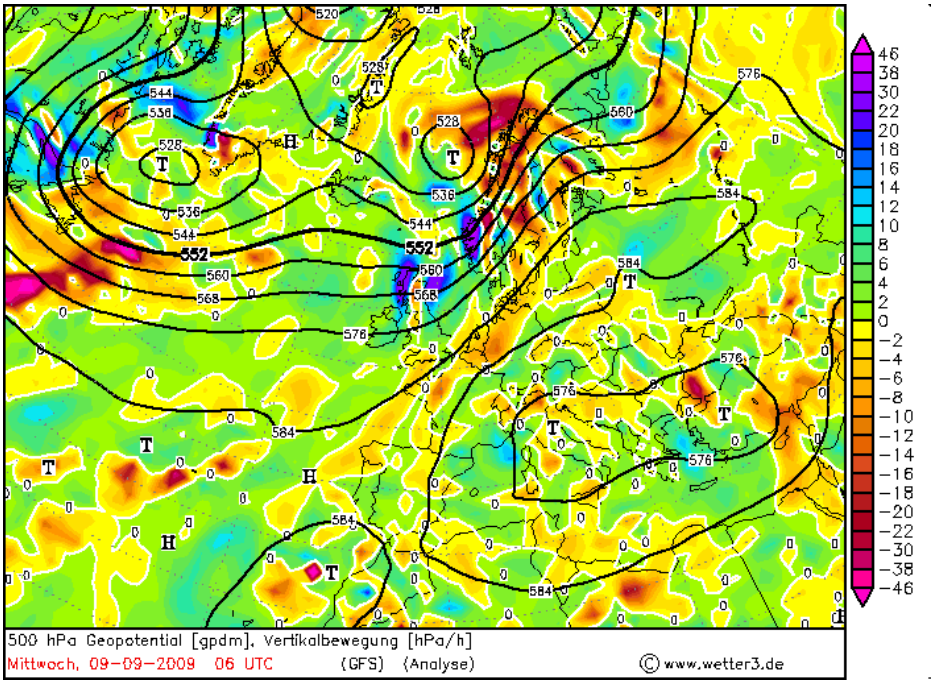
düşey hız değerleri görülmektedir. (Şekil 2.5 ve 2.7). Bu saatlere ait Şekil 2.6 ve 2.8'deki uydu görüntüleri de bu Cb oluşumlarını kanıtlamaktadır.



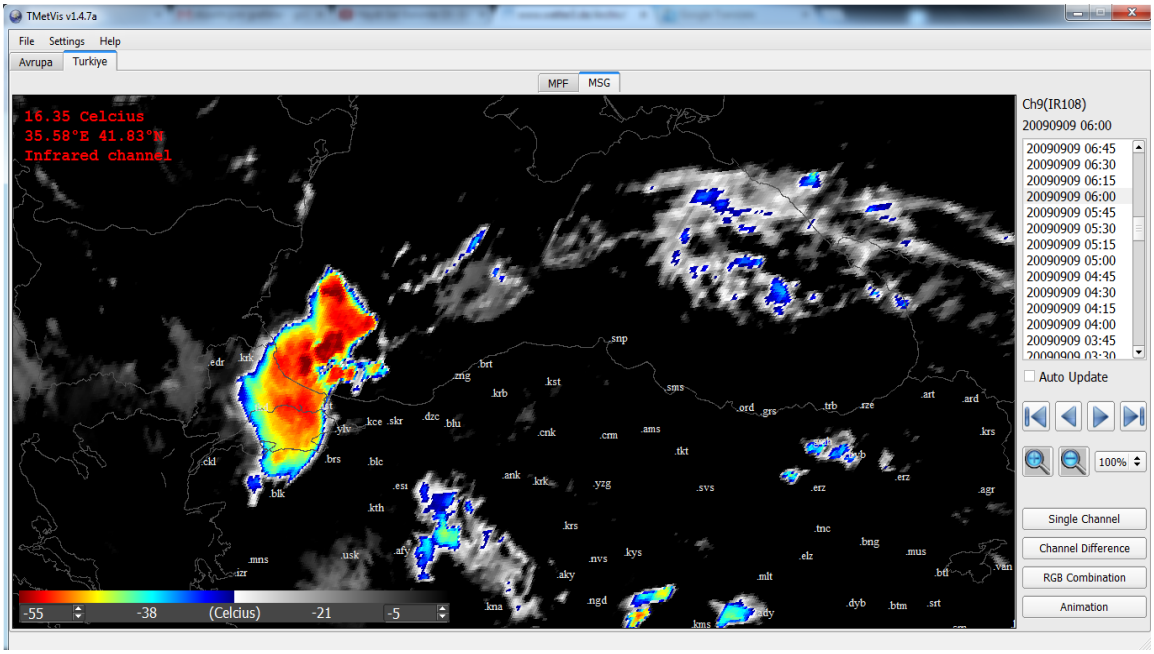
Şekil 2.5: 08.09.2009 tarihli 12 GMT'ye ait 500 mb ve düşey hız haritası [3]



Şekil 2.6: 08.09.2009 tarihli ve12 GMT saatli IR 10.8 uydu kanalının görüntüsü



Şekil 2.7: 09.09.2009 06 GMT'ye ait 500 mb ve düşey hız haritası [3]



Şekil 2.8: 09.09.2009 tarihli ve 06 GMT saatli IR 10.8 uydu kanalının görüntüsü

3. UYGULAMA

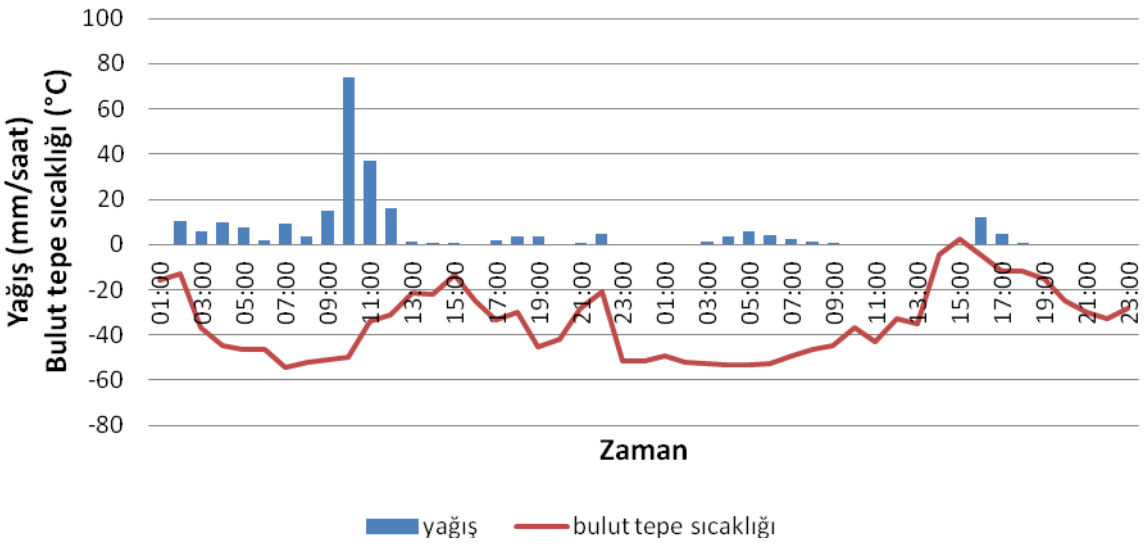
Bu çalışmada 1, 3 ve 6 saatlik toplam yağış verileri kullanılarak, bulut tepe sıcaklıklarında ise her zaman dilimindeki en düşük değer ele alınmıştır. Grafiklerde yağış verileri mm, bulut tepe sıcaklıkları da °C cinsindendir.

3.1. Çatalca İstasyonu

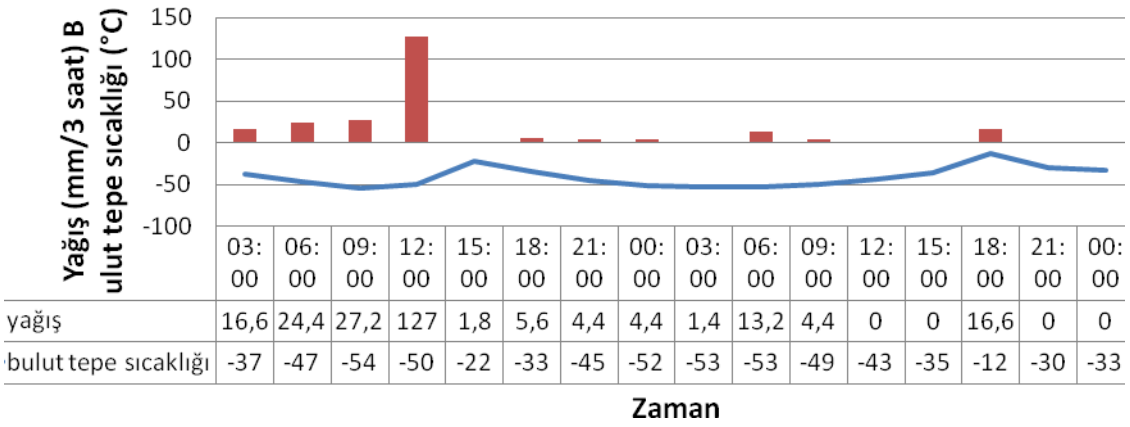
Şekil 3.1'e göre, 03:00 GMT ve 13:00 GMT saatleri arasında bulut tepe sıcaklığının düşüşüyle beraber yağışın arttığı görülmektedir.

3 saatlik toplam yağış ve bulut tepe sıcaklığı arasındaki saçılma diyagramında ise (Şekil 3.2), 03:00 GMT ve 12:00 GMT saatleri arasında da Şekil 3.1'e benzer bir yapı görülmekte olup farklı en düşük bulut tepe sıcaklıklarına denk gelen yağış değerlerinin sayısı azalmaktadır. Diğer saatlerde de bulut tepe sıcaklıklarında düşüş olmasına rağmen yağış miktarları düşüktür.

Şekil 3.3 ise 6 saatlik toplam yağışlara karşılık gelen en düşük bulut tepe sıcaklıklarına işaret etmektedir ve 06:00 GMT ve 12:00 GMT saatleri arasında 6 saatlik toplam yağışın çok yüksek, bulut tepe sıcaklığının da çok düşük olduğu daha bariz olarak görülmektedir.

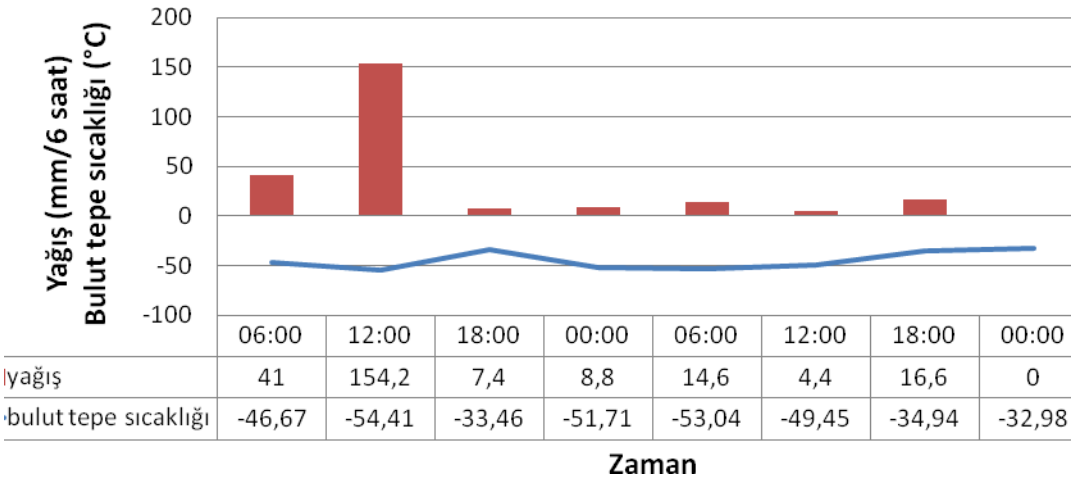


Şekil 3.1**:** Çatalca istasyonuna ait 1 saatlik yağış - bulut tepe sıcaklığı ilişki grafiği



	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	00:00
yağış	16,6	24,4	27,2	127	1,8	5,6	4,4	4,4	1,4	13,2	4,4	0	0	16,6	0	0
bulut tepe sıcaklığı	-37	-47	-54	-50	-22	-33	-45	-52	-53	-53	-49	-43	-35	-12	-30	-33

Şekil 3.2: Çatalca istasyonuna ait 3 saatlik yağış - bulut tepe sıcaklığı ilişki grafiği

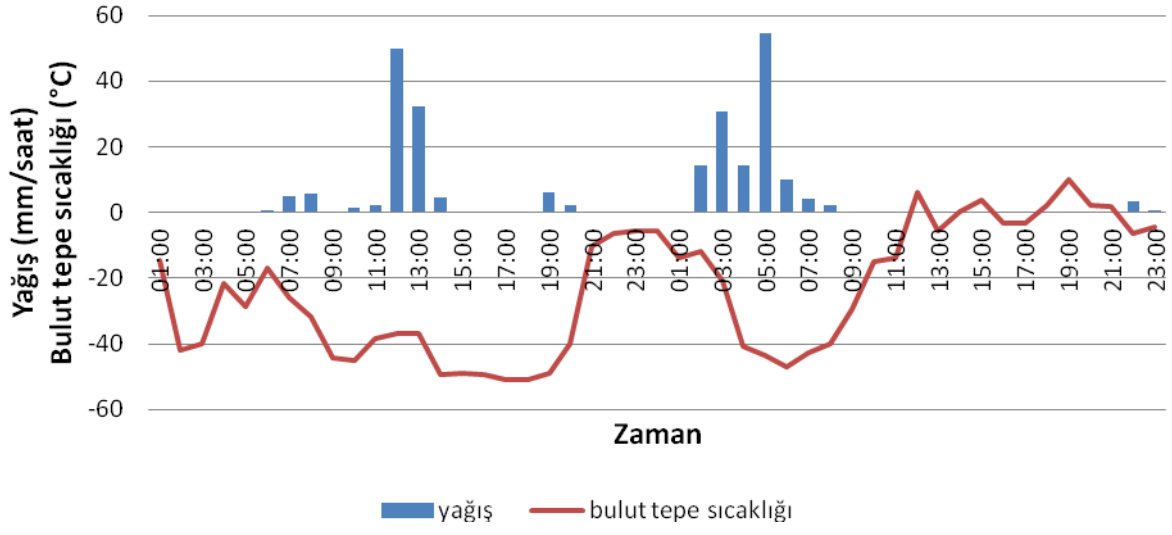


	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00
yağış	41	154,2	7,4	8,8	14,6	4,4	16,6	0
bulut tepe sıcaklığı	-46,67	-54,41	-33,46	-51,71	-53,04	-49,45	-34,94	-32,98

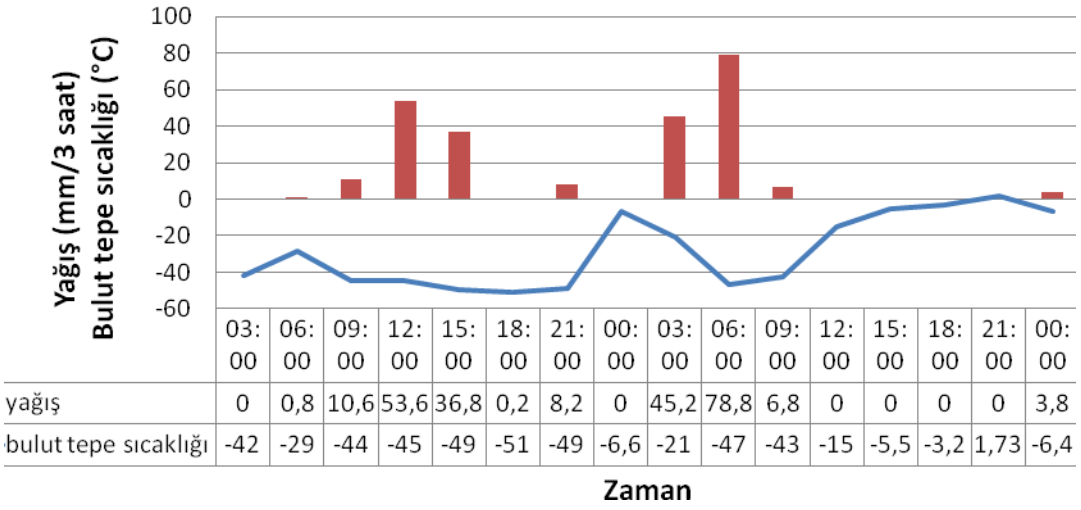
Şekil 3.3: Çatalca istasyonuna ait 6 saatlik yağış - bulut tepe sıcaklığı ilişki grafiği

3.2. Bandırma İstasyonu

Şekil 3.4, 3.5 ve 3.6 Bandırma istasyonuna ait olan grafikler olup, düşük bulut tepe sıcaklığına denk gelen yüksek yağışlar belirgin bir şekilde görülmektedir. Zaman çözünürlüğünün 1 saatten 6 saate düşürülmesiyle bu daha belirgin bir hale gelmektedir.

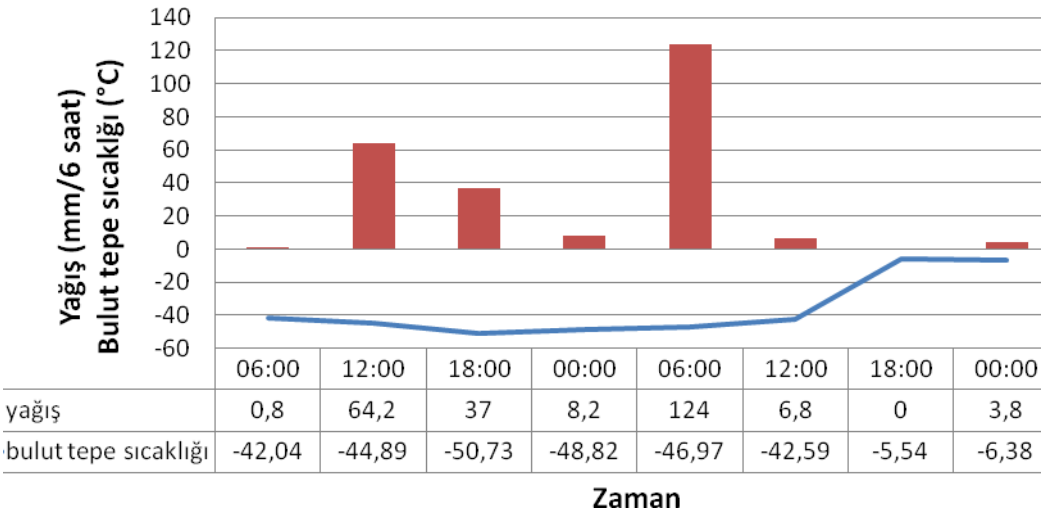


Şekil 3.4: Bandırma istasyonuna ait 1 saatlik toplam yağış - bulut tepe sıcaklığı ilişki grafiği



	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	00:00
yağış	0	0,8	10,6	53,6	36,8	0,2	8,2	0	45,2	78,8	6,8	0	0	0	0	3,8
bulut tepe sıcaklığı	-42	-29	-44	-45	-49	-51	-49	-6,6	-21	-47	-43	-15	-5,5	-3,2	1,73	-6,4

Şekil 3.5: Bandırma istasyonuna ait 3 saatlik toplam yağış - bulut tepe sıcaklığı ilişki grafiği

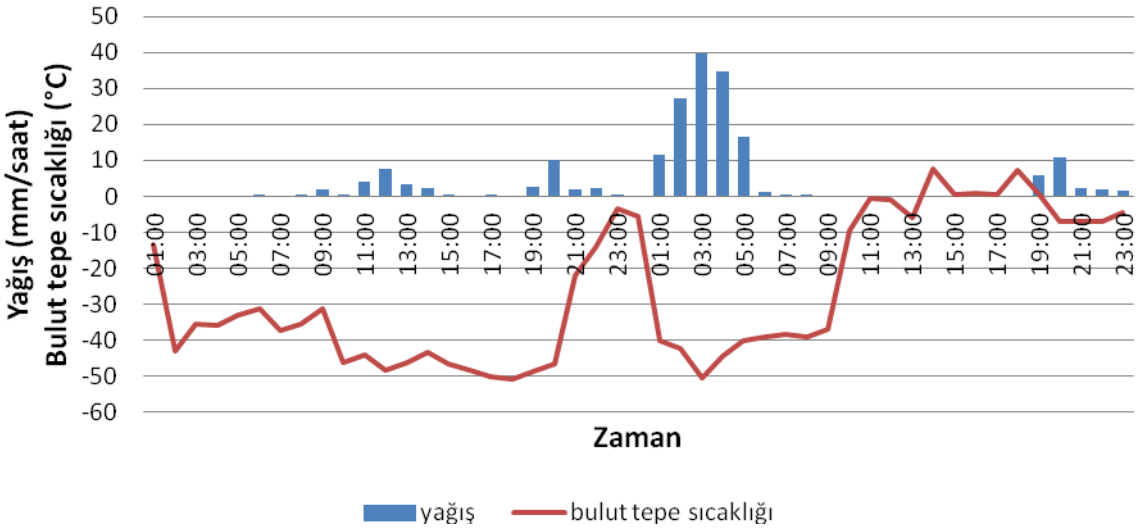


	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00
yağış	0,8	64,2	37	8,2	124	6,8	0	3,8
bulut tepe sıcaklığı	-42,04	-44,89	-50,73	-48,82	-46,97	-42,59	-5,54	-6,38

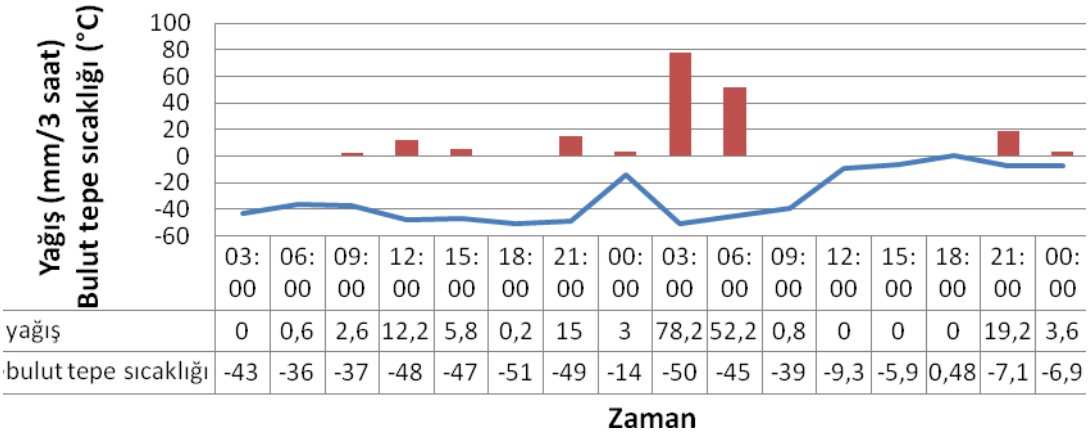
Şekil 3.6: Bandırma istasyonuna ait 6 saatlik toplam yağış - bulut tepe sıcaklığı ilişki grafiği

3.3. Erdek İstasyonu

Erdek istasyonunda da aynı şekilde, özellikle 00:00 GMT – 09:00 GMT saatleri arasında yüksek yağışları düşük bulut tepe sıcaklıklarında görmek mümkündür (Şekil 3.7, 3.8 ve 3.9).

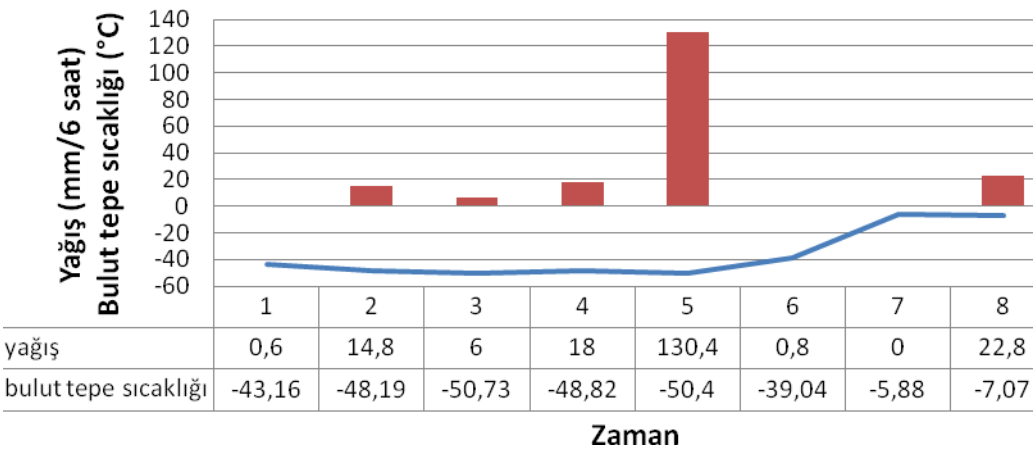


Şekil 3.7: Erdek istasyonuna ait 1 saatlik toplam yağış - bulut tepe sıcaklığı ilişki grafiği



	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	00:00
yağış	0	0,6	2,6	12,2	5,8	0,2	15	3	78,2	52,2	0,8	0	0	0	19,2	3,6
bulut tepe sıcaklığı	-43	-36	-37	-48	-47	-51	-49	-14	-50	-45	-39	-9,3	-5,9	0,48	-7,1	-6,9

Şekil 3.8: Erdek istasyonuna ait 3 saatlik toplam yağış - bulut tepe sıcaklığı ilişki grafiği

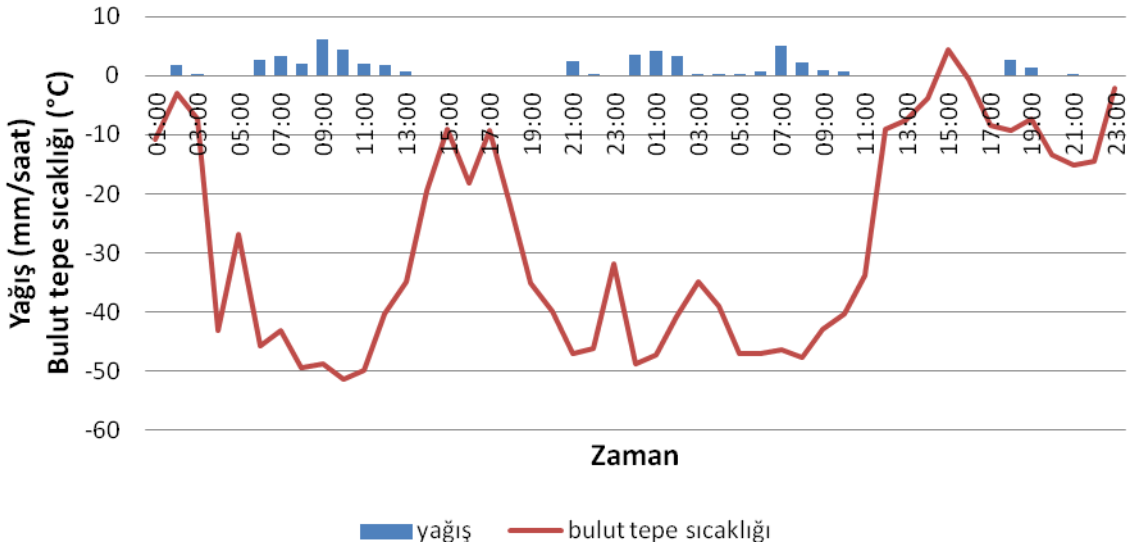


	1	2	3	4	5	6	7	8
yağış	0,6	14,8	6	18	130,4	0,8	0	22,8
bulut tepe sıcaklığı	-43,16	-48,19	-50,73	-48,82	-50,4	-39,04	-5,88	-7,07

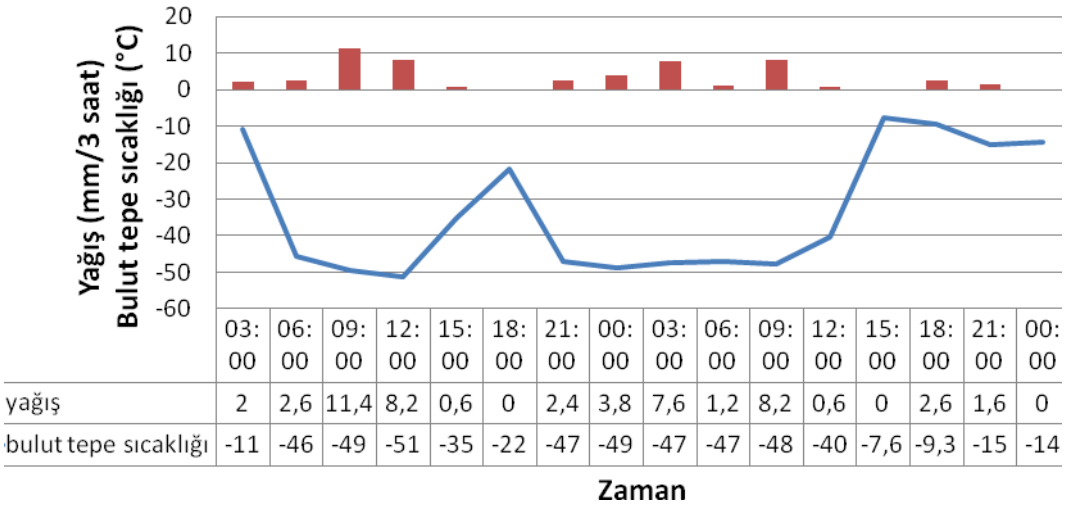
Şekil 3.9: Erdek istasyonuna ait 6 saatlik toplam yağış - bulut tepe sıcaklığı ilişki grafiği

3.4. Çorlu İstasyonu

Çorlu istasyonun 3 grafiğinde de yağışlar az olmasına rağmen hepsi düşük bulut tepe sıcaklıklarında gerçekleşmiştir (Şekil 3.10, 3.11 ve 3.12).

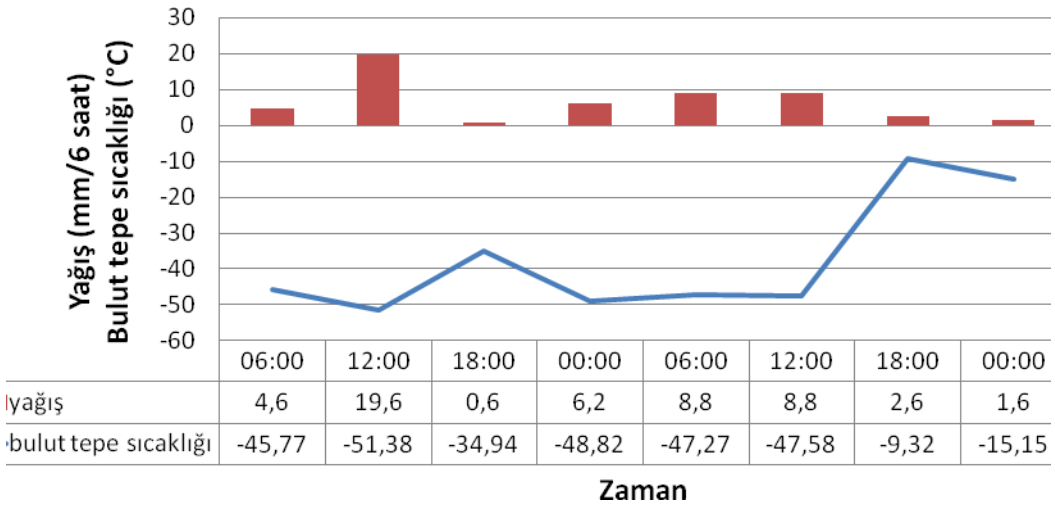


Şekil 3.10: Çorlu istasyonuna ait 1 saatlik toplam yağış - bulut tepe sıcaklığı ilişki grafiği



	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	00:00
yağış	2	2,6	11,4	8,2	0,6	0	2,4	3,8	7,6	1,2	8,2	0,6	0	2,6	1,6	0
bulut tepe sıcaklığı	-11	-46	-49	-51	-35	-22	-47	-49	-47	-47	-48	-40	-7,6	-9,3	-15	-14

Şekil 3.11: Çorlu istasyonuna ait 3 saatlik toplam yağış - bulut tepe sıcaklığı ilişki grafiği



	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00
yağış	4,6	19,6	0,6	6,2	8,8	8,8	2,6	1,6
bulut tepe sıcaklığı	-45,77	-51,38	-34,94	-48,82	-47,27	-47,58	-9,32	-15,15

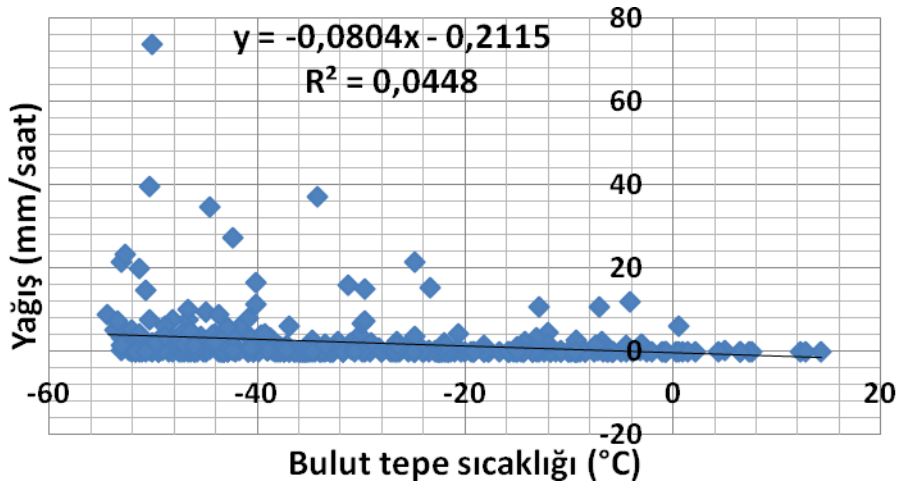
Şekil 3.12: Çorlu istasyonuna ait 6 saatlik toplam yağış - bulut tepe sıcaklığı ilişki grafiği

Kumköy, Sarıyer, Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ istasyonlarına ait grafikler ile yorumları için Keskin 2013'e [4] bakılabilir.

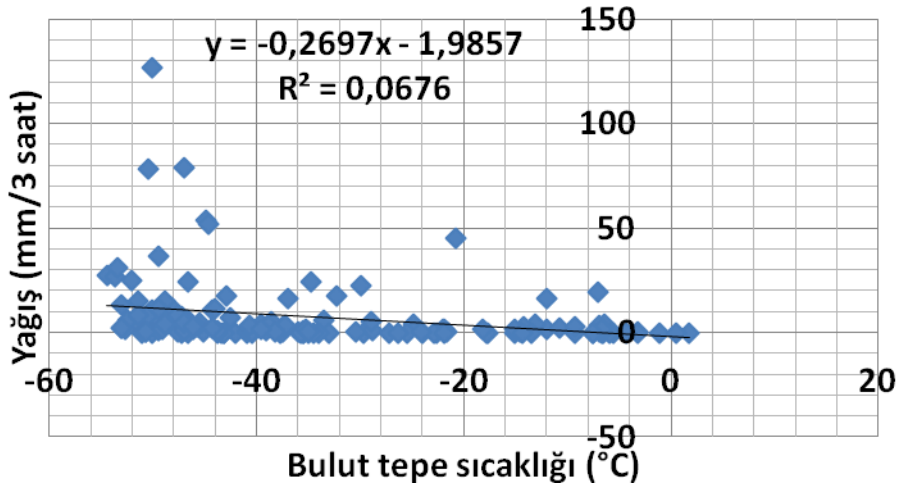
3.5. Bulut Tepe Sıcaklığı ile Yağış Arasındaki Saçılma Grafikleri

Burada; Çatalca, Kumköy, Sarıyer, Bandırma, Erdek, Edirne, Kırklareli, Çorlu ve Tekirdağ istasyonlardan elde edilen 1, 3 ve 6 saatlik toplam yağış değerleri ile istasyonlara denk gelen piksellerdeki bulut tepe sıcaklıkları arasındaki saçılma grafikleri ve bu iki değişken arasındaki korelasyon değerleri incelenmiştir. Şekil 3.13 1 saatlik toplam yağışları ve bunlara karşılık gelen en düşük bulut tepe sıcaklıklarını göstermektedir ve nerdeyse grafikteki tüm bulut tepe sıcaklıklarında düşük yağış değerleri gözlenmiştir. Bundan dolayı da saçılmalar çok fazla olup korelasyon değeri 0,21 gibi düşük bir değere sahiptir. Veri sayısı azalmakla birlikte, benzer durum

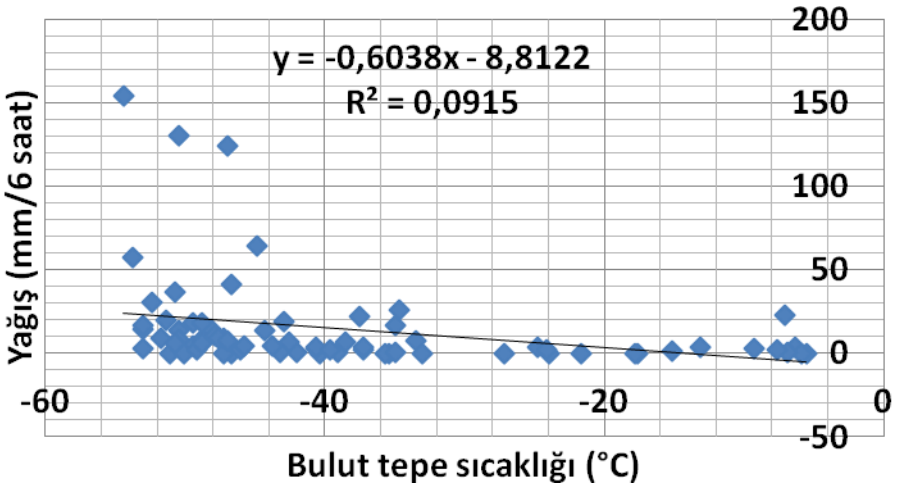
3 ve 6 saatlik toplam yağış değerlerinde görülmektedir (Şekil 3.14 ve 3.15). Bu grafiklerdeki korelasyon da sırasıyla 0,26 ve 0,30'dur.



Şekil 3.13: 1 saatlik toplam yağış ile bulut tepe sıcaklığı arasındaki saçılma grafiği

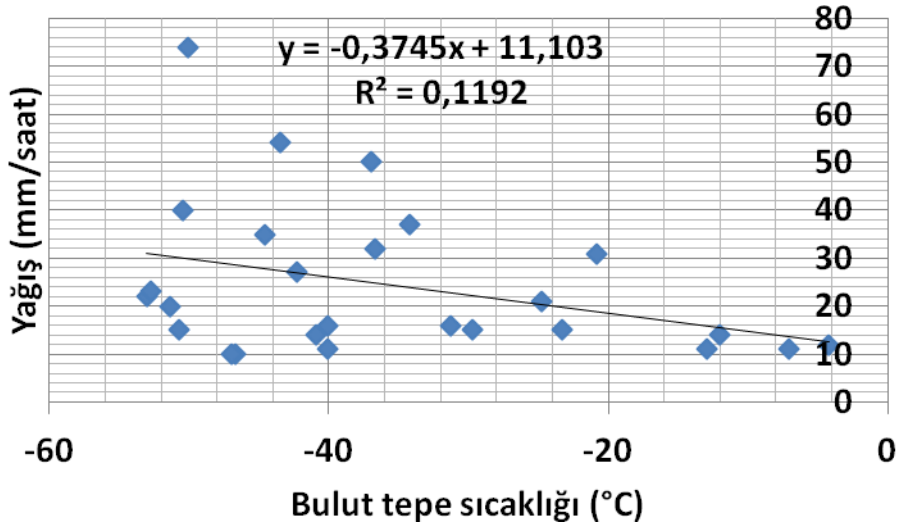


Şekil 3.14: 3 saatlik toplam yağış ile bulut tepe sıcaklığı arasındaki saçılma grafiği



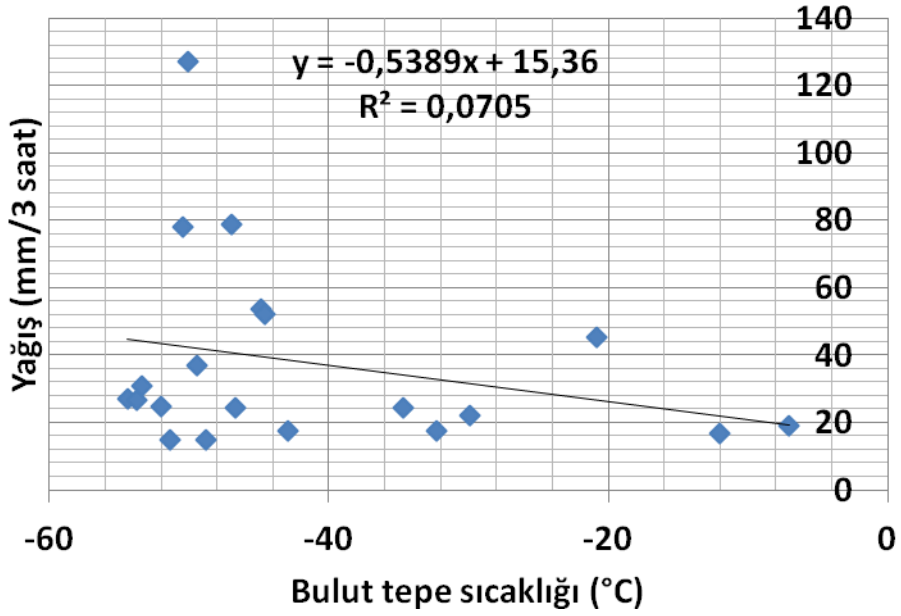
Şekil 3.15: 6 saatlik toplam yağış ile bulut tepe sıcaklığı arasındaki saçılma grafiği

Yağışın düşük değerleri de göz önünde bulundurularak yağış ile bulut tepe sıcaklığı arasındaki ilişkinin derecesini arttırabilmek mümkün değildir. Bunun üstesinden gelebilmek için belli bir eşik değeri üzerindeki yüksek yağış değerleri ile 3 ve 6 saatlik toplam yağış değerlerinin dikkate alınması aradaki korelasyonu arttıracaktır. Bunun içindir ki öncelikle 1 saatlik toplam yağışlar içerisinden 10 mm'den yüksek olan yağış değerleri Şekil 3.16'da görüldüğü gibi değerlendirmeye alınmıştır ve korelasyon değerinin 0,35'e ulaştığı görülmüştür.



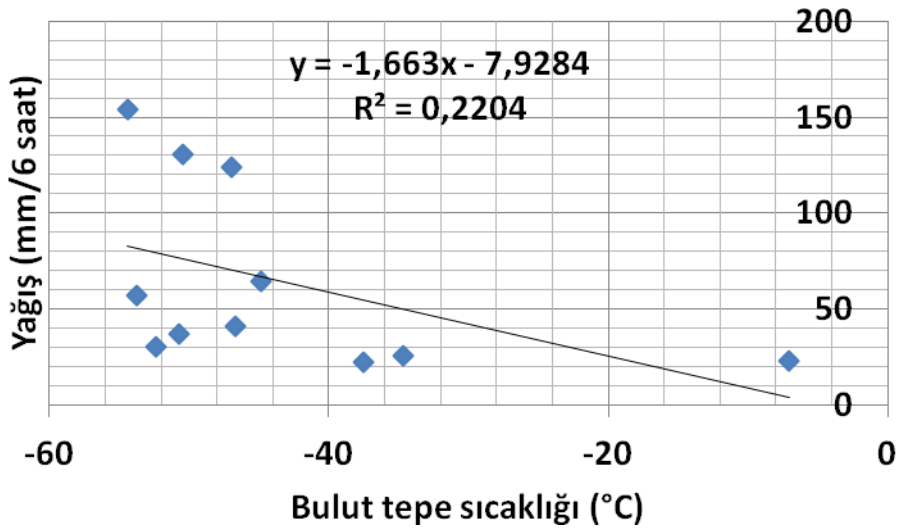
Şekil 3.16: 10 mm'den yüksek 1 saatlik toplam yağış ile bulut tepe sıcaklığı arasındaki saçılma grafiği

Şekil 3.17'de ise 3 saatlik toplam yağış değerleri içerisinden 15 mm'den yüksek olan değerler göz önünde bulundurulmuştur. Burada ise yağış ile bulut tepe sıcaklığı arasındaki ilişki değerinin 0,27'ye gerilediği tespit edilmiştir.



Şekil 3.17: 15 mm'den yüksek 3 saatlik toplam yağış ile bulut tepe sıcaklığı arasındaki saçılma grafiği

Son olarak ise, 6 saatlik toplam yağışlar içerisinden 20 mm'den daha yüksek yağış değerleri değerlendirmeye alınmış ve bu durumda da yağış ile bulut tepe sıcaklığı arasındaki korelasyon değeri 0,47 olarak bulunmuştur (Şekil 3.18).



Şekil 3.18: 20 mm'den yüksek 6 saatlik toplam yağış ile bulut tepe sıcaklığı arasındaki saçılma grafiği

4. SONUÇLAR

Şiddetli konvektif yağışlar sonucunda son yıllarda meydana gelen taşkın ve sellerin sonucunda çok sayıda can ve mal kaybı yaşanmıştır. Yurdumuzda ise 8 ve 9 Eylül 2009 tarihlerinde Marmara Bölgesi'nde ve özellikle İstanbul'da meydana gelen aşırı yağış neticesinde can ve mal kayıpları yaşanmış ve bunun sonucunda konvektif yağışların şiddetini tespit etmenin önemi bir kez daha anlaşılmıştır. Şiddetli yağışlar yetkili kişiler tarafından önceden belirlenmeli ve uyarı sistemleri geliştirilmelidir.

IR 10.8 kanalından Çatalca, Kumköy, Sarıyer, Bandırma, Erdek, Edirne, Kırklareli, Çorlu ve Tekirdağ meteoroloji istasyonlarının üzerindeki bulut tepe sıcaklıkları elde edilmiştir. Bu istasyonlardan elde edilen dakikalık yağış verileri 1, 3 ve 6 saatlik olarak düzenlenmiş ve bulut tepe sıcaklıklarıyla karşılaştırılmıştır. Bu veriler 15 dakikalıktır. 1 saatlik yağış verilerini karşılaştırmada her bir saat içerisindeki minimum bulut tepe sıcaklığı alınmıştır. 3 ve 6 saatlik karşılaştırmalarda da aynı mantıkla hareket edilmiştir. Elde edilen grafiklerin ışığında yağışların meydana geldiği zamanlarda istasyonlar üzerindeki bulut tepe sıcaklığında bariz bir düşüş saptanmıştır. Zaman çözünürlüğünü azalttığımızda yani 1 saatten 6 saate doğru gidildiğinde yağış ve bulut tepesi arasındaki bu ilişki daha belirgin görülmektedir.

Grafiklerde düşük bulut sıcaklıklarında yağışın olmadığı veya çok az olduğu zamanlar da vardır. Bu zamanlarda bulut içi aktiviteler hakkında bilgi sahibi olunmadığı için yorum yapmak zordur. Ayrıca sirüs bulutları da bu durumlara yol açmaktadır. Çünkü sirüs bulutları da yüksek seviye

bulutlarıdır ve tepe sıcaklıkları kümülonimbus bulutları gibi oldukça düşüktür. Bu yüzden kullanılan programlarda bulut sınıflandırmaları dikkatli yapılmalıdır. Kümülonimbus bulutunun içindeki aktiviteleri gözlemlemek için bulutlar daha detayla modellenmelidir.

Uydu verileriyle oluşturulan canlandırmalarla konvektif sistemlerin hareketleri daha kolay belirlenir. Bulut tepe sıcaklıklarıyla yapılan ilişkilerle konvektif yağışların şiddeti tespit edilebilir ve bu tahrip gücü yüksek yağışlar sonucunda meydana gelebilecek zararların tespitinin yapılması oluşabilecek kötü sonuçların azaltılmasında önemli rol oynar.

KAYNAKLAR

[1] **Bozkurt, D. ve Göktürk O. M**. (2009). Suyumuz ısınıyor mu, *Bilim ve Teknik*, 55-57. s.

[2] **Öztopal, A.** (2007). *Uydu ve yer kaynaklı meteorolojik değişkenlerle kısa vadeli yağış modellemesi için yapay sinir ağı yaklaşımı*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, 2-3. s.

[3] **Wetter3,** (2013). http://www.wetter3.de/Archiv/ (8-9 Eylül 2009)

[4] **Keskin, G.** (2013). *Konvektif yağışlarda bulut tepe sıcaklığı ile yağış miktarı arasındaki ilişkinin araştırılması.* (Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi.

Kıyı Ege ve Güney Marmara'da, Kısa ve Orta Vadeli Tahminlerde Öngörülemeyen Kuvvetli Hava Olaylarının Nowcasting (Çok Kısa Süreli Hava Tahmini) Yöntemleri ile Belirlenmesi Üzerine bir Çalışma

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

Köksal KÖKSOY
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Bölgesel Tahmin ve Uyarı Merkezi
İzmir
kkoksoy@mgm.gov.tr

ÖZET

Çalışmada, 2015 yılında Meteoroloji 2. Bölge Müdürlüğünün erken uyarı sorumluluk sahasında gerçekleşen ve kuvvetli hava olaylarına neden olan 4 ayrı durum incelemesi (case study) ele alınmıştır. Belirlenen durumların ortak paydaları, meydana gelen çok kuvvetli ve aşırı yağışların sayısal Analiz ile yapılan model tahminlerinde ve sübjektif analiz yöntemleri ile öngörülememesi ve yıkıcı etkisinin büyük ölçekli olmasıdır. Çalışma kapsamında, Balıkesir ve İzmir Meteoroloji Radarı görüntüleri ve sayısal ham verileri kullanılarak oluşan yapıların analizi yapılmıştır. Gelişen konvektif yapılarda oluşan orajlar klasik nowcasting yöntem ve yaklaşımları ile değerlendirilmiş ve orajların zamana bağlı gelişimi ile yağış miktarı ve neden olduğu yağışların cinsi arasındaki ilişki incelenmiştir. Ayrıca 4 ayrı duruma ait sayısal model ürünleri, aktüel yer ve yüksek seviye haritaları, ravinsonde gözlemleri kullanılarak mevcut durum tespiti ve analizler yeniden değerlendirilmiştir. Yörede oluşan Kuvvetli Hava olaylarının yarattığı olumsuz etkilerin tespiti amacıyla otomatik istasyon verileri, meteorolojik fevk gözlemleri ve basında yer alan haberler ile yöre sakinlerinden gelen bilgiler değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler — Hızlı Gelişen Oraj (RDT), Nowcasting, Kıyı Ege,

1. GİRIŞ

İzmir Bölgesel Uyarı ve Tahmin Merkezi(BTUM)'nin sorumluluk sahası İzmir, Aydın, Manisa Çanakkale ve Balıkesir illerini kapsar. Bölge için kısa vadeli tahminler ve çok kısa vadeli 0 - 6 saatlik Nowcasting tahminleri üretir. Bu amaçla sayısal model ürünlerini, subjektif analiz yöntemlerini, Uydu görüntülerini, Balıkeisir ve İzmir'de kurulan Meteoroloji radarlarını kullanır. Yapılan çalışmada 2015 yılı içinde meydana gelen, mevcut sayısal tahmin ürünlerinde belirlenemeyen dört kuvvetli hava olayı Bölgede bulununa Balıkesir ve İzmir radar ürünleri kullanılarak mevcut nowcasting yöntemleri ile incelenmiştir.

2. KUVVETLİ HAVA OLAYLARININ NOWCASTING YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

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

Konvektif yapıların analizinde kullanılan temel radar ürünlerinin 90 km lik bir yarıçap içinde etkin kullanımının mümkün olması nedeniyle, Değerlendirilen durumların Balıkesir ve İzmir Meteoroloji radarından kuş uçusu 90 km lik yarıçap içinde yer alması seçim kriterlerinden biri olarak belirlenmiştir. Çalışmada yer verilen 20 Mayıs 2015, 3 Haziran 2015 ve 7 Agustos 2015 tarihlerinde meydana gelen kuvvetli hava olayrarı İzmir Meteoroloji radarın, 16.06.2015 tarihindeki kuvvetli hava olayı ise Balıkesir radarının 90 km'lik yarıçap alanında gerçekleşmiştir (Şekil 1a, Şekil 1b, Şekil 1c, Şekil 1d,).

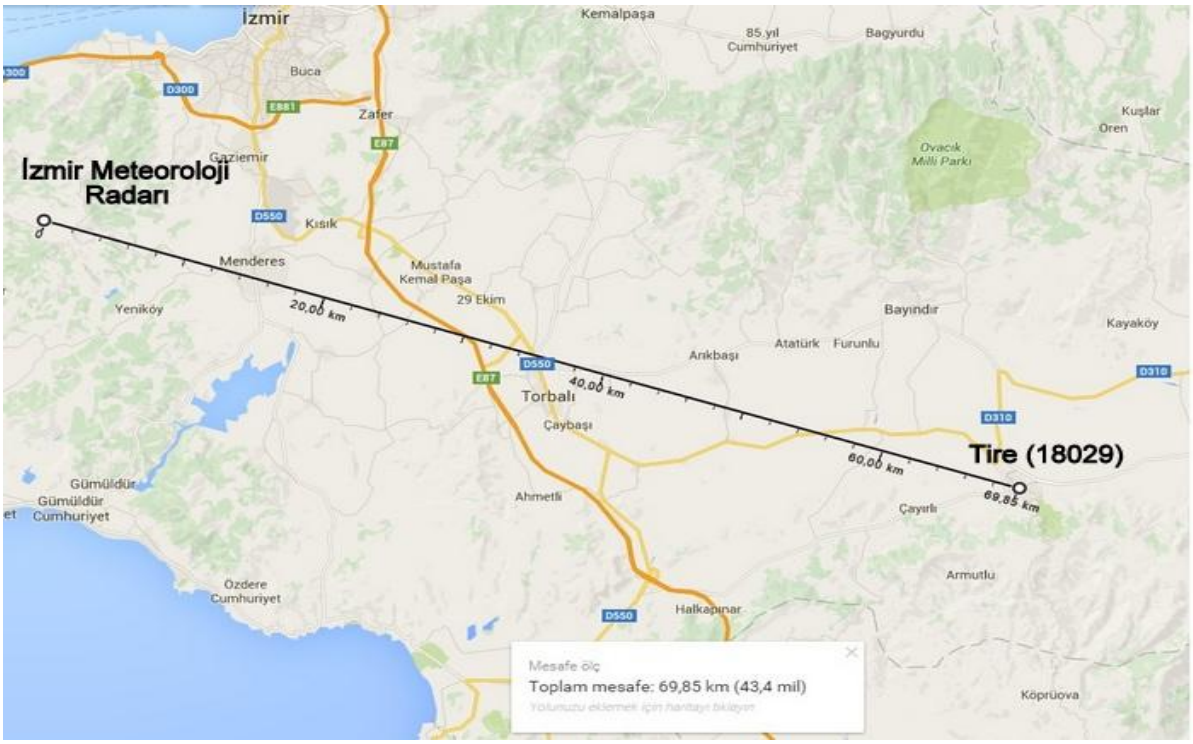
2.1.2 Oluşan Kuvvetli Olaylarına Bağlı Yer Seviyesinde Meteorolojik Parametrelerdeki Değişimin İzlenilebilirliği

Kuvvetli olayların meydana geldiği alan içinde meteorolojik parametrelerin gözlemlenmesine ve kuvvetli hava olaylarının sonuçlarının incelenmesine ve değerlendirilmesine olanak sağlayan otomatik meteoroloji istasyonlarının bulunması olay seçiminde kriter olarak belirlenmiştir. Çalışmada yer verilen 20 Mayıs 2015'de izmir'de meydana gelen kuvvetli hava olayı için Bornava Zeytincilik Araştırma enstitüsü (18031), İzmir-Konak (18448) ve İzmir-Bayraklı (18440) otomatik istasyonları verileri, 3 Haziran 2015'de Tire'de meydana gelen kuvvetli hava olayı için Tire (18029) otomatik istasyonu verileri, 16.06.2015'de Balıkeisir'de meydana gelen

kuvvetli hava olayı için Balıkesir (18433), Kepsut (18082) otomatik istasyonları verileri 7 Agustos 2015 tarihinde meydana gelen kuvvetli hava olayı için Manisa(17186), Manisa Kent ormanı (18033) ve Sipil Dağı (17771) otomatik istasyonları verileri kullanılmıştır. İstasyonların konumu Şekil 1'de gösterilmiştir.



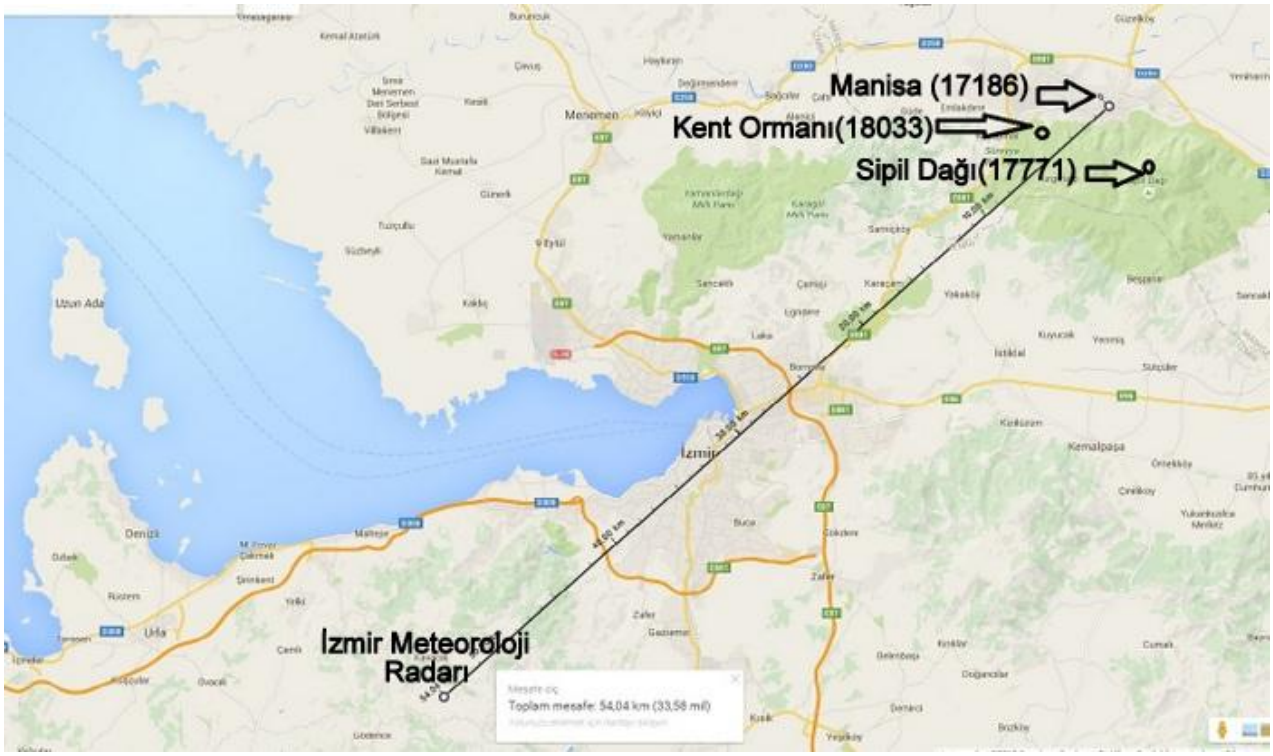
Şekil 1,a: Bornava Zeytincilik Araştırma enstitüsü (18031), İzmir-Konak (18448) ve İzmir-Bayraklı (18440) otomatik istasyonları ile İzmir Meteoroloji Radarı'nın konumu



Şekil 1,b: Tire (18029) otomatik istasyonu ile İzmir Meteoroloji Radarı'nın konumu



Şekil 1,c: Balıkesir (18433) otomatik istasyonu ile İzmir Meteoroloji Radarı'nın konumu



Şekil 1,d : Manisa(17186), Manisa Kent ormanı (18033) ve Sipil Dağı (17771) otomatik istasyonları

2.2 Seçilen Durumların Nowcasting Yöntemi ile Analizinde Kullanılacak Radar Ürünleri

Çalışmada kullanılan radar görüntüleri İzmir ve Balıkesir radarı ham arşiv verileri kullanılarak MGM uzaktan algılama birimi tarafından yeniden üretilmiştir. İzmir meteoroloji radarı 20 Mayıs 2015, 3 Haziran 2015 ve 7 Agustos 2015 tarihlerinde Balıkesir meteoroloji radarı 16.06.2016 tarihinde yaz modunda çalışarak çalışmada kullanılan verileri üretmişlerdir. Bu iki radarın sağladığı hacimsel verilerden türetilen, tek bir görüntü üzerinde eko yüksekliği ve yoğunluğunu görebilme imkanı sağlayan, her bir pikselin dikey kesitindeki maksimum ekoların tespit edilmesine olanak sağlayan Maximum display(MAX), Seçilen bir dBZ eşik değerinin dikey düzlemde oluştuğu en yüksek seviyelerin yer düzleminden uzaklığını km olarak gösteren ürün Echo tops(TOPS), 2-3-5 km seviyeleri için üretilmiş ortalama anlık yatay rüzgar vektörleri ile yatay rüzgar hızı ve yönünü gösteren (1.5 -2,5km, 2.5-3.5 km, 4.0 - 6.0 km Wind (WIND) ve Muhtemel toplam yağış miktarını belirten Surface Rainfall Intensity (SRI) ürünleri incelen 4 durum için incelenerek değerlendirilmiştir.

2.3 İstasyonlardan Elde Edilen Yağış verilerinin analizi

20 Mayıs 2015 öğleden sonra İzmir'in Konak, Bornova ve Bayraklı ilçeleri çevrelerinde meydana gelmiştir. Yaklaşık 90 -120 dk süren konvektif sistem il merkezinde hayatı olumsuz etkilemiştir. Maddi hasarlara neden olan çok kuvvetli yağış Bornova'da (62,4 mm m^{-2}), Konak'ta

(37,6 mm m^{-2}), Bayraklı'da (31,5 mm m^{-2} olarak ölçülmüştür. 3 Haziran 2015 öğleden sonra Tire'nin meydana gelmiştir. Yaklaşık 60 -90 dk süren konvektif sistem hayatı olumsuz etkilemiştir. Tire şehir merkezinde maddi hasarlara neden olan yağış Tire otomatik istasyonunda 0,8 mm m^{-2} olarak ölçülmesine karşın SRI ürününde olay anında şehrin doğusunda saatte 100-200 mm m^{-2} yağış potansiyelini işaret etmektedir. 16 Haziran 2015 akşam saatlerinde Balıkesir Merkez ve çevrelerinde meydana gelmiştir. Yaklaşık 60 -90 dk süren konvektif sistem il merkezinde hayatı olumsuz etkilemiştir. Maddi hasarlara neden olan çok kuvvetli yağış Balıkesir'de 61,2 mm m^{-2}, Kepsut'ta 37,6 mm m^{-2} olarak ölçülmüştür. 7 Agustos 2015 akşam saatlerinde Manisa İl merkezi ve çevrelerinde meydana gelmiştir. Yaklaşık 90 -120 dk süren konvektif sistem il merkezinde hayatı olumsuz etkilemiştir. Maddi hasarlara neden olan çok kuvvetli yağış 51,4 mm m^{-2} olarak gerçekleşmiştir.

Meydana gelen yağışlar Meteoroloji Genel Müdürlüğünün yağış sınıflandırmasına göre değerlendirildiğinde; İzmir'de gerçekleşen yağış çok kuvvetli ve kuvvetli, Tire'de gerçekleşen yağış, çok kuvvetli ve aşırı, Balıkesir ve çevresinde gerçekleşen yağış çok kuvvetli ve kuvvetli, Manisa'da gerçekleşen yağış ise çok kuvvetli olarak sınıflandırılır (Tablo 1).

Tablo 1: Meteorolojik Hadiselerin Şiddetlerine Ait Sınıflandırma.

Yağış Sınıflandırması	**(mm m^{-2})**
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

Not: 12 Saatlik periyotta miktara bağlı değerlendirme yapılmış ve bölgeler arası topografik farklılıklar dikkate alınmadan sınıflandırılmıştır.

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 (Tablo 2).

Tablo 2: Kuvvetli Yağış Eşik değerleri.

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

Gerçekleşen yağış miktarları Rigo ve Llasat(2004)' e göre değerlendirildiğinde; incelenen olayların tümünün kuvvetli yağış eşik değerlerini aştığı tespit edilmiştir.

2.4 Sayısal Model Ürünlerinin Değerlendirilmesi

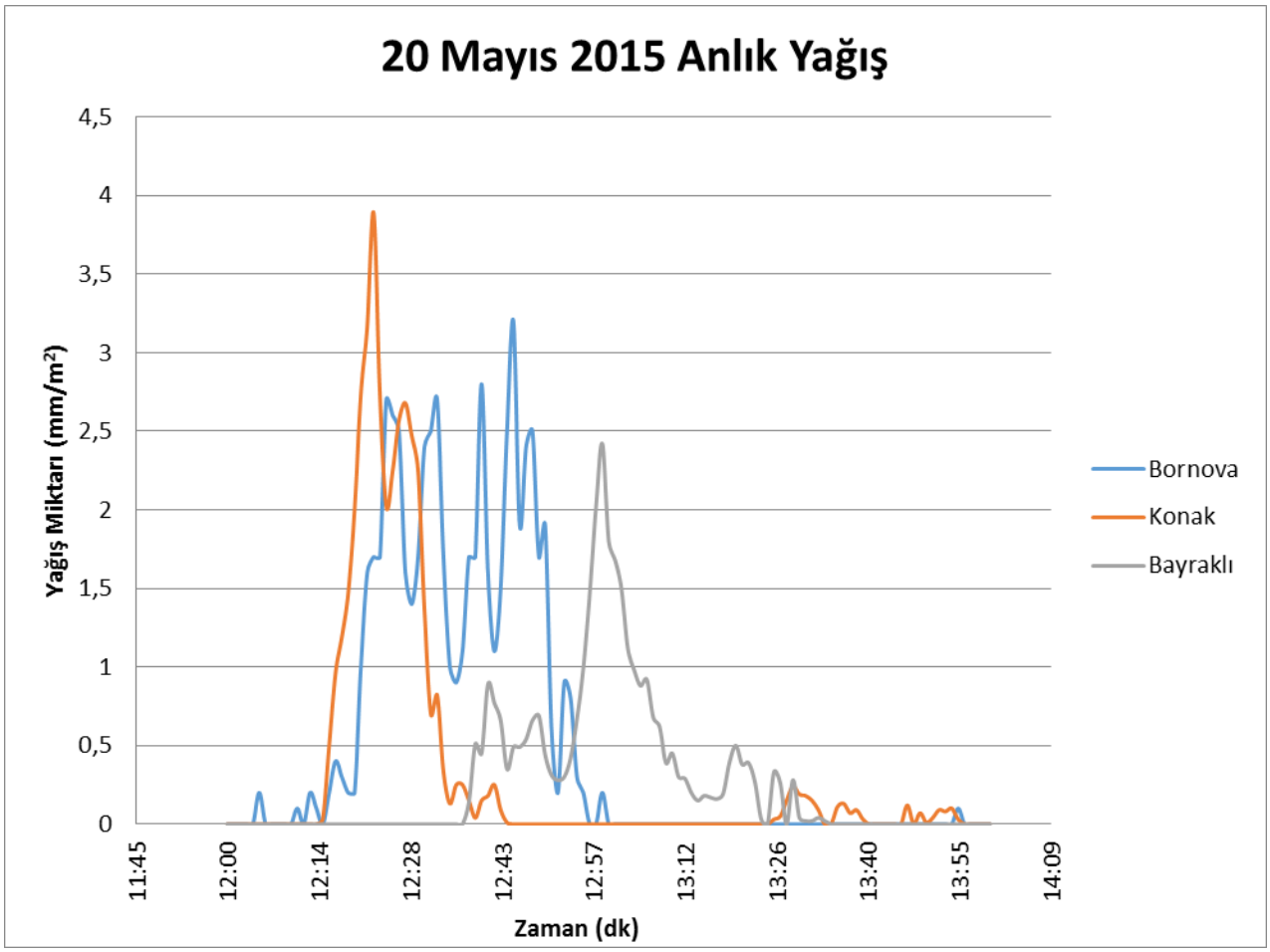
Her bir durum gerçekleşmeden önce çalışan son sayısal model ürünleri incelenmiştir. 20 Mayıs, 3 haziran ve 7 Ağustos 2015 de gerçekleşen kuvvetli hava olaylarını yağış miktarı açısından, 16 Haziran 2015 tarihindeki kuvvetli hava olayını ise konum açısından öngörememiştir.

2.5 Radar Görüntülerinin Değerlendirilmesi

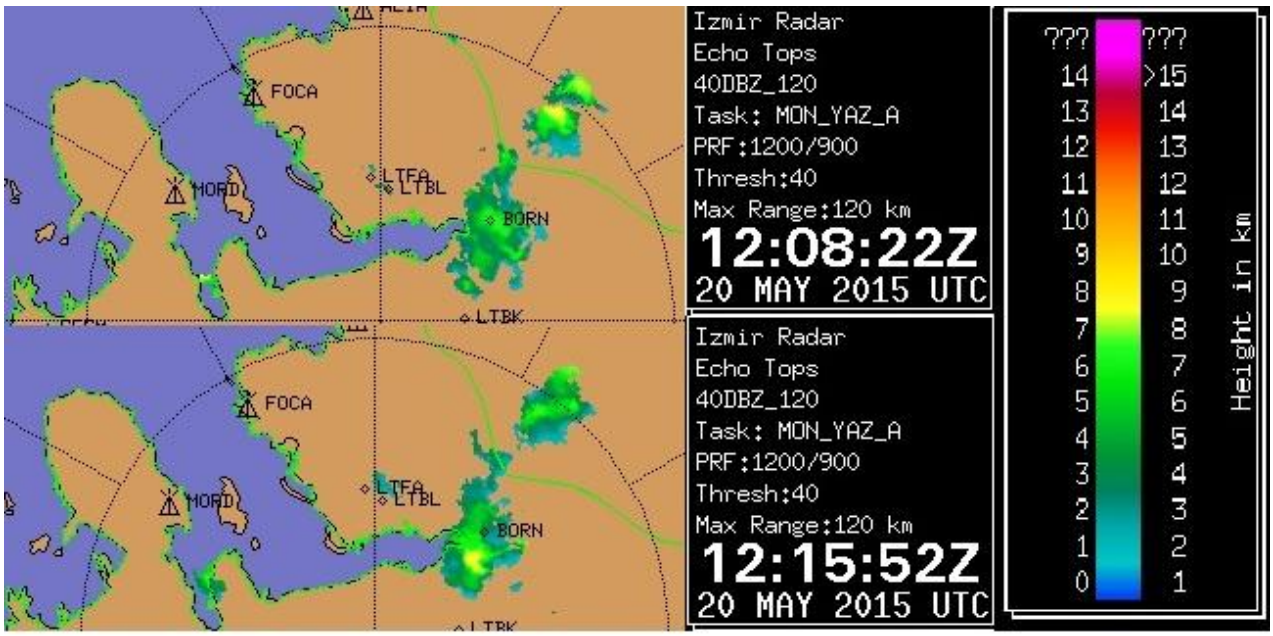
Hacimsel tarama verilerinden elde edilen MAX, TOPS(20dBZ, 40dBZ,) SRI ve 2-3-5 km WIND ürünleri her bir olay için incelenmiştir. Mevcut nowcasting teknikleri olan radar görüntülerinde oluşan hücre yapısı şekillerine göre yapılan değerlendirme yöntemleri kullanılarak BWER, BOW, BEAN, SQUAL, HOOK, COMMA şekillerinin araştırılmıştır [2].

2.5.1 20 Mayıs 2015 Durum İncelemesi

MAX görüntüsü incelendiğinde olay anına kadar herhangi bir kuvvetli hava olayına sebep olabilecek işaret rastlanmamıstır. Olay anında MAX yansıma değerlerinin oluşturduğu V tipi ve kartal şeklinde görüntülere rastlanmıştır. Bununla birlikte TOPS 40 dBZ görüntülerinin zamana bağlı değişimi incelendiğinde 40dBz ve üzerindeki hücre çekirdeğinin iki görüntü (12:08 ve 12:15 Z) arasındaki dikey yer değişimi 7 dk da yukarı yönlü yaklaşık 5 km olduğu belirlenmiştir. Bu kuvvetli düşey yönlü hareket sonunda kuvvetli yağışın başladığı görülmektedir(Şekil 2, Şekil3).



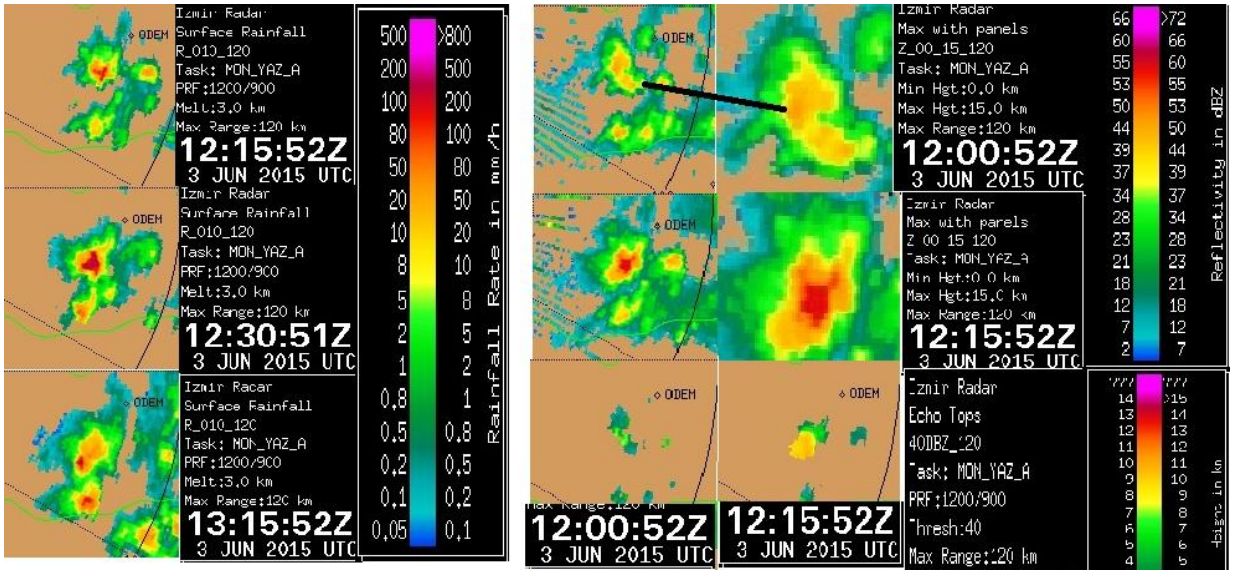
Şekil 2: Bornava Zeytincilik Araştırma enstitüsü (18031), İzmir-Konak (18448) ve İzmir-Bayraklı (18440) otomatik istasyonları Anlık Yağış Verileri



Şekil 3: İzmir Meteoroloji Radarı TOPS 40dBZ görüntüleri

2.5.2 3 Haziran 2015 Durum İncelemesi

Tire otomatik istasyonunda 0,8 mm m^{-2} olarak ölçülmesine karşın SRI ürünü 12:00 -13:45 GMT saatleri arasında yağışın meydana geldiğini ve en kuvvetli kısmının 12:15 ile 13:15 GMT arasında gerçekleştiği ve şehrin doğusunda saatte 100-200 mm m^{-2} yağış potansiyelini işaret ettiği belirlenmiştir.

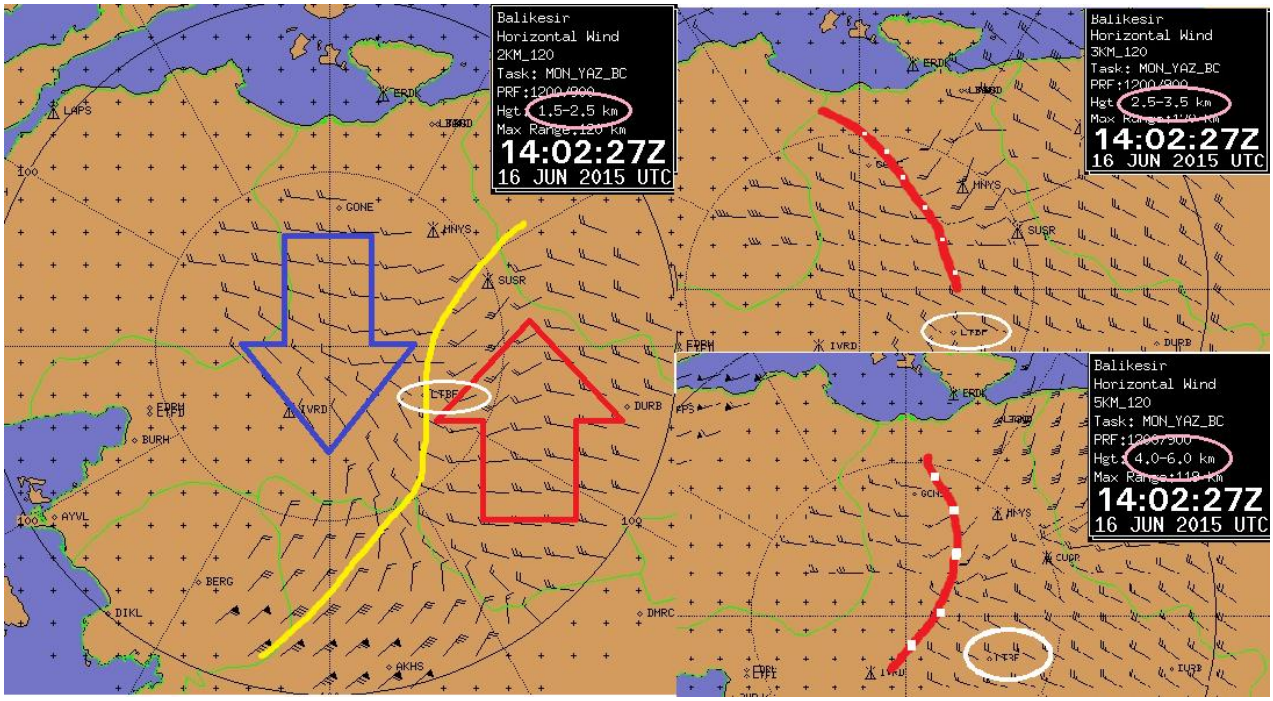


Şekil 4: İzmir Meteoroloji Radarı ,SRI, MAX, TOPS 40dBZ görüntüleri

MAX görüntüsü incelendiğinde 12:00 GMT hücre çekirdeğinin BEAN (fasülye) şeklinde, 12:15 GMT hücre çekirdeğinin ise V tipi konvektif yapıya dönüştüğü belirlenmiştir. iki görüntü (12:08 ve 12:15 Z) arasındaki dikey yer değişimi 7 dk da yukarı yönlü yaklaşık 5 km olduğu belirlenmiştir. Bu kuvvetli düşey yönlü hareket sonunda kuvvetli yağışın başladığı görülmektedir(Şekil 4).

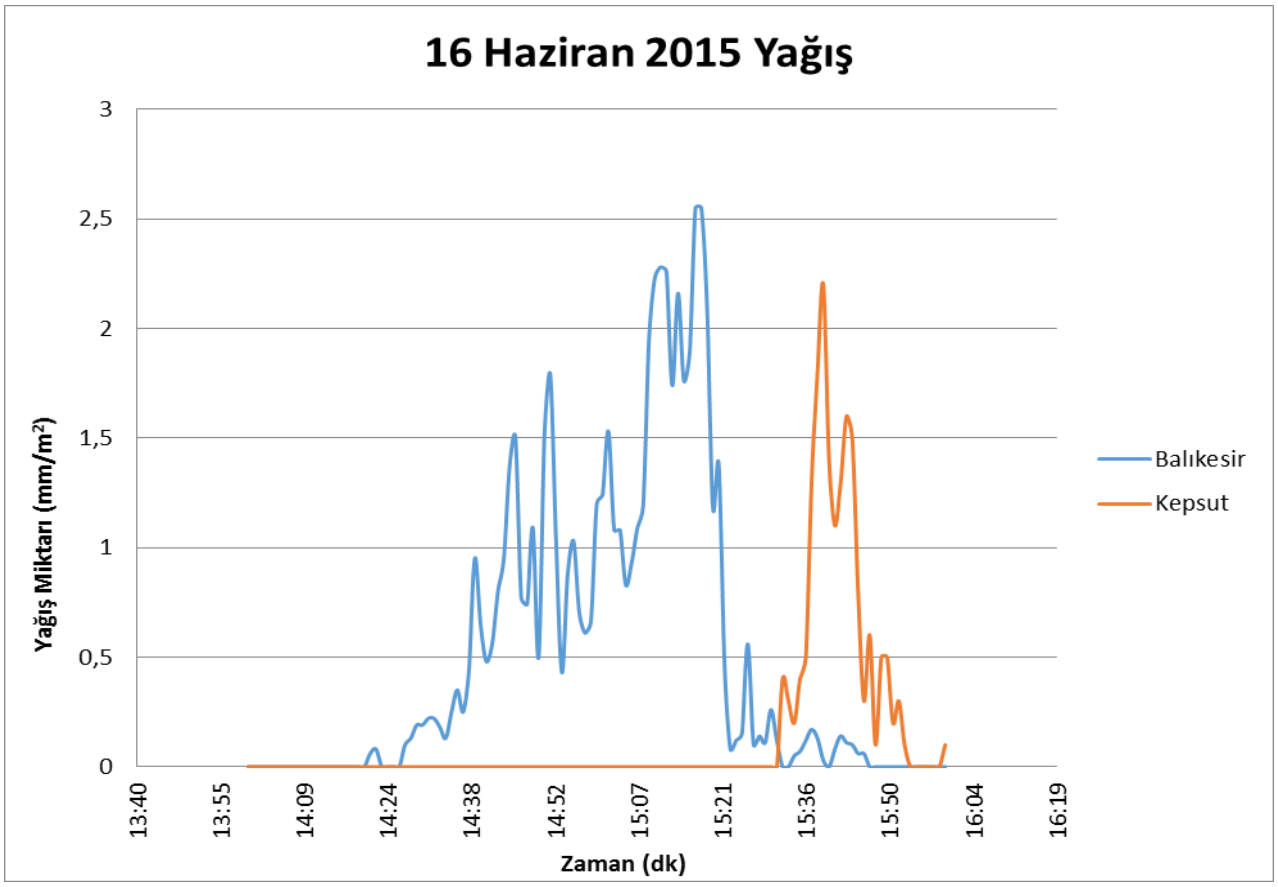
2.5.3 16 Haziran 2015 Durum İncelemesi

Balıkesir radarı verilerinden elde edilen 2,3 ve 5 km WIND ürünleri incelendiğinde konvektif yapıların oluşum evresinde etkili olan sıcak ve soğuk havanın karşılaşma hattının alt seviye (1.5-2.5 km) WIND ürününde Balıkesir'in Manyas ilçesinden başlayarak Balıkesir şehir merkezinden geçip Manisa'nın kuzeyine kadar uzandığı belirlenerek sarı renkle gösterilmiştir (Şekil5). Orta (2.5-3.5 km) ve üst seviye (4.0-6.0 km) WIND ürünleri incelendiğinde rüzgar yön değişimlerine sebep olan trof hatları belirlenmiştir (Şekil5).

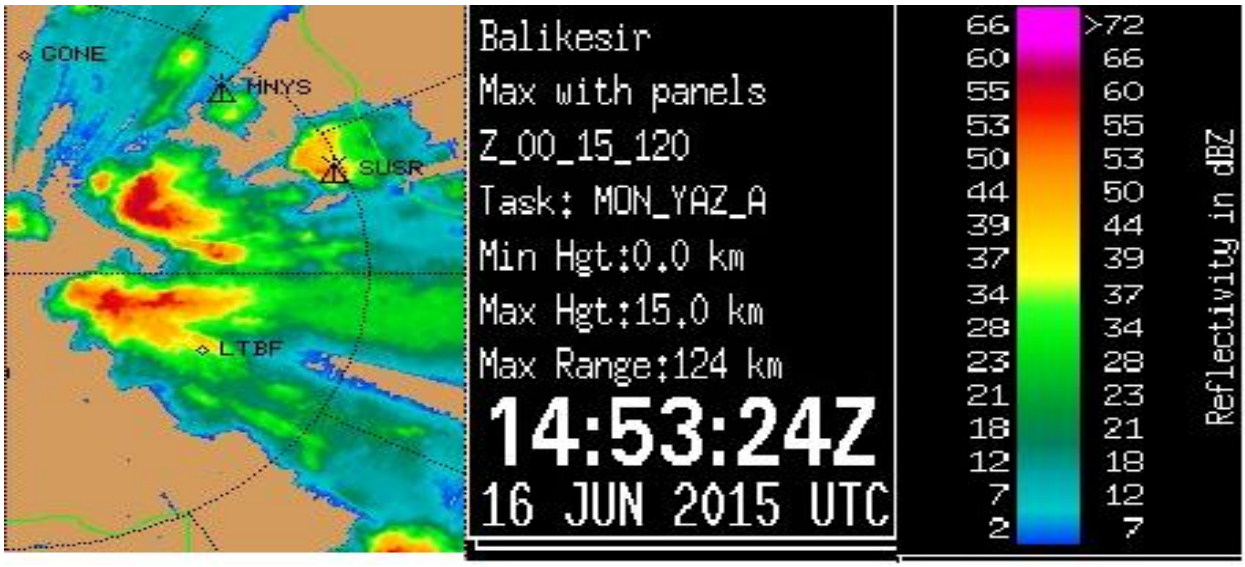


Şekil 5: Balıkesir Meteoroloji Radarı WIND görüntüleri

Balıkesir radarı MAX ürünleri incelendiğinde V tipi kuvvetli yapıların Balıkesir Merkez üzerinde ve hemen kuzeyinde oluştuğu belirlenmiştir. Tespit edilen V tipi kuvvetli yapılardan yansımaların 14:53 GMT'de artış göstererek 55-60 dBZ'e ulaştığı belirlenmiştir (Şekil7). Balıkesir istasyonunun yağış verileri incelendiğinde yağışın 14:24 de başladığı, 14:38 den sonra artışa geçtiği ve 14:53 – 15:21 periyodunda en kuvvetli hali aldığı Şekil6'da görülmektedir. MAX görüntüsü ve yağış devam grafiği incelendiğinde kuvvetli yağışa V tipi konvektif yapıların neden olduğu görülmektedir.



Şekil 6: Balıkesir (18433), Kepsut (18082) otomatik istasyonları Anlık Yağış Verileri

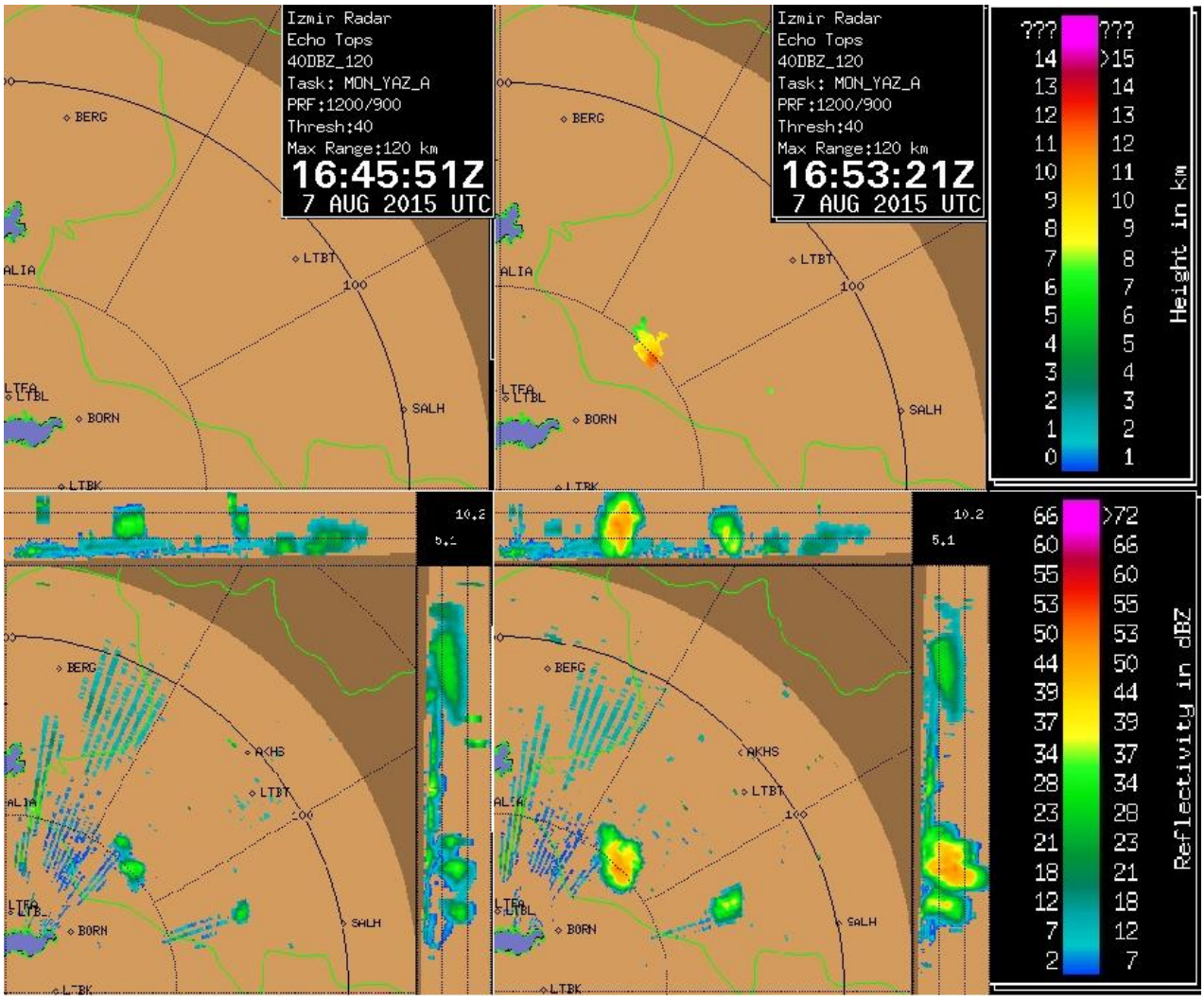


Şekil 7: Balıkesir Meteoroloji Radarı MAX görüntüsü

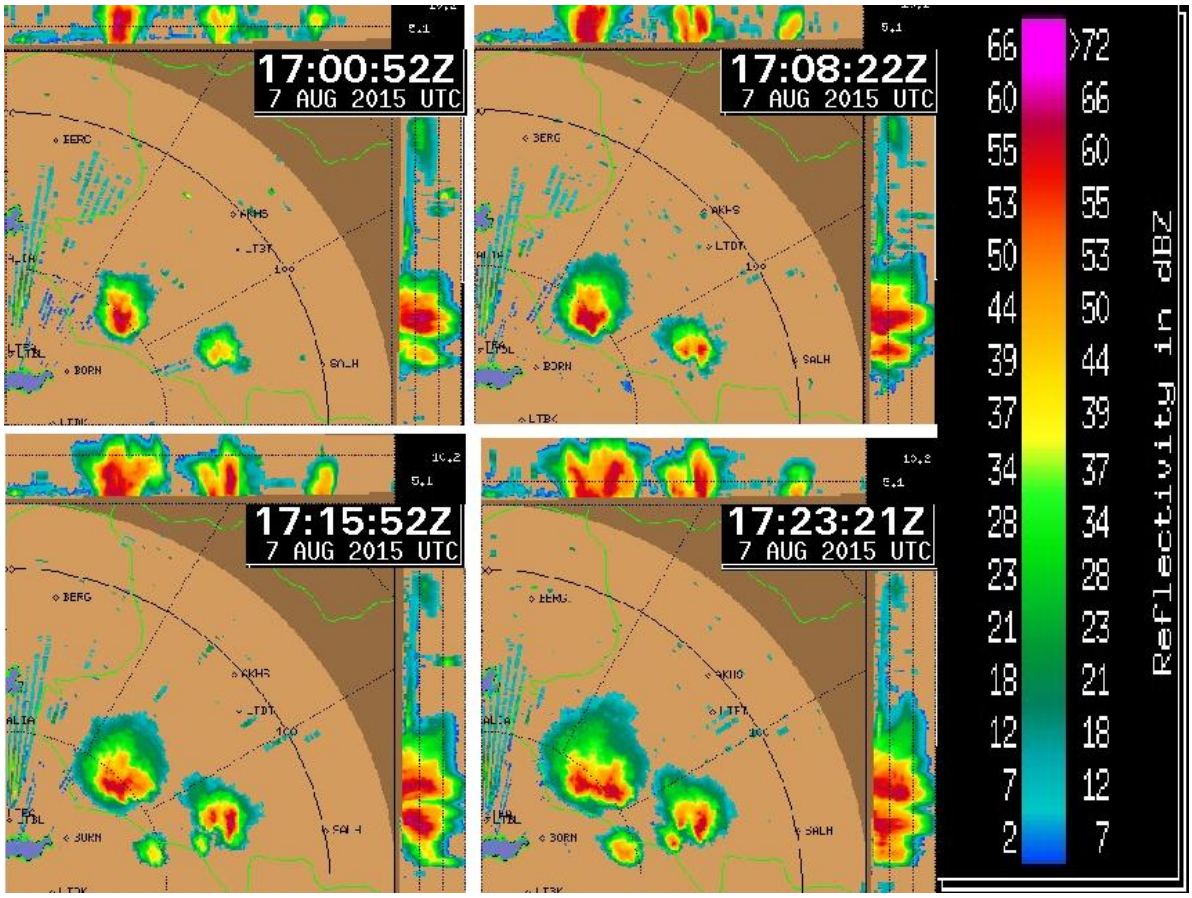
2.5.4 7 Ağustos 2015 Durum İncelemesi

İzmir radarı TOPS 40 dBZ ürünleri incelendiğinde iki tarama arası (7-8 dk) 5-6 km düşey yönde yukarı yönlü hareket tespit edilmiştir. 16:45 GMT görüntüsünde 40 dBZ ve üzeri yansıma görülmezken 16:53 GMT görüntüsünde 12 km ye ulaşan 40 dBZ ve üzerinde yansıma tespit edilmiştir. Bu denli düşey yönde gelişen konvektif sistem 17:10 GMT de kuvvetli yağışa geçerek 30 dakika içerisinde 51 mm m^{-2} lik yağışa ve dolu yağışına sebep olmuştur (Şekil8-10).

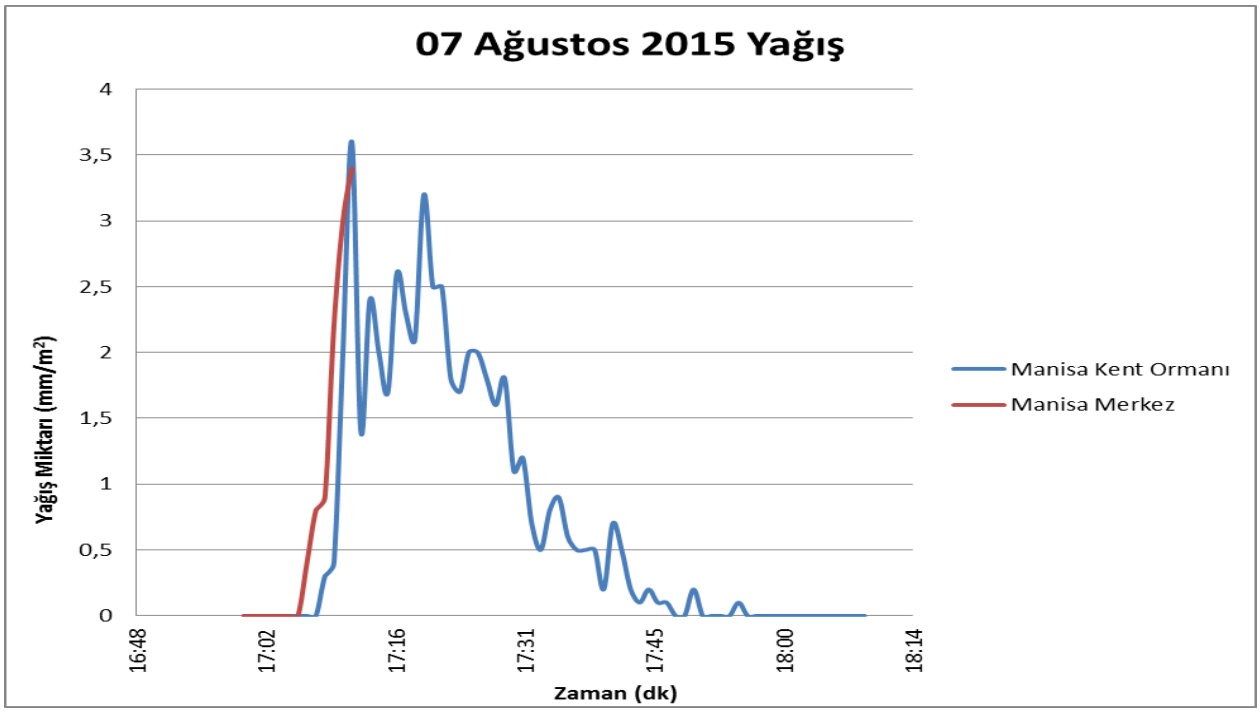
İzmir radarından elde edilen MAX ürünleri incelendiğinde ardışık alınan dört görüntüden (17:00, 17:08, 17:15, 17:23 GMT) konvektif yapının kartal ve V tipi yapılara dönüşerek hareket etmeden aynı alanda etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil9).



Şekil 8: İzmir Meteoroloji Radarı MAX ve TOPS 40dBZ görüntüleri



Şekil 9: İzmir Meteoroloji Radarı MAX görüntüleri



Şekil 10: Manisa Kent Ormanı (18033), Manisa Merkez (17186) otomatik istasyonları Anlık Yağış Verileri

3. SONUÇLAR

1. İncelenen olaylarda yağış devam sürelerinin 90-120 dakika sürmesine rağmen yağış miktarının büyük kısmının ilk 45-60 dakika içerisinde 50-60 mm ye ulaştığı belirlenmiştir.

2. Konvektif yapılarla oluşan hücrelerin ilk oluşum ve gelişim evrelerinde iki tarama (7-8 dk) arasında TOPS görüntülerinde 4-6 km düşey yönde yukarı yönlü hareket tespit edilmiştir.

3. Radar rüzgar verilerinin mümkün kılabildiği ölçüde rüzgar yön ve hızında yatay ve düşey yöndeki değişimler incelenmiştir. İnceleme sonucunda Balıkesir ve Manisa olaylarında konvektif yapıların başlangıç ve gelişme evrelerinde rüzgar yön ve hız şirlerinin konvektif hareketlere pozitif etki yaptığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] **T.Rigo and M.C.Llasat,** *A methodology for the classification of convective structures using meteorological radar; Application to heavy rainfall events on the Mediterranean coast of the Iberian Peninsula*

[2] **Lemon, L.R., 1976b,** *Wake vortex structure and aerodynamic origin in severe thunderstorms. J.Atmos. Sci., 33 , 678-685.*

[3] **Çevre ve Orman Bakanlığı**. *Trabzon İl Çevre Durum Raporu*, (12-45), Trabzon, 2004.

[4] http://www.mgm.gov.tr, *Uzaktan Algılama Çalıştayı*, Son Kontrol: 04.06.2013.

Hiper-Spektral AVIRIS Verisini Kullanarak Sub-piksel Bulut/Açık Hava Kontaminasyonunun Araştırılması

Celil KAPLAN
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Tahminler Dairesi Başkanlığı
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
celilkaplan@mgm.gov.tr

Dr. Jianglong ZHANG
Kuzey Dakota Üniversitesi
Atmosfer Bilimleri Bölümü
Grand Forks, ND, ABD
jzhang@aero.und.edu

Muharrem KUZUCA
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Tahminler Dairesi Başkanlığı
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
mkuzuca@mgm.gov.tr

ÖZET

Sub-piksel bulutlara bağlı bulut ve açık hava kontaminasyonu, uzaktan algılama verilerini kullanan bilimsel uygulamalar için sıkıntılı bir konu olarak kalmıştır. Sub-piksel büyüklükteki bulutlar standart bulut filtreleme işlemleri ile saptanamayabilir ve bundan dolayı uydu temelli meteorolojik ürünleri elde edilirken bazı belirsizliklere yol açabilir.Bu çalışmada; eş-konumlu Hava-kökenli Görünür/Kızılötesi Görüntüleme Spektrometresi (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) ve Sabit Yörüngeli Operasyonel Çevresel Uydu (Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES)) verileri kullanılarak, Kuzey Kaliforniya'nın batı sahilinde bir bölge üzerinde sub-piksel buluıt ve açık hava kontaminasyonu çalışılmıştır. Bu çalışmada kullanılan AVIRIS 'ten elde edilen hiper-spektral veri yaklaşık 11.5 metre uzaysal çözünürlüğe sahiptir ve bundan dolayı GOES verisindeki sub-piksel bulutlanmaya bağlı sapmaları dikkatli bir şekilde incelemek için kullanılabilir. Bu

çalışma; uydu verilerindeki bazı piksellerdeki önemli miktarda olan ve belirlenemeyen sub-piksel bulut ve açık hava kontaminasyonu varlığının, GOES gibi pasif sensörlerin ölçümlerini kullanan bazı meteorolojik uygulamaları geliştirirken dikkate alınması gerektiğini tavsiye eder.

Anahtar Kelimeler —AVIRIS; GOES; Bulut kontaminasyonu.

1. GİRİŞ

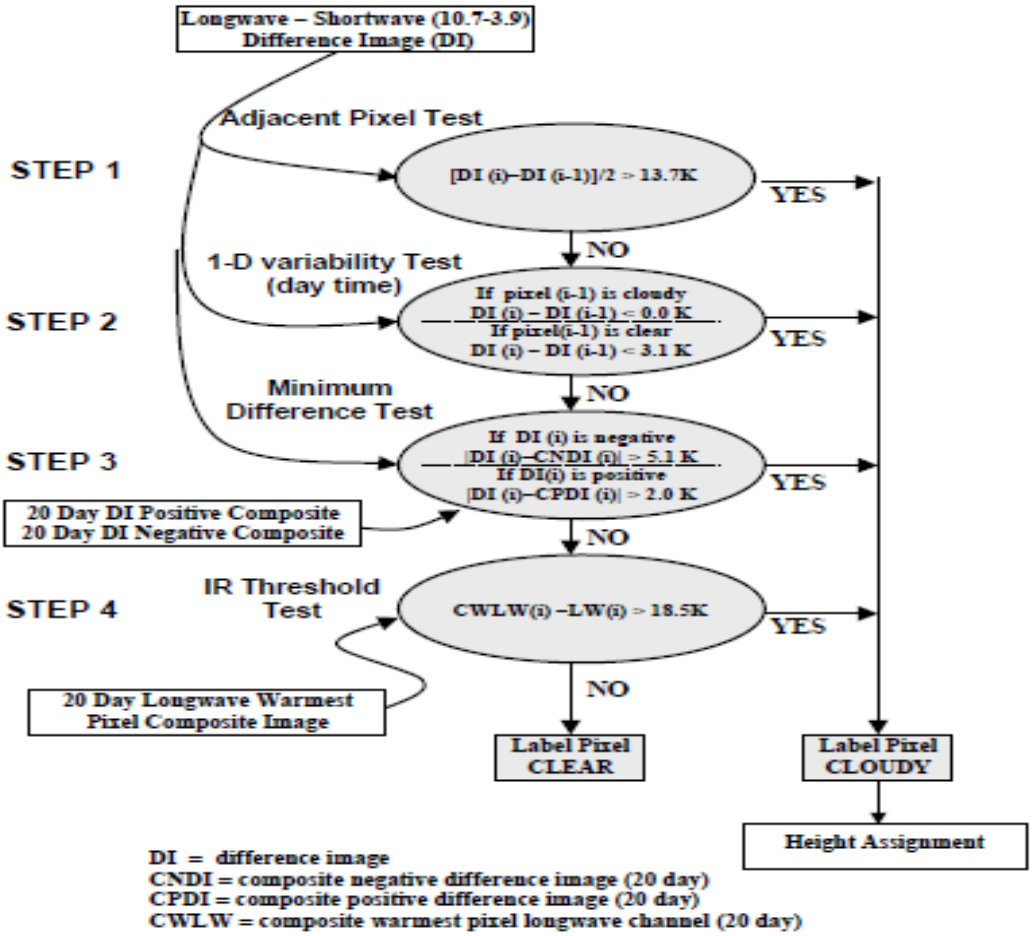
Atmosferdeki dinamik ve termodinamik olaylar sonucu oluşan bulutlar iklim ve hava konulu çalışmalar içerisinde çok önemli bir role sahiptir [1]. Bulutlar solar enerjiyi yansıtıp Dünyadan yansıyan uzun dalga boylu emisyonu ise absorbe ederler ve bundan dolayı Dünya atmosfer sisteminde hem ısıtıcı hem de soğutucu role sahiptirler. Bulutların iklim üzerindeki etkileri yüksek oranda onların optik ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Bu sebepten dolayı, bulutların ölçümündeki hassasiyet meteorolojik olayları gözlemlemede önemlidir.

Bulut özellikleri genellikle *in situ* ölçümleri ya da yerden ve uzaydan yapılan uzaktan algılama teknikleri ile belirlenir. *In situ* ölçümleri doğrudan buluttan bir kitleyi analiz ederek yapılır ve bu işlemi hava araçları hedef bulutun içine girerek ya da etrafında dolaşarak gerçekleştirir. Ama bu işlem diğer uzaktan algılama tekniklerine göre çok maliyetlidir. Yer yüzeyinde kurulu meteoroloji radarları, üç boyutlu bulut optik özelliklerini yüksek zamansal çözünürlükte bize sunarlar [2]. Yalnız bu radarların Dünya yüzeyinde kapsadığı alan kısıtlıdır ve özellikle okyanuslar ve global gözlem için kullanılamazlar. Karşılaştırma yaparsak, özellikle kutupsal yörüngeli uydular yardımıyla her gün Dünyanın tamamına yakını gözlemlenebilir. Bundan ötürü, uydular hem global hem de bölgesel ölçekli çalışmalarda çokça kullanılmaktadır.

Her ne kadar uydu gözlemleri bulut çalışmaları için ideal olsa da, onların da bazı limitleri vardır. Örnek vermek gerekirse; uydu tabanlı bulut çalışmalarındaki en genel sorunlardan biri olan sub-piksel bulut kontaminasyonuna bağlı olarak oluşan yanlış ölçümlere yol açan uzaysal çözünürlüktür. Küçük bulutlar uydu piksel büyüklüğünden küçük olabilirler ya da bu piksellerin sadece belirli bir alanını işgal edebilirler. Bulut çalışmalarında bu pikseller bulutsuz olarak tanımlanabilir. Tam tersi durum da söz konusudur; yani, bulutlu olarak tanımlanan bir piksel bulutsuz alanlar içerebilir. Bu yanlış tanımlama, bulutun olduğu bölgedeki bulut optik özelliklerini incelerken bize bölge ile ilgili yanlış bilgiler verebilir. Bu çalışmada, böyle bir bölgeyi incelemek maksadıyla, Amerika'da operasyonel olarak kullanılan düşük uzaysal çözünürlüklü (4 km) GOES sabit yörüngeli uydu verisi ile her yıl belirli alanlarda ölçümler yapan yüksek uzaysal çözünürlüklü (11.5 m) AVIRIS sensörü verisi karşılaştırılmıştır.

2. METODOLOJİ

AVIRIS sensörü verisi 0.4 ile 2.5 µm aralığındaki bir tayftan gözlemler içerir. Bundan dolayı, bulutlu alanları diğer yüzey özelliklerinden ayırmak için tüm AVIRIS tayfındaki radyans değerleri incelenebilir. Daha önce, AVIRIS verisi kullanılarak yapılmış çok az bulut çalışması vardır ve bu çalışmalarda kullanılan teknikler tam olarak sunulmamıştır. Bu sebepten dolayı bu çalışmada yeni bir bulut maskeleme tekniği üzerinde de çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan bulut maskeleme tekniği genel olarak optik olarak ince ve kalın bulutlar, ince sirüs bulutu, yeşil alanlar, toprak yüzeyler ve okyanus yüzeyi gibi alanları birbirinden ayırmaya odaklanmıştır.



Şekil 1: BTH tekniği akış diyagramı [3].

GOES uydusu verisinde kullanılan bulut maskeleme tekniği NOAA tarafından operasyonel olarak kullanılan çift-tayflı eşik değeri ve yükseklik (Bi-spectral Threshold and Height – BTH) metodudur (Şekil 1). Bu metot GOES uydusu 2. kanalı (3.9 µm) ile 4. kanalı (10.7 µm) arasındaki

sıcaklık farklarını kullanır. Gündüz saatlerinde bulutlu bölgelerde bu fark negatif bir büyük sayıdır [3]. Bu metot için 4 veri seti oluşturulmuştur: kanal 2 ve 4 arasındaki fark veri seti, en küçük negatif ve pozitif farkları (sıfıra yakın değerler) içeren 20 günlük karma veri setleri ve her piksel için bir önceki 20 gündeki en yüksek 4. kanal sıcaklık değeri veri seti [3]. Bu metoda ek olarak, daha yüksek çözünürlükteki (1 km) GOES görünür kanal verisini de incelemek amacıyla ayrı bir GOES bulut yakalama algoritması kullanılmıştır [4]. Bu metoda göre albedo değerleri okyanus üzerinde %7 ve kara üzerinde %25 olan pikseller bulutlu olarak tanımlanmıştır.

3. SONUÇLAR

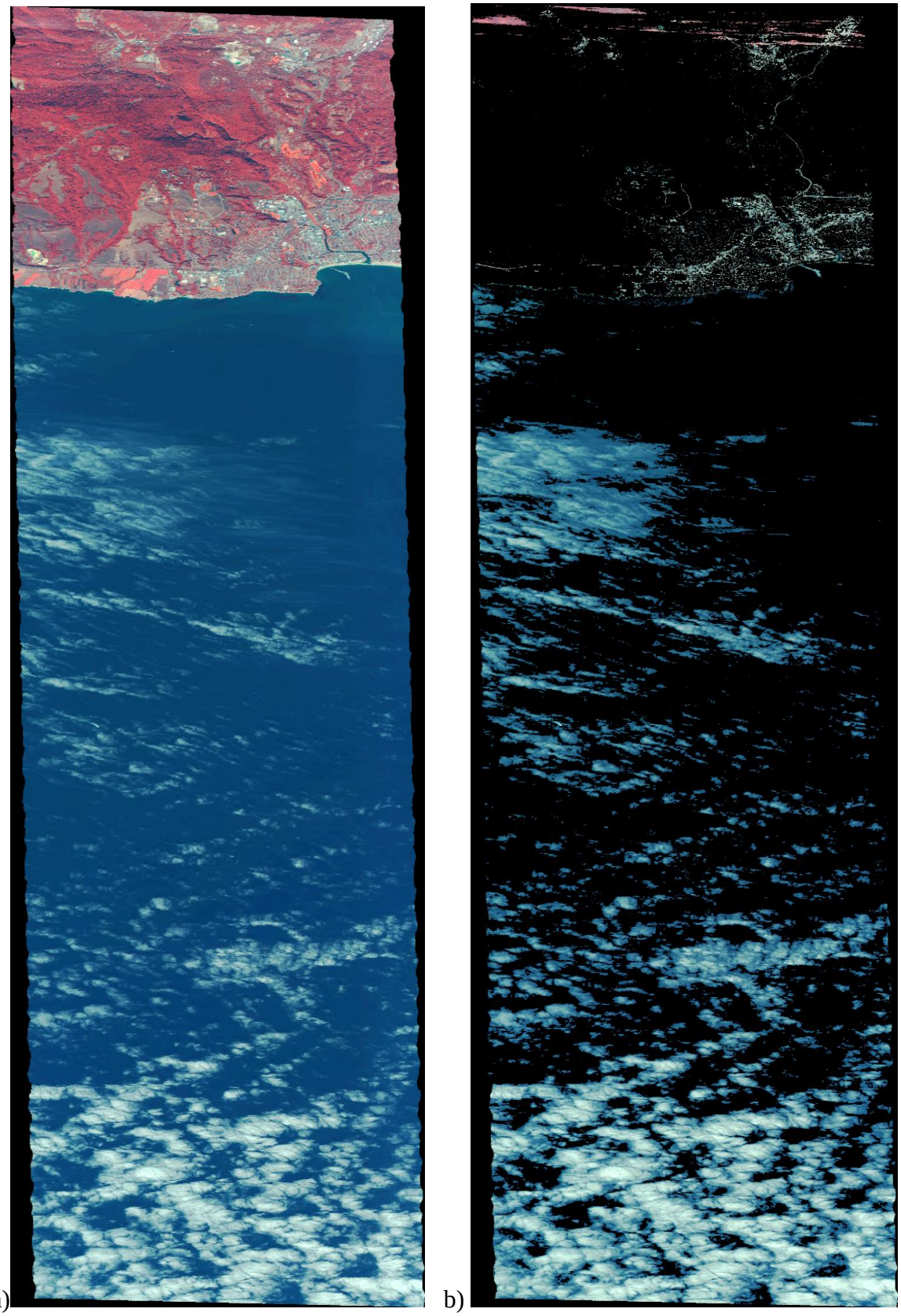
3.1. Kullanılan Veriler

Şekil 2(a)'da AVIRIS gözlem verisinden oluşturulan bir RGB görüntüsü gösterilmiştir. Bu görüntü 0.453, 0.55 ve 0.821 kanalları sırasıyla mavi, yeşil ve kırmızı renkler olmak üzere oluşturulmuştur. Resim Kuzey Kaliforniya'nın batı sahilinde küçük bir alana tekabül eder. Ayrıca resmin alt kısmında Pasifik Okyanusu'ndan bir kesit mevcuttur. Okyanus üzerinde kümülüs bulutları açıkça görülmektedir. Bu verideki piksel boyutu 11.5 m olduğundan dolayı bazı bulutlarından boyutunun 1 km'den küçük olduğu hesaplanabilir. Bundan dolayı GOES görünür kanalda dahi oluşan sub-piksel bulut ya da açık hava kontaminasyonu bu veri sayesinde incelenebilir.

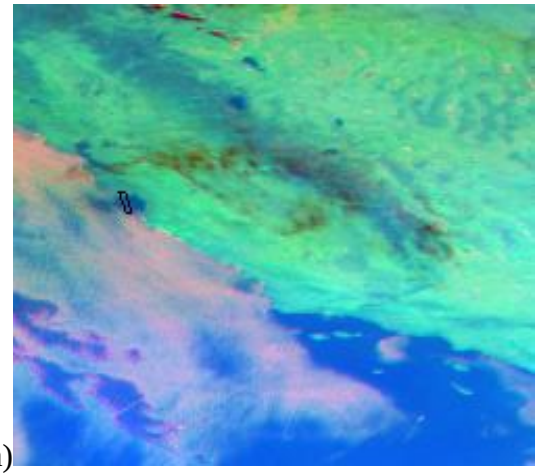
Şekil 3(a)'da GOES-11 verisinin AVIRIS alanı çevresine odaklanmış RGB görüntüsü mevcuttur. Ayrıca bu resim üzerinde AVIRIS alanı siyah çizgilerle gösterilmiştir. GOES verisi farklı kanal görüntüleri incelendiğinde AVIRIS taramasının yapıldığı alanda bulutlar görünür kanalda görünmesine rağmen kızılötesi kanallarda görülmemektedir. Bundan dolayı bu bulutlar alçak stratokumulus bulutları olarak adlandırılabilir.

3.2. Bulut Maskeleme

AVIRIS sensörü 1987 yılından bu yana kullanılmasına rağmen veriler üzerinde kullanılmak üzere sadece bir adet bulut yakalama tekniği geliştirilmiştir [5] ve bu teknik detaylı olarak açıklanmamıştır. Bu çalışmada genel anlamda su buharı absorbe eden 0.94 ve 1.14 μm kanalları ile atmosferik görüntüleme kanalı olan 1.04 μm kanalının oranı kullanılmıştır. Bu çalışmada bile yüzeye yakın bulutlar ile yüzey alanı tam olarak ayrıştırılamamıştır.



Şekil 2 :(a) AVIRIS RGB görüntüsü ve (b) uygulanan maskeleme testlerinin sonucu oluşan görüntü (siyah alanlar testler sonucu maskelenen alan ve pembe alanlar ince sirüs bulutu)

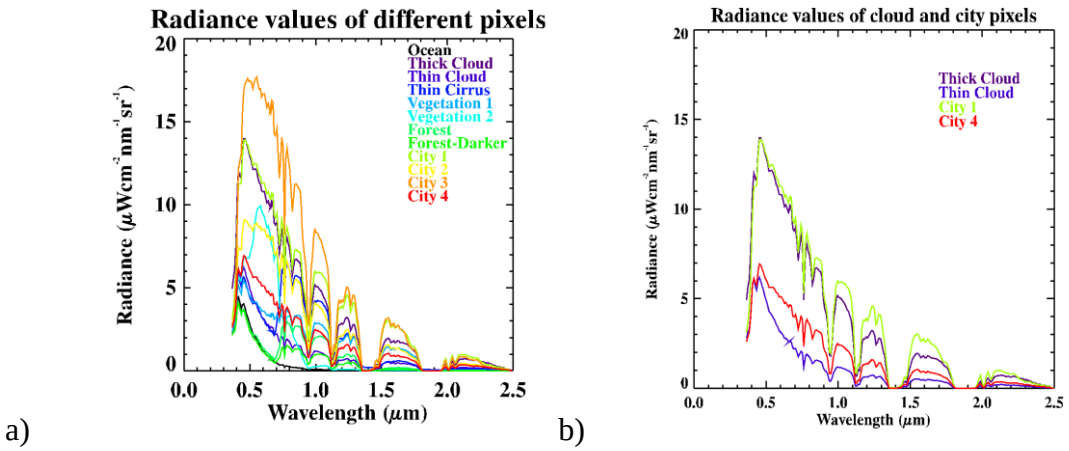
a)  b) 

Şekil 3 :(a) GOES RGB görüntüsü ve (b) BTH algoritması uygulanması sonucu oluşan maskelenmiş görüntü (beyaz alanlar bulutları gösterirken siyah alanlar diğer alanları gösteriyor)

Gao [5] tarafından belirtilen bulut yakalama tekniği açıkça belirtilmediğinden ötürü bu çalışmada farklı bulut yakalama teknikleri bir araya getirilerek bir bulut yakalama tekniği oluşturulmaya çalışılmıştır. Bunun için ilk olarak farklı alanlardan örnek pikseller alınıp piksel değerleri grafik üzerinde şekil 4a ‘daki gibi gösterilmiştir. Bu piksel değerleri üzerinde yapılan detaylı inceleme üzerine bazı oranlar uygulanarak bulut dışı alanlar maskelenmeye çalışılmıştır. Bu adımlar:

1. 2.28 µm kanalı değeri 0.03 µW cm^{-2} nm^{-1} sr^{-1} ‘dan ve 0.8 µm kanalı değeri 0.5 µW cm^{-2} nm^{-1} sr^{-1} ‘dan küçük olan alanlar okyanus pikselleri olarak belirlenmiştir.
2. 0.88 ve 0.67 µm kanalları oranı 0.8 ‘den büyük olan alanlar yeşil alan olarak belirlenmiştir.
3. 0.55 ve 0.48 µm kanalları oranı 0.92 ‘den büyük ve ayrıca 0.65 ve 0.45 µm kanalları oranı 0.8 ‘den büyük alanlar da bazı parlak yeşil alanları belirlemede kullanılmıştır.
4. 1.38 µm kanalı değeri 0.125 µW cm^{-2} nm^{-1} sr^{-1} ‘dan küçük olan alanlar ince sirüs bulutu kaplı pikseller olarak belirlenmiştir.

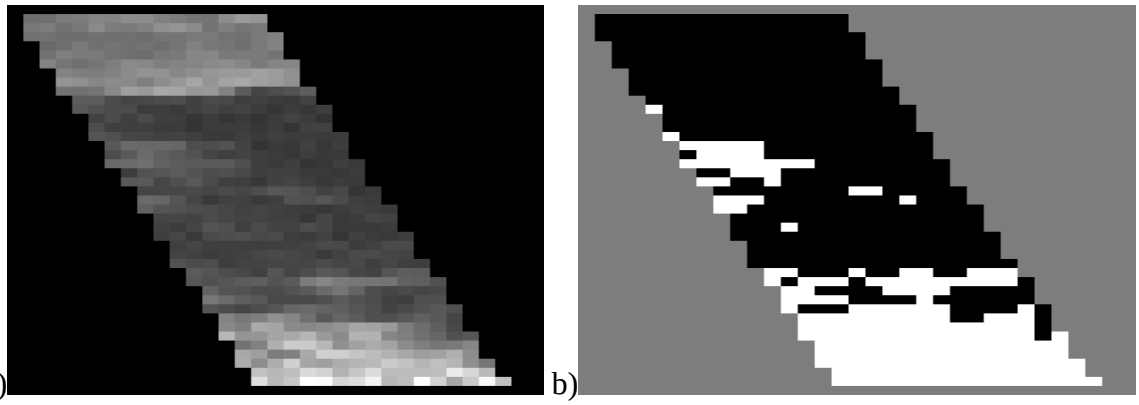
Testler sonucunda şehirsel alanların, yani binaların ve yolların bulut piksellerinden ayrılamadığı görülmüştür (Şekil 2b). Bu benzerlik sekil 4b’de gösterildiği gibi piksel değerlerinde de açıkça görülmektedir. Ek olarak sadece bu benzer piksellere bazı derivasyon testleri uygulanmış fakat olumlu bir sonuç bulunamamıştır. Bu sebepten dolayı sadece okyanus üzerindeki pikseller üzerine yoğunlaşmaya karar verilmiştir.



a) b)

Şekil 4: (a) Farklı alanlardan alınan örnek piksellerin ve (b) bulut ve şehir piksellerinden alınan piksellerin değerleri.

GOES verisi üzerinde bulutlu alanları maskelemek amacıyla, daha önceden belirtildiği üzere BTH algoritması uygulanmıştır. Fakat bu algoritma üzerindeki bazı eşik değerleri tam olarak etkili olmadığından ötürü bu değerler üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Bu algoritma uygulandığında oluşan sonuç Şekil 3b'de gösterilmiştir. BTH metodu görünür kanal verisi kullanmadığından ötürü bu veri üzerinde farklı bir bulut yakalama tekniği [4] uygulanmıştır. Yalnız Jedlovec [4] tarafından önerilen eşik değerinde önerilen değer çok efektif olmadığı için bazı değişiklikler yapılmıştır. Okyanus üzerinde kullanılan %5.5 'luk bir eşik değeri ideal bir değer olarak bulunmuştur. Sonuç şekil 5b'de gösterilmiştir.



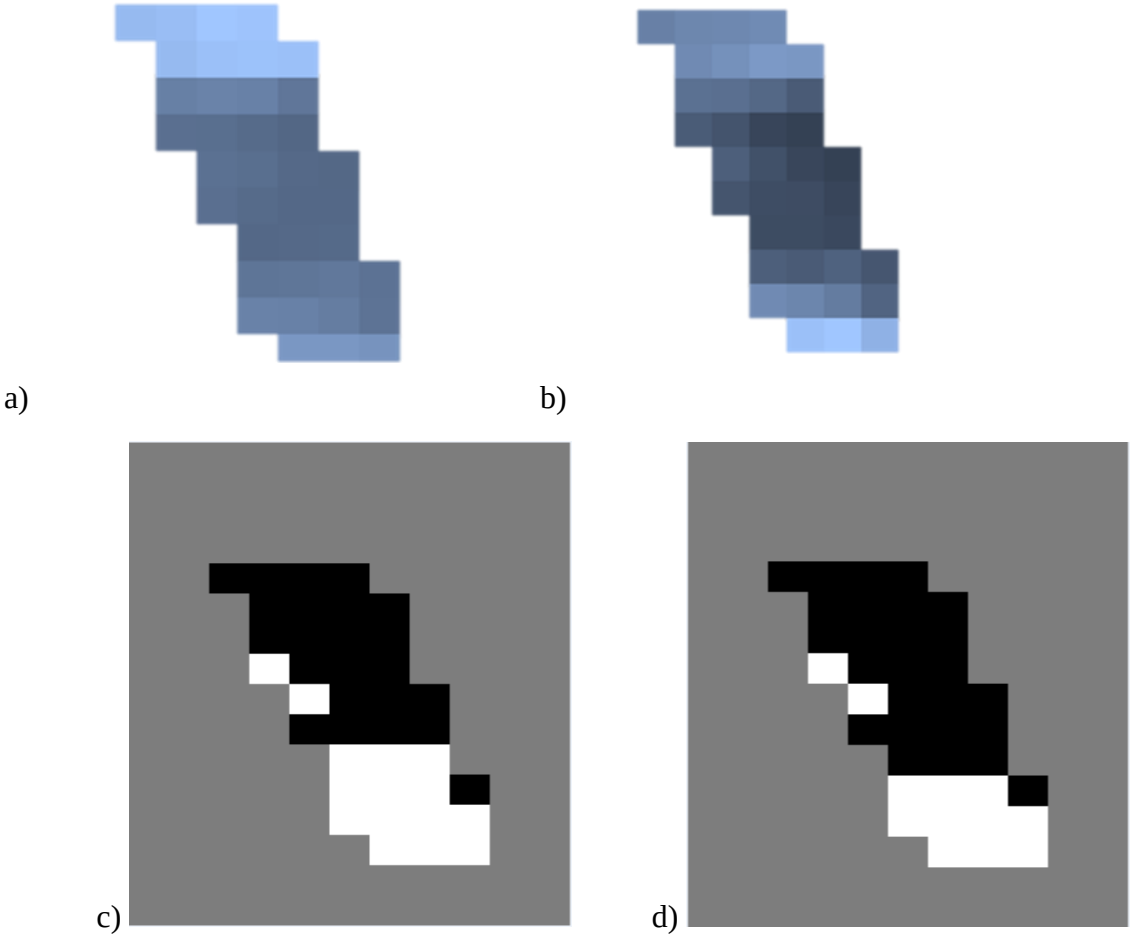
a) b)

Şekil 5: (a) GOES görünür kanal AVIRIS alanı görüntüsü ve (b) bulut maskesi uygulanmış hali.

3.3. GOES ve AVIRIS Bulut Fraksiyonu Karşılaştırılması

AVIRIS alanı GOES kızılötesi kanal görüntüsü üzerinde 38 piksele ve görünür kanal görüntüsü üzerinde ise 629 piksele denk gelmektedir. Yalnız bu piksellerin sırasıyla yalnızca 26 ve 436 tanesi okyanus üzerine tekabül etmektedir. Ayrıca görünür kanal ve BTH algoritmaları arasında

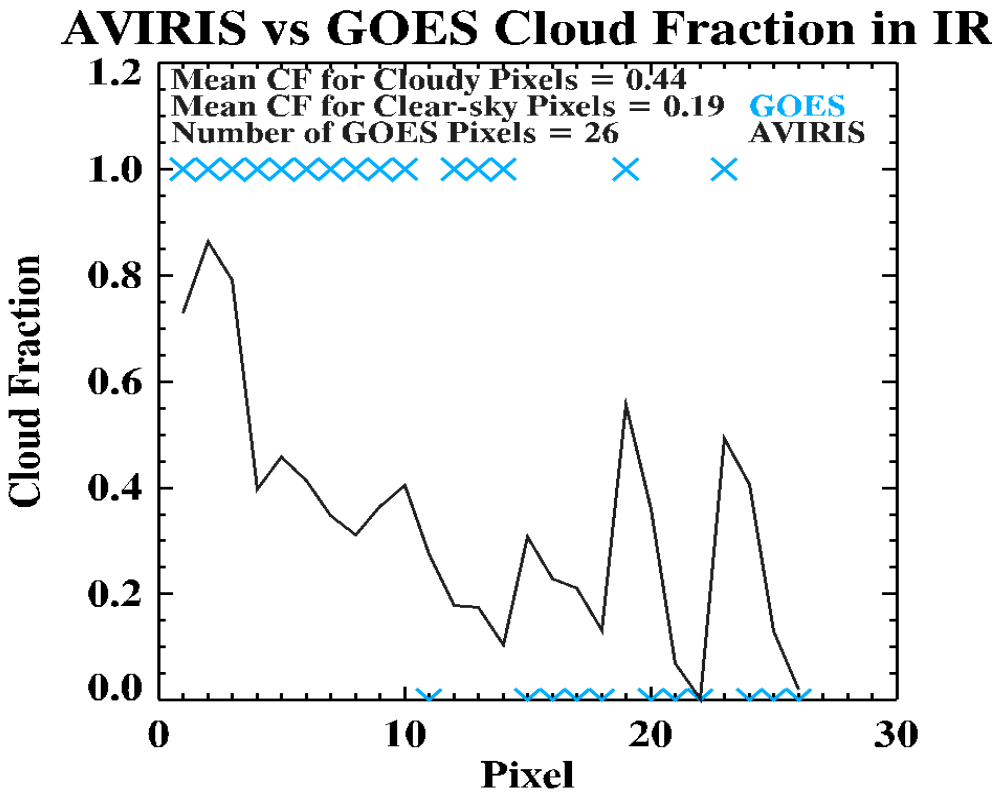
daha iyi bir karşılaştırma yapmak amacıyla görünür kanal pikselleri kızılötesi kanal çözünürlüğüne dönüştürülüp tekrardan bir test yapılmıştır (Şekil 6).



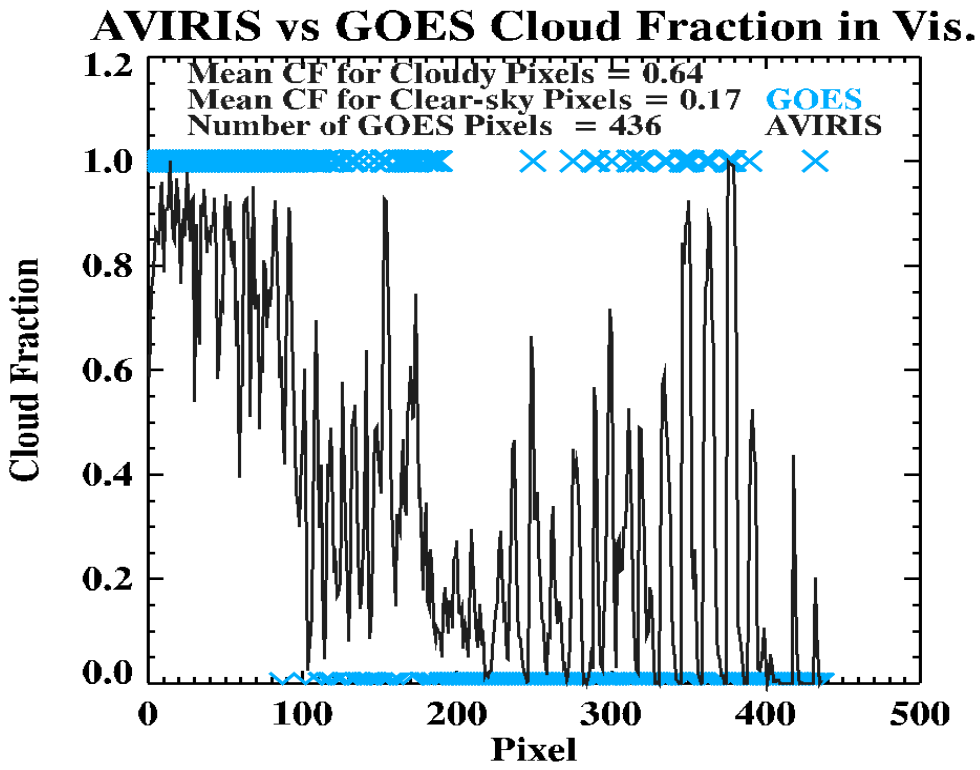
Şekil 6 : (a) AVIRIS alanı GOES kanal 2 görüntüsü , (b) bu alandaki piksel boyutu büyütülmüş görünür kanal görüntüsü, (c) BTH metodu ve (d) albedo metodu uygulanması sonrası oluşan bulut maskelemesi sonuçları (beyaz alanlar bulutlu bölgeleri gösterir).

İlk analiz GOES kızılötesi görüntüsü üzerinde yapılmıştır (Şekil 7). GOES pikselleri %100 bulutlu ya da bulutsuz alan olarak nitelendirilirken AVIRIS pikselleri bu GOES pikselleri için belli bir orandaki bulutluluğu ifade etmektedir. Bu karşılaştırma sonucunda aslında bulutlu olarak belirlenen bölgeler %44 bulutlu ve bulutsuz olarak belirlenen bölgeler ise %19 bulutlu olarak belirlenmiştir. Aynı karşılaştırma görünür kanal görüntüsü için yapıldığında ise bu oranlar %64 bulutlu ve %17 bulutlu olarak bulunmuştur (Şekil 8). Yani çözünürlük arttıkça değerlerde bir iyileşme söz konusudur. Daha detaylı bir çalışma açık alanlar üzerinde yapılmıştır (Şekil 9). Bu çalışmanın sonucuna göre ise 2.04 $\mu W\ cm^{-2}\ nm^{-1}\ sr^{-1}$ olarak bulunan açık hava piksel değeri tüm piksellerin ortalaması alındığında 2.31 $\mu W\ cm^{-2}\ nm^{-1}\ sr^{-1}$ olarak bulunmuştur. Aradaki bu fark ise

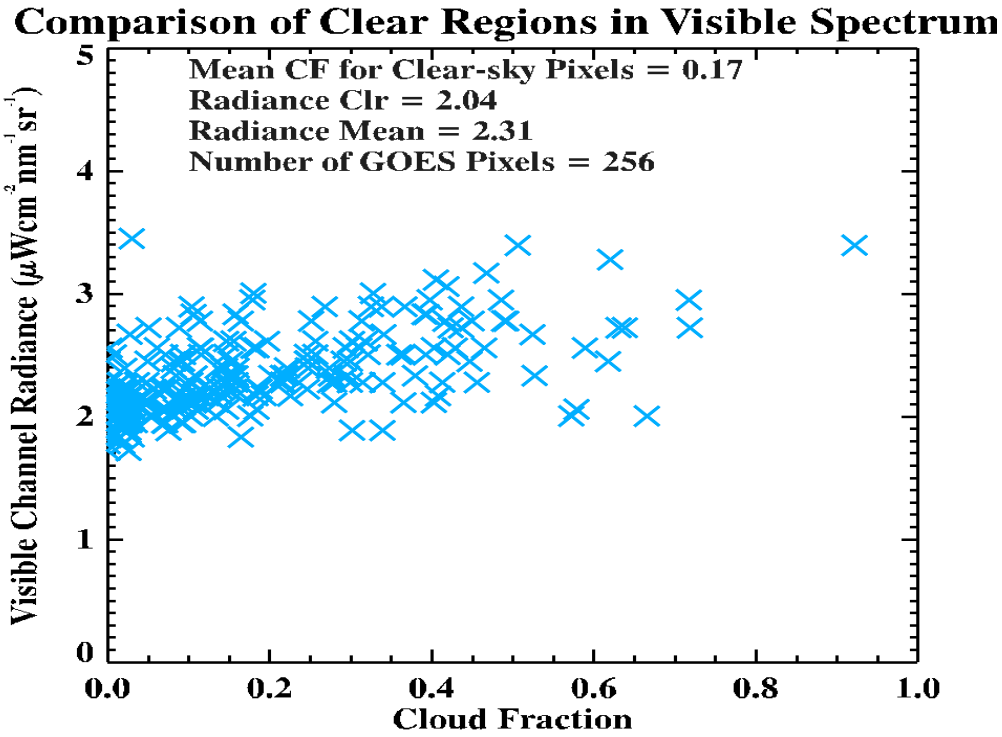
bulut optik özellikleri incelenmesi çalışmaları açısından büyük bir değerdir ve yanlış sonuçlara varılmasına yol açabilmektedir.



Şekil 7: Kızılötesi görüntülerine uygulanan bulut maskesi sonucu oluşan bulutluluk oranı karşılaştırılması.



Şekil 8: Görünür kanal görüntülerine uygulanan bulut maskesi sonucu oluşan bulutluluk oranı karşılaştırılması.



Şekil 9: GOES tarafından açık alan olarak bulunan piksellerim AVIRIS bulutluluk oranının GOES radyans değerleri ile karşılaştırılması.

Tablo 1 GOES kanal verileri üzerindeki sub-piksel bulut ve açık hava kontaminasyonunun radyans ve sıcaklık değerlerine etkisini göstermektedir. Bu değerler küçük görünseler de etkileri hassas bulut fiziği çalışmalarında büyüktür ve yanlış sonuçlar bulunmasına yol açabilmektedir. Burada bulunan değerler ortalama değerler ile bulutluluğu en fazla ve en az olan değerler arasındaki farkı göstermektedir.

Tablo 1:Sub-piksel bulut ve açık hava kontaminasyonunun GOES radyans ve sıcaklık değerlerine etkisi (Radyans değerleri $\mu W\ cm^{-2}\ nm^{-1}\ sr^{-1}$ ve sıcaklık değerleri Kelvin'dir ve parantez içindeki değerler artışı ya da azalışı yüzde olarak gösterir).

Kanal Numarası	1 (Radyans)	2 (Sıcaklık)	3 (Sıcaklık)	4 (Sıcaklık)	5 (Sıcaklık)
GOES bulutlu piksellerindeki değişiklik	-1.27 (22%)	-4.91	-0.86	-0.91	-0.85
GOES açık hava piksellerindeki değişiklik	0.27 (13%)	0.98	0.35	0.75	0.65

4. ÖZET VE BULGULAR

Sub-piksel bulut ve açık hava kontaminasyonu üzerine yapılan bu çalışmada yüksek uzaysal çözünürlüklü AVIRIS sensörü verisi ile meteorolojik bir uydu olan GOES uydusu verisi karşılaştırılmıştır. AVIRIS verisi yardımıyla GOES verisinin özellikle bulut kenarlarındaki performansı sorgulanmıştır. Bu karşılaştırmayı yapmak amacıyla iki veri setine de çeşitli bulut maskeleme algoritmaları uygulanmıştır. Fakat AVIRIS tayfında bazı karasal özellikler bulutlardan ayrılamadığından ötürü çalışma sadece okyanus üzerindeki alana yoğunlaşmıştır. GOES bulut maskesi olarak kızılötesi kanallar için NOAA tarafından da operasyonel olarak kullanılan BTH algoritması ve görünür kanal için Jedlovec [4] tarafından geliştirilen bir algoritma kullanılmıştır.

Sub-piksel bulut ve açık hava kontaminasyonunun etkileri bazı istatistiksel hesaplamalar ile sunulmuştur. Buradan çıkan sonuçlara göre sub-piksel açık hava kontaminasyonunun bulutlu pikseller üzerindeki etkisi, sub-piksel bulut kontaminasyonunun açık hava piksellerine olan etkisinden daha büyüktür. Ayrıca bunlara ek olarak bu etkilerin radyans ve sıcaklık değerleri

üzerindeki etkileri de hesaplanmıştır. Bu kontaminasyonların kızılötesi kanallar üzerindeki etkisi yaklaşık 1K iken 3.9 μm kanalında bu etki sub-piksel açık hava kontaminasyonu için solar enerjideki değişimden ötürü yaklaşık 5K olarak hesaplanmıştır. Bu değerler bize gösteriyor ki; GOES verisi kullanılarak yapılan atmosferik nitelik ölçümü sırasında sub-piksel bulut ve açık hava kontaminasyonu dikkate alınmalıdır. Buradaki kontaminasyonlar bulut ve atmosfer alanında yapılan çalışmalarda belirsizliklere yol açabilirler. Bununla birlikte burada sadece bir AVIRIS granülü kullanılmıştır ve değerler bir genelleme yapmak için kullanılamaz. Daha çok granül ile yapılacak çalışmalar ileride kullanılmak üzere daha tutarlı değerler verebilirler.

KAYNAKLAR

[1] **Hawkinson, J. A., W. Feltz, and S. A. Ackerman (2005),** A comparison of GOES sounder- and cloud lidar- and radar-retrieved cloud-top heights, J. Appl. Meteorol., 44, 1234–1242.

[2] **Miller, M. A., G. Johannes, V. Craig, G. J. Lehenbauer, J. S. Tongue, and E. E. Clothiaux (1998),** Detection of non-precipitating clouds with the WSR-88D: A theoretical and experimental survey of capabilities and limitations. Wea. Forecasting, 13**,** 1046–1062.

[3] **Jedlovec, G. J. and Laws, K. (2003),** GOES cloud detection at the Global Hydrology and Climate Center. Preprints, 12th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, Long Beach, CA, USA, Am. Meteor. Soc., P1.21.

[4] **Jedlovec, G. (2009),** Automated detection of clouds in satellite imagery. Advances in Geoscience and Remote Sensing, 303–316.

[5] **Gao, B. C., and Goetz, A. F. H. (1990),** Determination of a cloud area from AVIRIS data. In Proceedings of the Second Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop, JPL Publ. 90–54, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, pp. 157–161.

SİS OLAYLARININ METEOROLOJİK UYDU ÜRÜNLERİ İLE TESPİTİ VE ANALİZİ

Oğuzhan Kolay
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Milas-Bodrum Havalimanı Meteoroloji Müdürlüğü
Muğla
okolay@mgm.gov.tr

Metehan Büyükkaya
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Trabzon Havalimanı Meteoroloji Müdürlüğü
Trabzon
mbuyukkaya@mgm.gov.tr

ÖZET

Sis, yer yüzeyinde ve yakınında, havada asılı haldeki su damlacıkları veya buz kristalleri tabakası olup görüş mesafesini daraltan meteorolojik bir olaydır. Yerel şartlara göre önemli derecede değişkenlik göstermesi nedeniyle tahmin edilebilirliği diğer hava olaylarına göre daha zordur. Sis oluşumunun hava taşımacılığı üzerinde önemli bir etkisi vardır ve havacılık güvenliğinde önemli rol oynar. Başta havacılık olmak üzere deniz ve kara ulaşımında da, yoğun sisin tahmin edilebilmesi operasyonların gecikmemesi açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada, meydana gelmiş bazı sis olaylarının uydu kanalları ve RGB uygulamları ile tespiti ve analizi üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler — Sis, Alçak Seviye Stratus, RGB, SEVIRI, MSG, EUMETSAT

1 GİRİŞ

Sis ve alçak seviye stratus, günlük yaşama etkileri açısından oldukça önemli bir meteorolojik olaydır. Tahmin edilmesi ve gözlemlenerek gerekli tedbirlerin alınması bu etkileri büyük oranda hafifletebilmektedir. Tahmini oldukça karışık ve zor bir süreçtir. Gözleminde ise bazı zorluklar mevcuttur. Meteoroloji istasyonlarında yapılan sis gözlemleri kısıtlı alanları temsil etmektedir.

Oysa türüne bağlı olmakla birlikte sis oldukça geniş alanları kaplayabilen bir meteorolojik olaydır. Gözlemde yaşanan bu sorunu aşmadaki en önemli yardımcı ise uydu ürünleridir.

2 SİS OLUŞUMU VE ÇEŞİTLERİ

Öncelikli olarak sisin oluşum mekanizmaları ve çeşitleri hakkında kısaca bilgi vermek, gözlemi açısından son derece faydalı olacaktır.

Sis, yere yakın seviyedeki nemli havanın yoğunlaşmaya başlaması sonucu oluşur. Bu yoğunlaşmanın oluş mekanizması ise sisin türünü belirler. Bunlar;

- Radyasyon sisi, negatif radyasyon sonucu sıcaklığın düşmesi,
- Adveksiyon sisi, farklı başlangıç sıcaklıklarına sahip iki hava parselinin temas etmesi,
- Yamaç sisi, hava parselinin topografyaya bağlı olarak yükselerek sıcaklığının düşmesi sonucu oluşur.

Her üç oluşum şeklinde de ortak olarak var olması gereken diğer bir şart ise yer seviyesinde yeterli nem miktarının bulunmasıdır.

Radyasyon sisi genel olarak açık bir gökyüzü, yeterli miktarda nem ve sakin atmosfer şartlarında oluşur. Bu şartlar çoğunlukla kışın, geniş kara yüzeylerinde ve zayıf basınç gradyanına sahip yüksek basınç sahalarında görülür. Radyasyon sisi çoğunlukla güneşin batışından itibaren başlayan kuvvetli radyasyon ve soğuma ile birlikte oluşmaya başlar ve güneşin doğuşundan itibaren, gün içinde yer yüzeyinin ısınmasına bağlı olarak dağılır.

Adveksiyon sisi ise nem ve sıcaklığın rüzgâr tarafından taşınması (adveksiyon) vasıtası ile oluşur. Radyasyon sisinin aksine orta şiddette bir rüzgâr adveksiyon sisinin olmazsa olmazıdır. Soğuk deniz yüzeyleri üzerine ılık havanın akışı en ideal şartları sağlar ve bu durum genelde kışın, yüksek basınç alanları içindeki sıcak sektörlerde oluşur. Adveksiyon sisi için oluşma zamanından bahsetmek çok sağlıklı değildir. Günün her saatinde oluşma şartlarına bağlı olarak meydana gelebilir ve dağılabilir.

3 SİS OLAYININ UYDU KANALLARI İLE TESPİTİ

3.1 Sis gözleminde kullanılabilecek RGB uydu kanalları

- Day Natural Colours (NIR1.6, VIS0.8, VIS0.6),
- Day Microphysical (VIS0.8, IR3.9 Solar, IR10.8),
- Day Solar (VIS0.8, NIR1.6, IR3.9r Solar),

- Enhanced View (HRV, IR10.8),
- Night Microphysical (IR12.0 - IR10.8, IR10.8 - IR3.9, IR10.8).

3.2 Radyasyon Sisinin Tespiti

Radyasyon sisinin uydu görüntüleri kullanılarak tespit edilmesinde en önemli problem, oluşumun gece, yani gün ışığının mevcut olmadığı saatlerde başlamasıdır. Bu sebeple VIS kanallar kullanışsız olmaktadır. Aynı zamanda, sisin yer yüzeyine çok yakın ve ince bir tabaka halinde olduğu ilk oluşum safhalarında sıcaklık olarak da yer sıcaklığına yakın olmasından dolayı, IR kanallarda tespiti oldukça zordur. Dolayısıyla bu aşamada sis oluşması muhtemel alanlar gece kanalları vasıtası ile takip edilmelidir.

Sis tabakasının zamanla kalınlığının artması yatayda daha düzgün bir tepeye sahip olmasını sağlar. Böylece uydu görüntülerinde daha parlak ve belirgin olmaya başlar. Bu durum sisin kalıcılığının artmakta olduğuna dair bir fikir verebilir.

Tespit edilen sis tabakasının sınırlarında başlayan daralma ise erimeye başladığına işaret etmektedir. Bu durum, sis tabakasının çevredeki kara parçaları ile ısı transferi sonucu meydana gelmektedir.

Bir diğer analiz metodu ise uydu görüntülerindeki parlaklığı (reflektivite) takip etmektir. Sıralı görüntülerdeki parlaklık farkları sis tabakasının incelmekte veya kalınlaşmakta olduğunu gösterir. Daha parlak alanlar kalın tabakayı, zayıf parlaklığa sahip alanlar ise ince tabakayı işaret eder. Tabii ki bu inceleme sırasında güneşin açısı da dikkate alınmalı ve buna göre değerlendirme yapılmalıdır.

3.3 Adveksiyon Sisinin Tespiti

Adveksiyon sisi uydu yardımı ile gözlemlenirken radyasyon sisinde yaşanan problemler nispeten etkisizdir. Adveksiyon sisi oluşum için gece şartlarını aramamaktadır. Günün her saati oluşum için uygun şartlar mevcut olabilir. Bu sebeple gözlem için hem gündüz, hem gece kanalları kullanılabilir.

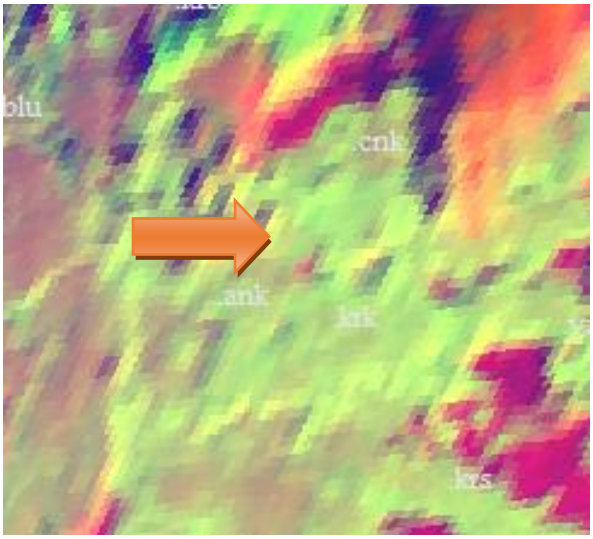
Sisin oluşum aşamasında sinoptik şartları değerlendirmek gözlemi kolaylaştırmak açısından faydalıdır. Soğuk yüzeyler üzerine ılık hava taşınımını tespit etmek gözlemlemenin birinci basamağı olmalıdır. Çok hafif veya çok kuvvetli olmayan yer seviyesi rüzgarı sis veya alçak seviye stratus oluşumunu destekleyen bir etmendir. Türkiye için önemli oluşum sahaları Karadeniz ve Marmara Denizidir. Dolayısıyla gözlem önceliği bu bölgeler olmalıdır. Oluşum genellikle daha soğuk bir yüzeye sahip olan açık deniz üzerinde başlar. Açıkta oluşan sis veya alçak stratus tabakası yer rüzgarının yönlendirmesi ile kıyı kesimlere yaklaşır. Gündüz saatlerinde

kara yüzeylerinin daha sıcak olması sebebi ile kara yüzeyleri üzerine çıkan tabaka erimeye meyleder. Gece saatlerinde ise bu erime genelde görülmez. Yüksek rüzgar hızı, ılık adveksiyonun kesilmesi ise sis tabakasının dağılması için gerekli şartlardır.

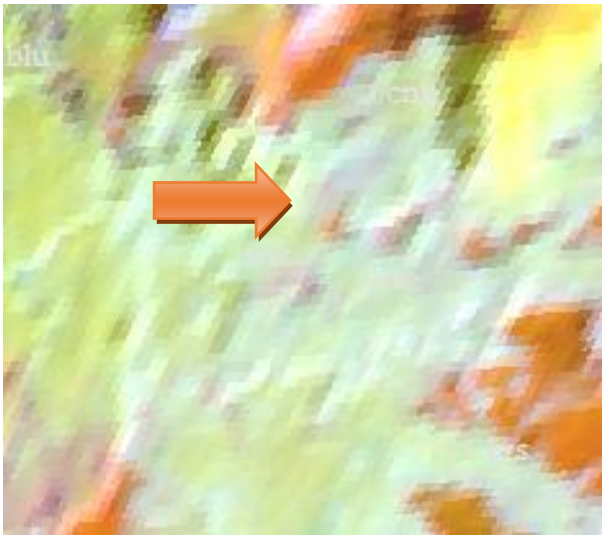
Uydu ile gözlem sırasında yine radyasyon sisinde olduğu gibi parlaklık önemli bir nirengi noktasıdır. Parlaklık ve opaklık tespit edilen tabakanın yer seviyesinde bir sis mi yoksa yer seviyesi üzerinde bir stratus tabakası mı olduğuna çoğunlukla işaret eder. Yer tabakasına daha yakın olan sis tabakası sıcaklığının daha yüksek olması sebebiyle düşük reflektivite verirken, daha yüksek seviyede olan stratus tabakası sıcaklığının daha düşük olması sebebiyle yüksek reflektivite verir. Gece kanalları kullanılırken bu şekilde doğruya yakın sonuçlar elde edilebilir. Day microphysics kanalında ise yere yakın örtü beyaz-turkuaz bir renge sahipken, nispeten yüksek olan stratus tabakası pembe-kahverengi tonlarda görülmektedir.

4 OLAY İNCELEMELERİ

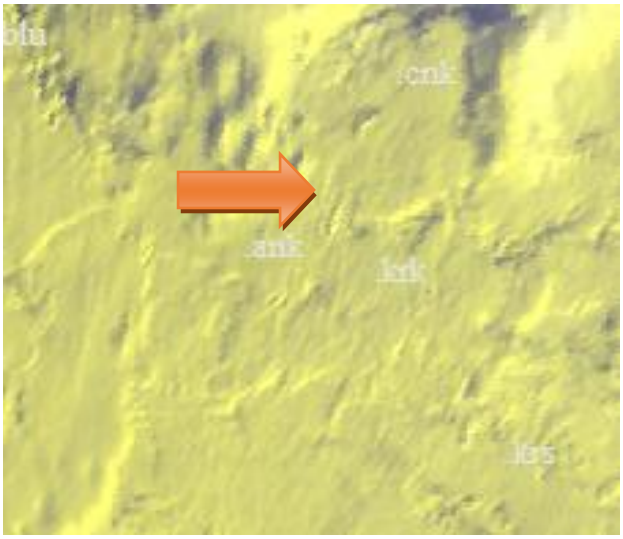
4.1. 11 Ocak 2015 Ankara Esenboğa



Şekil 1: *Day Microphysics 0630Z.*



Şekil 2: *Day Solar (Snow-Fog) 0630Z.*

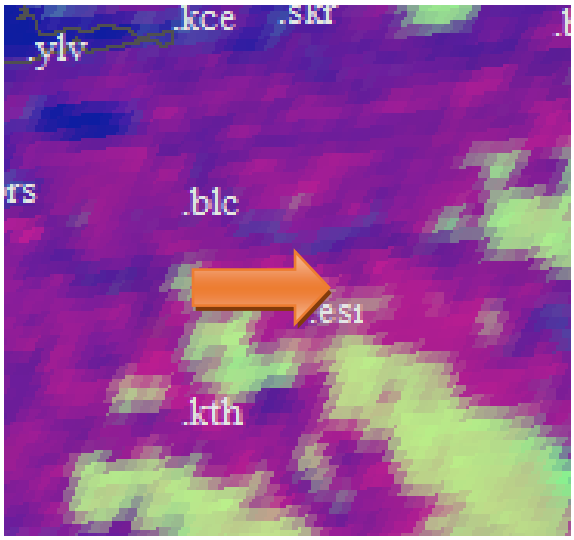


Şekil 3: *E-view 0630Z.*

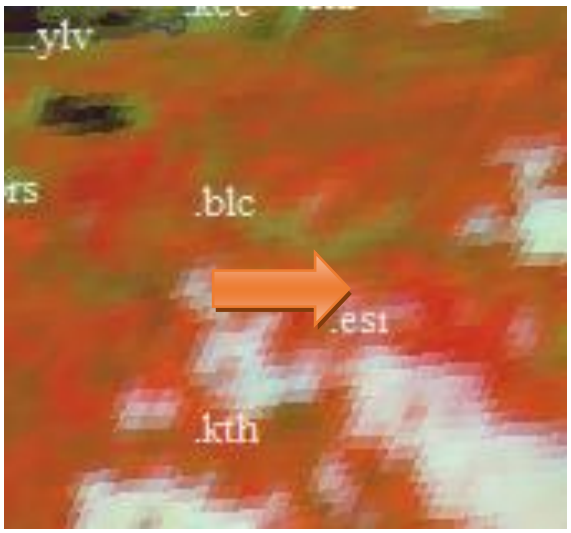
11 Ocak 2015 günü Esenboğa istasyonunda 06Z civarı başlayan FZFG (Donan Sis) olayı tüm gün 200ft (60m) civarında taban yapan St bulutu ile devam etmiştir. Görüş değerlerine bakarak en yoğun olduğu saatlerin 06-07Z aralığı olduğu gözlenmiştir. Bu saatlerde görüş mesafesi 400-500m civarındadır.

Görüntülere bakıldığında geniş alanda homojen bir yayılıma sahip olması Stratus tabakasının varlığına işaret etmektedir. Aynı zamanda reflektivitenin nispeten yüksek olması da Stratus için bir gösterge olmaktadır.

4.2. 14 Ocak 2015 Eskişehir



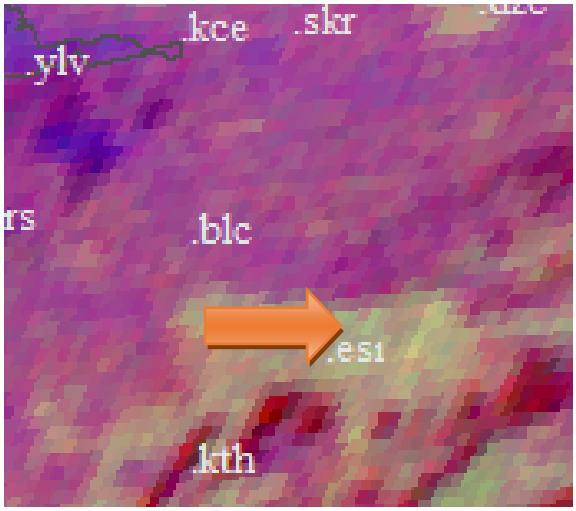
Şekil 4: *Day Microphysics 1100Z.*



Şekil 5: *Day Solar (Snow-Fog) 1100Z.*



Şekil 6: *E-view 1100Z.*

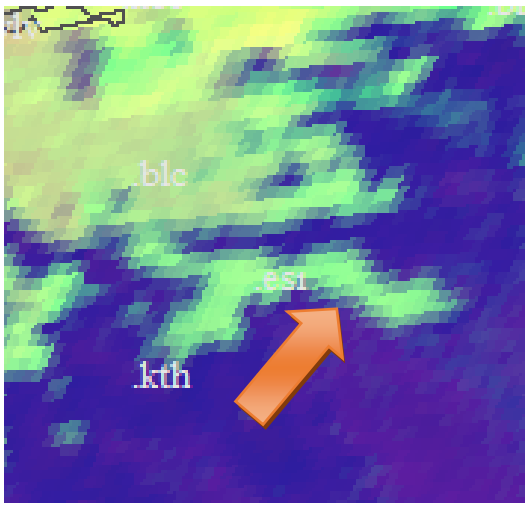


Şekil 7: Night Microphysics *2045Z.*

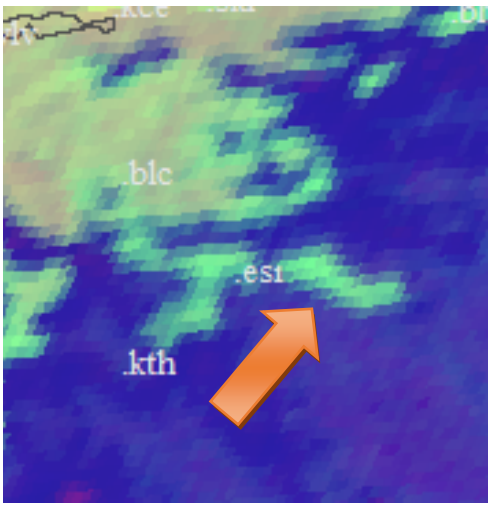
14 Ocak 2015 günü Eskişehir Meydan istasyonunda tüm gün boyunca aralıklar halinde Donan sis, Parçalı sis ve alçak seviye Stratus görülmüştür. Öğle saatlerinde 2-3/8 kapalılığa sahip Stratus bulutları mevcutken, akşam 1900Z-2200Z arasında donan ve parçalı sis ve bununla birlikte zaman zaman 8/8 kapalılıkta Stratus rasat edilmiştir.

Şekil 4, 5 ve 6 incelendiğinde, gündüz oldukça küçük parçalar halinde stratus bulutları dikkat çekmektedir. Şekil 7 incelendiğinde ise akşam saatleri ile birlikte bu yapının genişleyerek kalınlaşmakta olduğu ve reflektivitesinin arttığı görülmektedir. Ayrıca bu şekle dikkat edildiğinde kütlenin bazı noktalarında daha yüksek reflektivite görülmesi, kimi kısımların alçak stratus formunda, kimi kısımların ise yer yüzeyinde sis formunda olduğunu göstermektedir.

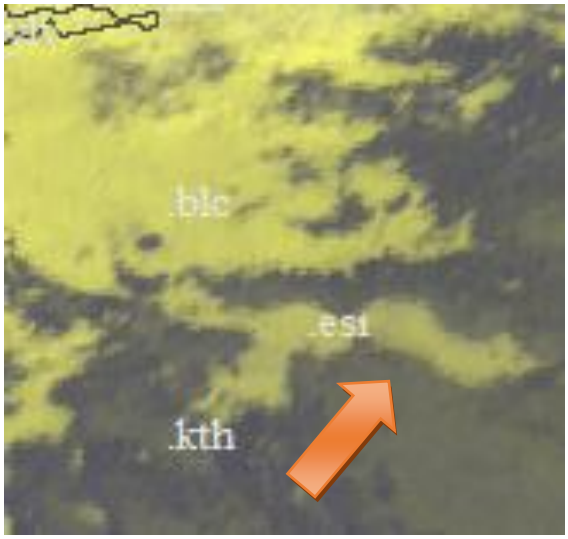
4.3. 9 Mart 2015 Eskişehir



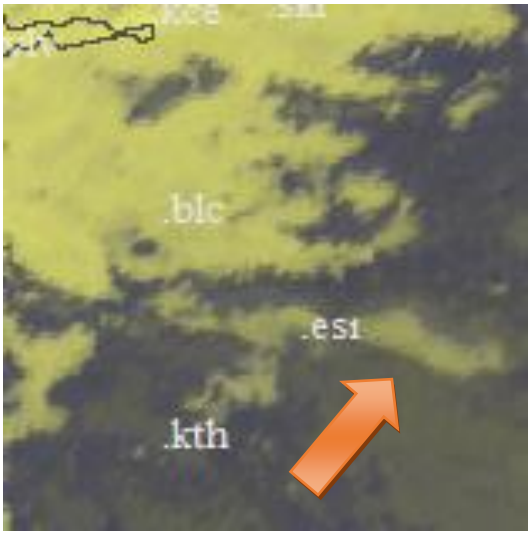
Şekil 8: *Day Microphysics 0545Z.*



Şekil 9: *Day Microphysics 0645Z.*



Şekil 10: *E-view 0545Z.*

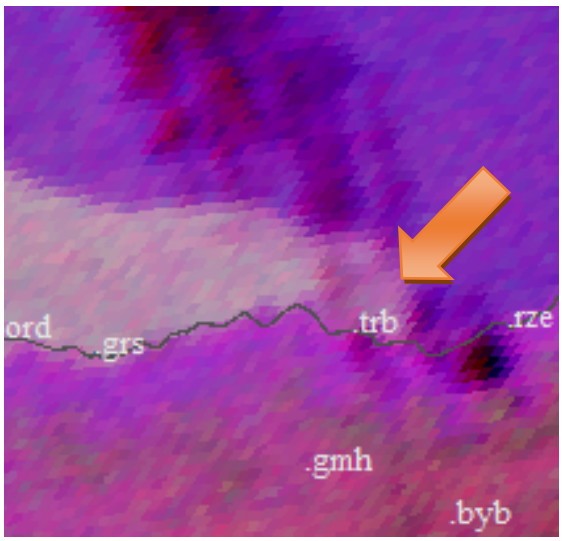


Şekil 11: *E-view 0645Z.*

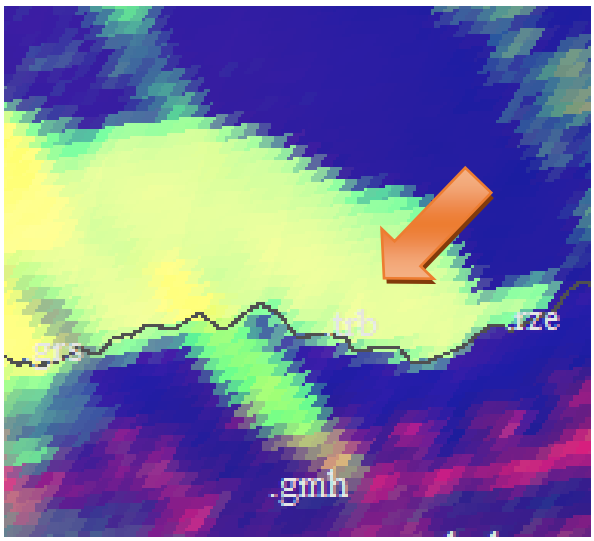
9 Mart 2015 günü Eskişehir Meydan istasyonunda gün doğumunun hemen ardından Sis gözlemlenmiştir. 0530Z civarında başlayan sis 0700Z'e kadar zayıflayarak devam etmiştir. Görüş mesafesi 0550Z gözleminde 100m'dir.

Şekil 8 ve 9 incelendiğinde, 0545Z'te sis tabakasının kapladığı alan ve parlaklık olarak, 0645Z'teki görüntüden daha belirgin olduğu görülmektedir. Aynı paralelde, Şekil 10 ve 11'de görülür kanalda da oldukça belirgin genişlik ve parlaklık farkı mevcuttur.

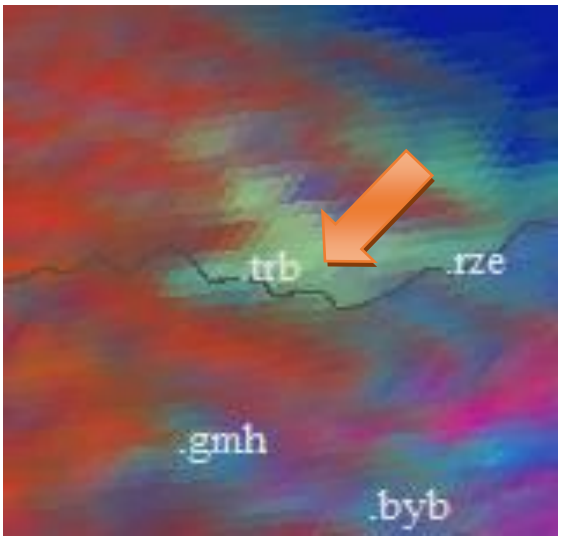
4.4. 11 Mart 2015 Trabzon



Şekil 12: *Night Microphysics 0230Z.*



Şekil 13: *Day Microphysics 0445Z.*

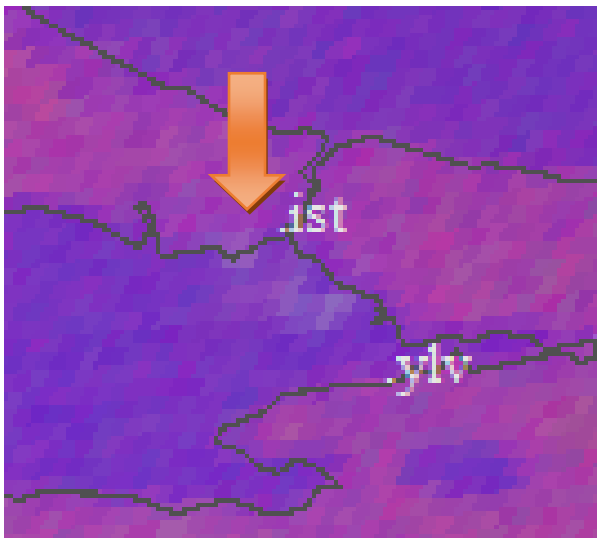


Şekil 14: *Day Microphysics 0830Z.*

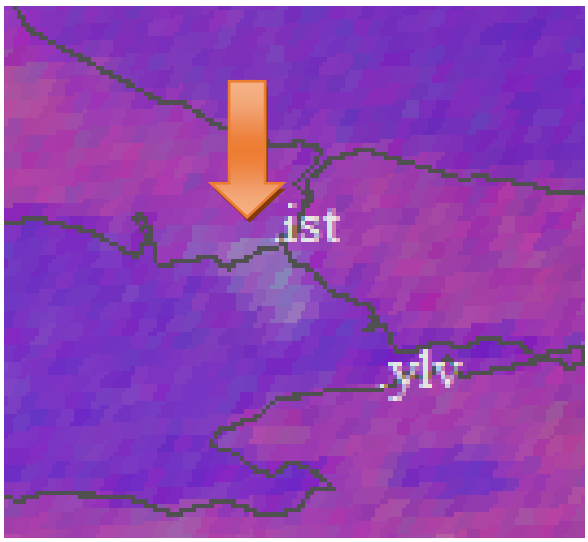
11 Mart 2015 günü Trabzon Meydan istasyonunda 0130Z-0900Z saatleri arasında sis gözlemlenmiştir. Görüş mesafesi 0137Z gözleminde 200m iken 0700Z'ten itibaren artarak 0820Z'te 900m'ye 0836'da 2900m'ye ulaşmıştır.

Şekil 12'deki gece görüntüsü incelendiğinde opak bir sis tabakası görülmektedir. Bu tonlar tabakanın alçak seviye stratus değil, yer seviyesinde sis tabakası olduğuna işaret etmektedir. 0445Z'te güneşin ilk ışıkları ile elde edilen day microphysics ürününde sis tabakasının genişlediği görülmektedir. Şekil 14'te ise görüş 2900m civarındadır ve parçalı sise dönüşmüştür. Bu sebeple oldukça dağınık ve zayıf bir görünüme sahiptir.

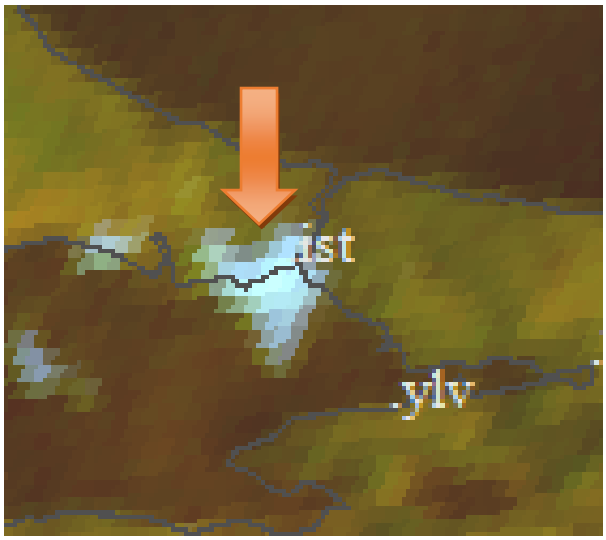
4.5. 16 Nisan 2015 İstanbul Atatürk



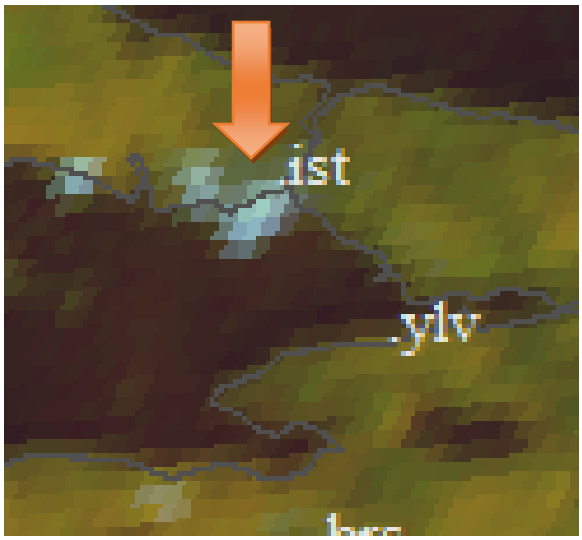
Şekil 15: *Night Microphysics 0130Z.*



Şekil 16: *Night Microphysics 0315Z.*



Şekil 17: *Day Solar 0430Z.*

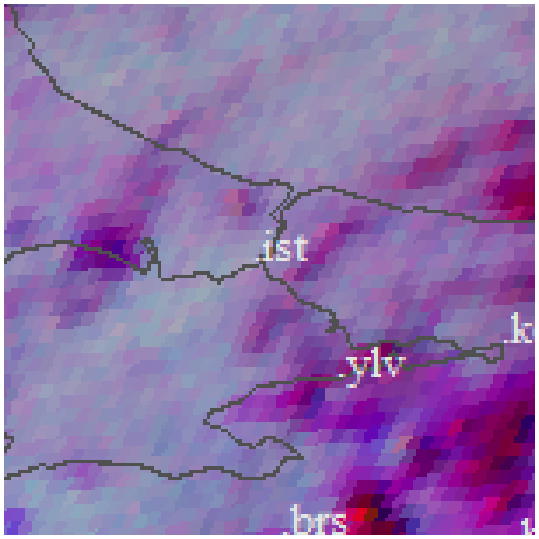


Şekil 18: *Day Solar 0515Z.*

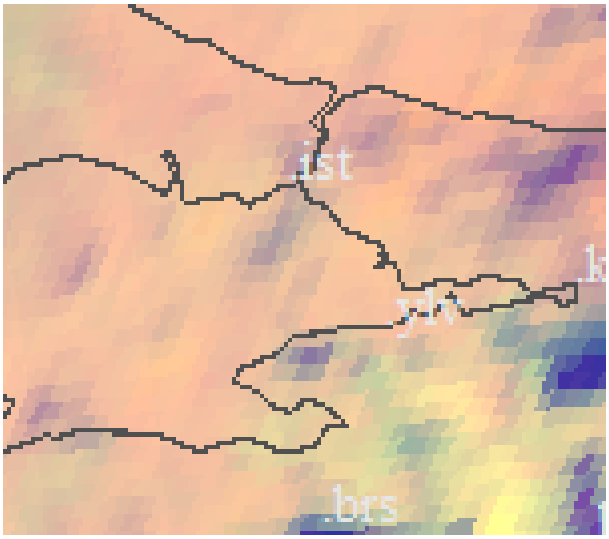
16 Nisan 2015 günü İstanbul Atatürk istasyonunda 0120Z-0520Z saatleri arasında sis ve alçak seviye stratus gözlemlenmiştir. Görüş mesafesi 0317Z gözleminde 200m iken 0400Z-0430Z arasında 150m'ye kadar düşmüş, 0500Zten itibaren artarak 0520Z'te 4000m'ye ulaşmıştır.

Şekil 15'deki gece görüntüsünde Atatürk Meydan civarında belirsiz bir sis tabakası görülmektedir. Şekil 16 ile birlikte tabakanın reflektivitesi artmakta ve sis yoğunlaşmaktadır. Şekil 17'de günün ilk ışıkları ile birlikte sis en parlak görüntüsünü vermektedir. Şekil 18'de ise sis tabakası parlaklığını yitirmekte ve kapladığı alan daralmaktadır.

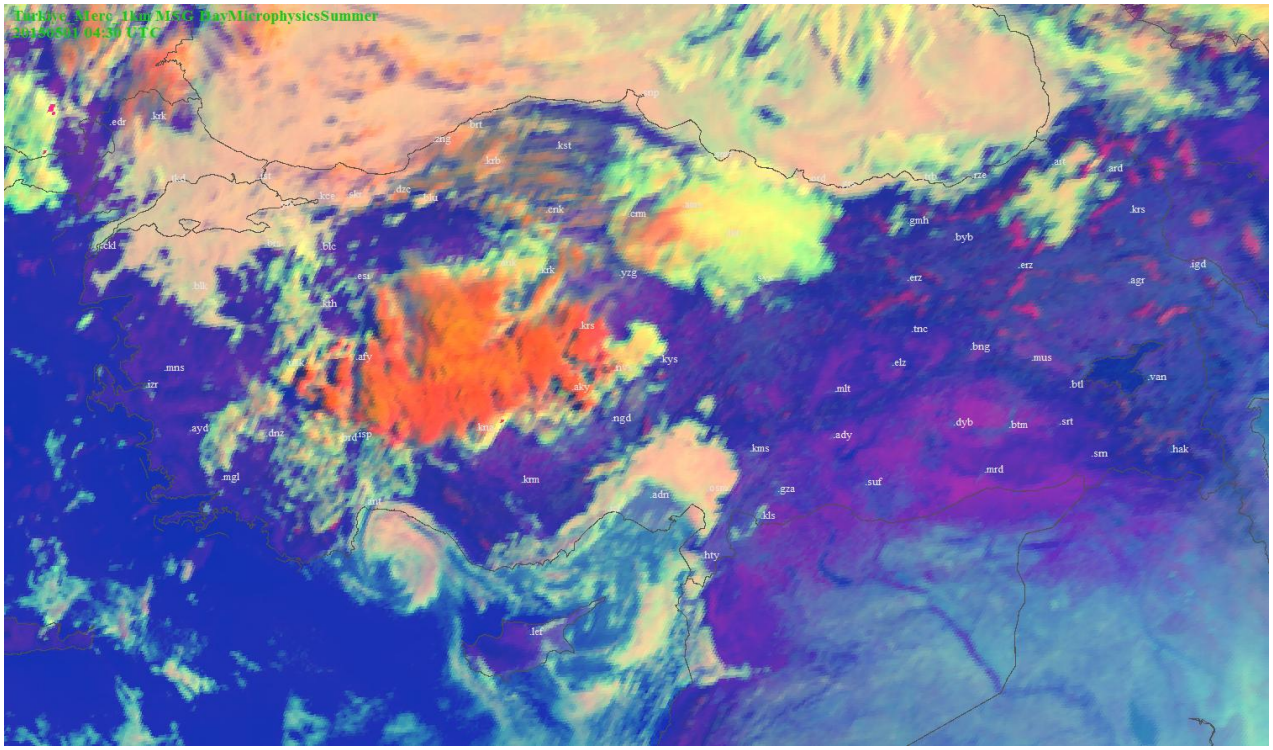
4.6. 1 Mayıs 2015 İstanbul



Şekil 19: *Night Microphysics 0130Z.*



Şekil 20: *Day Microphysics 0430Z.*



Şekil 21: *Day Microphysics 0430Z.*

1 Mayıs 2015 günü İstanbul Atatürk istasyonunda tüm gün boyunca alçak seviye stratus gözlemlenmiştir. Bulutun taban seviyesi 500-900 ft (150-270 m) arasında değişiklik göstermiştir. Şekil 19'da geniş alanda yakın parlaklığa sahip, oldukça homojen bir tabaka dikkat çekmektedir. Şekil 20 ve 21'de ise sis tabakası ve alçak seviye stratus arasındaki renk farklılığı ayırt edici olmaktadır. Pembeye yaklaşan tonlar stratusu işaret ederken, yeşile yaklaşan tonlar sis tabakasının beliticisi olmaktadır. Bu örnek yer seviyesindeki sis tabakası ve alçak seviye stratus tabakasını birbirinden ayırmak için iyi bir referanstır.

5 SONUÇLAR

Sis ve alçak seviye stratus tabakalarının tespiti ve analizinde RGB ürünleri son derece yüksek bir öneme sahiptir. Bu olayların yoğunluğu, hareket yönleri, kapsadıkları alanlar RGB ürünleri ile kolayca tespit edilebilmektedir. Düzenli olay analizlerinin yapılması, tecrübe ve bilgi seviyesinin artmasına sebep olacaktır. Yeni nesil ürünler ile birlikte çözünürlüğün daha da artması, daha keskin sonuçlar elde edebilmeyi sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

[1] *Fog and Stratus-Meteorological Physical Background,* Regional and Mesoscale Meteorology Branch, Colorado State University, Finnish Meteorological Institute.

[2] **Croft, P.J.,** *Fog,* University of Louisiana at Monroe, Monroe LA, 2003.

[3] **de Valk, J., van der Meulen, J.,** *Fog detection based on synergy of satellite and ground based observations*, KNMI, De Bilt, The Netherlands, 2007.

[4] **Cermak, J., Bendix, J.,** *Fog/Low Stratus Discrimination Using MSG SEVIRI Data*, Laboratory for Climatology and Remote Sensing University of Marburg, Marburg, Germany, 2007.

Toz-Yağış İlişkisinin Uydu Verileri ile İncelenmesi

Ayşe Gökçen Işık, Kahraman Oğuz, Esin Oğuz, Cihan Dündar

Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Araştırma Dairesi Başkanlığı
Ankara
agisik@mgm.gov.tr, koguz@mgm.gov.tr, esoguz@mgm.gov.tr, cdundar@mgm.gov.tr,

Gülen Güllü
Hacettepe Üniversitesi
Çevre Mühendisliği Bölümü
Ankara
ggullu@hacettepe.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada yoğunluklu olarak Kuzey Afrika (Sahara) Bölgesinden Akdeniz Bölgesine gelen tozun yağış ile olan ilişkisi uydu verileri kullanılarak incelenmiştir. Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin yıllık ve mevsimlik Aerosol Optik Derinlik (AOD) değerleri ve yağış rejimleri değerlendirilerek başlanan araştırmada; 2003-2012 yılları arasındaki AOD ve yağış verileri istatiksel olarak incelenmiştir. Bu bölgeler için, yıllık ve ilkbahar mevsimi için yapılan AOD-yağış incelemesi sonucunda, gerçekleşen yağışlarla toz taşınımı olayları arasında bir ilişkinin olup olmadığı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler — toz-yağış ilişkisi; aerosol optik derinliği; toz taşınımı.

1. GİRİŞ

Toz; atmosfer ve okyanus olaylarını, havayı ve iklimi etkilemektedir. Tozun, enerji bütçesine, toz-radyasyon etkisi ve toz-mikrofizik etkisi olmak üzere iki ana etkisi bulunmaktadır. Toz-radyasyon etkileşimi, direk olarak radyasyon bütçesini kısa ve uzun dalga boylu radyasyonu dağıtarak ve absorbe ederek etkilemektedir [2]. Toz-radyasyon etkisi; tozun optik özelliklerine, tozun dikey dağılımına, tozun altındaki yüzeyin albedosuna (yansıtabirliğine) bağlıdır. Atmosferik toz içeriğinde en ufak bir değişim, enerji dağılımında ve buna bağlı kaçınılmaz olarak yüzey sıcaklığında değişikliğe sebep olur [11]. Toz taşınımı nedeniyle oluşan meridyenel sıcaklık

gradyanındaki değişiklik dikey ani rüzgar değişiminin nedenidir. Toz-mikrofizik etkisi ise toz partiküllerinin çaplarına ve kimyasal kompozisyonuna bağlıdır. Toz partikülleri, bulut yoğunlaşma parçacığı (CCN) ve buz parçacığı (IN) olarak bulut-mikrofizik işlemlerini, bulut optik özelliklerini ve enerji bütçesini etkilemektedirler. Toz-bulut-radyasyon etkileşimi yağışı da etkileyerek, hidrolojik döngüyü ve iklimi etkilemektedir [4].

Sahara'dan gelen tozun direk ve dolaylı etkilerinin, tropik siklon oluşumunda ve gelişiminde, kasırga ve kasırga çevresini modifiye ederek etkileme potansiyeli vardır. Tropik siklon oluşumu bakımından diğer yıllara göre fazla aktif olan 2005 yılı ve az sayıda oluşum gözlenen 2007 yıllarının karşılaştırılması sonucu, kasırga durumundaki yıllar arası bu farklılığın, toz taşınımının yoğunluğundaki farklılıktan olabileceğine karar verilmiştir. Atlantik okyanusu üzerinde aerosol yüklemesi, 2007 yılında 2005 yılına göre oldukça fazladır. WRF modeli ile 2007 yaz mevsimi üzerine iki farklı simülasyon (normal model simülasyonu ve toz-radyasyon etkileşiminin kapalı olduğu) oluşturularak yapılan çalışmada, toz-radyasyon etkileşiminin tropik siklon gelişimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Toz-radyasyon etkileşiminin kapalı olduğu model çalışmasında daha uzun süren, kuvvetli kasırgalar gözlenmiştir [8].

Aerosollerin radyasyon ve mikrofizik etkisi; bulut kompozisyonunu, yağışı, hidrolojik döngüyü, atmosferik sirkülasyonu ve enerji bütçesini etkiler [1]. Batı Afrika üzerinde yakın zamanda yapılan ve iklim modellerine dayanan araştırmalar, tozun Batı Afrika muson rüzgarları (WAM-West African Monsoon) gelişiminde ve Sahara yağışları üzerinde önemli etkisi olduğunu göstermiştir [14, 9, 12, 10]. Bu araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre tozdan kaynaklı atmosferik değişiklerin, Sahara alanında yağışı arttırması ya da azaltması ile ilgili kesin bir karara varılamamıştır [13]. Bunun nedenlerinden bir tanesi de tozun oluşturduğu radyasyon kuvvetlerinin gösterilmesi ve modellenmesindeki güçlüklerdir [2].

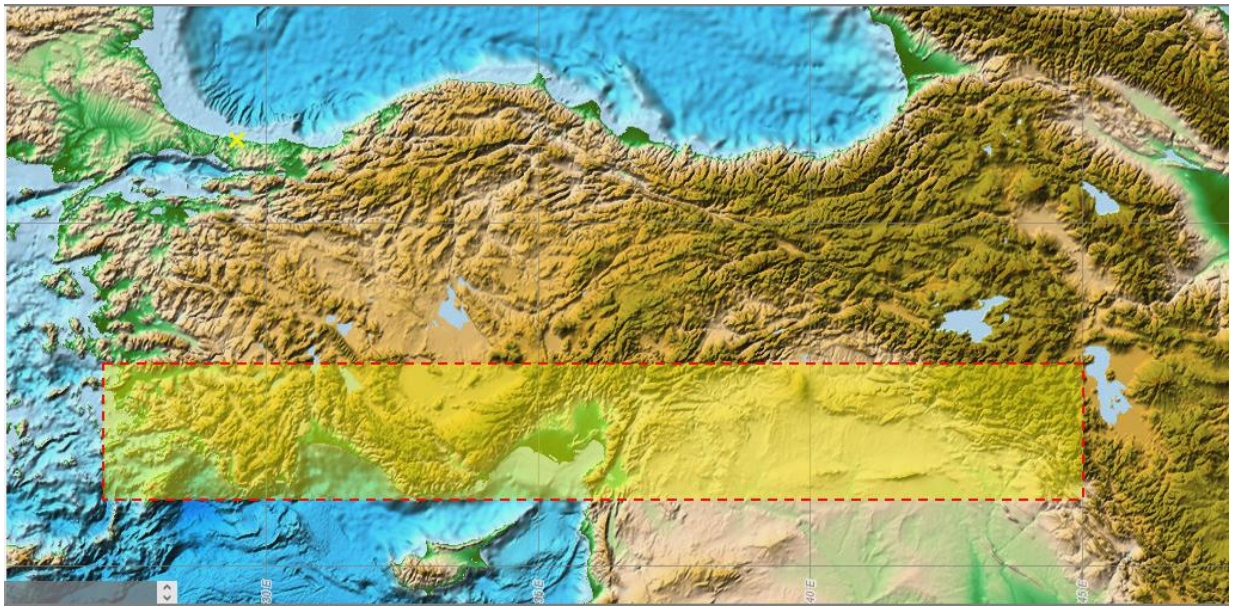
2000-2009 periyodu için De Meij ve arkadaşları tarafından MODIS ve MISR AOD küresel verileri kullanılarak 2012 yılında yapılan çalışmada, batı, orta ve güney Afrika'da zayıf artış eğilimleri gözlenirken, Arap Yarımadası ve Körfezi ile Doğu Çin'de dikkate değer artış eğilimleri bulunmuştur. Çalışmada, Afrika'daki pozitif artışın, çöl tozu emisyonlarının yoğunluğu ile biyokütle yakılması, Arap Yarımadası ve Körfezinde ise antropojenik emisyonlarla çöl tozu girişlerinden kaynaklandığı belirtilmiştir [5].

Dündar ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmaya göre, 2003-2012 periyodu için 10 yıllık MODIS AOD ortalamaları dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda, doğu bölgelerimiz için anlamlı bir artış eğilimi elde edilirken, batı bölgelerimiz için anlamlı bir değişim görülmemiştir. Ayrıca, toz olaylarında artışın yaşandığı çalışma periyodunun ikinci yarısının, ilk yarısına göre daha sıcak ve yağışlı olması, özellikle yağış ve toz ilişkisinin araştırılması için önem taşımaktadır. Sonuç olarak çalışma periyodu boyunca, Türkiye'nin batı bölgelerinde daha etkin olan Sahra kaynaklı toz taşınımı olaylarında önemli bir değişiklik gözlenmezken, Orta Doğu ve Arabistan Yarımadası kaynaklı toz taşınımlarında büyük bir artış tespit edilmiştir [6].

2. METODOLOJİ

Yıllık ve ilkbahar AOD-yağış verilerinin incelenmesi amacıyla Türkiye üzerinde Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerini kapsayacak şekilde 36^o ve 38^o enlemleri ile 27^o ve 45^o boylamları arasında kalan bölge çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). AOD verileri NASA'ya ait Giovanni sitesinden, yağış verileri ise MGM'den temin edilmiştir.

Uydudan elde edilen veriler, sadece bölgesel çözünürlük açısından değil, günlük olarak da zamansal çözünürlüğe büyük katkı sağlamaktadır. Yer ölçüm istasyonları ise saatlik olarak veri üretmesine karşın, bölgesel olarak yeterli sonuç verememektedir [7].



Şekil 1: Yıllık ve İlkbahar mevsimi kaşılaştırmaları için çalışma alanı

2.1. Toz Taşınım Olaylarının (KTF) Saptanması

Literatürde, aerosol olaylarını belirleyecek iyi tanımlanmış bir metodoloji yoktur. Bu nedenle, birkaç araştırmacı AOD'nin eşik değerlerini kullanarak aerosol olaylarını belirlemeye çalışmıştır. Gkikas ve arkadaşları tarafından aerosol olayları kuvvet ve sıklık bakımından, Akdeniz Havzası'nda 7 yıllık süreç için (2000-2007) MODIS AOD verileri kullanılarak incelenmiştir. Kuvvetli olaylar (14 aerosol olayı/yıl) çoğunlukla Batı ve Orta Akdeniz havzasında gerçekleşirken; ekstrem olaylar (5'e kadar ulaşan AOD değerleri) ise bütün yıl boyunca, sistematik olarak Doğu Akdeniz havzasında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Mevsimsel olarak incelendiğinde de Batı Akdeniz'de kuvvetli toz olayları yazın, doğu Akdeniz'de de ekstrem toz olayları ilkbahar mevsimi boyunca gerçekleşmektedir [7].

Kullanılan metotta öncelikle, ortalama AOD değeri ve standart sapma değeri hesaplanmıştır. Eşik değeri 1 nolu denklemde belirtildiği gibi ortalama AOD değerine standart sapmanın farklı katlarda eklenmesi ile elde edilmiştir. Kuvvetli aerosol olayı ve ekstrem aerosol olayları için AOD değer aralıkları 2 ve 3 nolu denklemde ifade edilmiştir [7].

$$AOD_{Threshold} = \overline{AOD} + i \times \sigma_{AOD} \; with \; i = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

$$\overline{AOD} + 2 \times \sigma_{AOD} \leq AOD < \overline{AOD} + 4 \times \sigma_{AOD} \quad kuvvetli \; aer \quad (2)$$

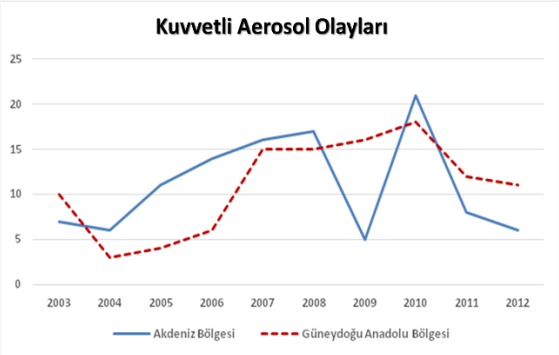
$$AOD \geq \overline{AOD} + 4 \times \sigma_{AOD} \quad ek \quad (3)$$

Çalışmada, ekstrem aerosol olaylarının genellikle toz taşınım olayları oldukları, kuvvetli aerosol olaylarının ise genel olarak deniz tuzu, biokütle yakımı (orman yangınları) ve antropojenik aktiviteler ile ilgili olduğu sonucuna varılmıştır [7].

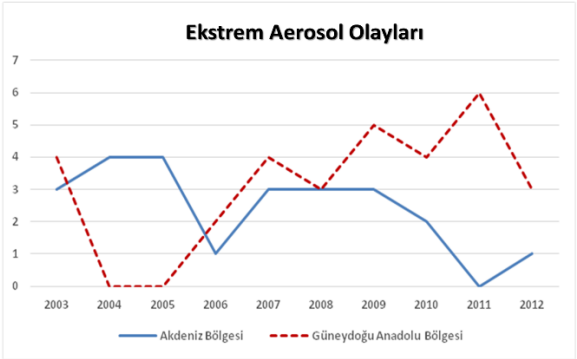
3. SONUÇLAR

3.1. Kum ve Toz Fırtınalarının (KTF) Analizi

2003-2012 yılları arasında Akdeniz ve Güneydoğu Bölgelerinde oluşan kuvvetli ve ekstrem aerosol olaylarının sayısı yıllık olarak yukarıda anlatılan metot ile hesaplanmıştır (Şekil 2.a ve 2.b). Akdeniz Bölgesinde her yıl ortalama 11 kuvvetli aerosol olayı gerçekleşirken, 2 ekstrem olay gözlemlenmiştir. Bu sayısal veriler, Gkikas'ın araştırmasında elde ettiği yıllık 10 kuvvetli ve 2 ekstrem aerosol olayı sonuçlarını desteklemektedir.



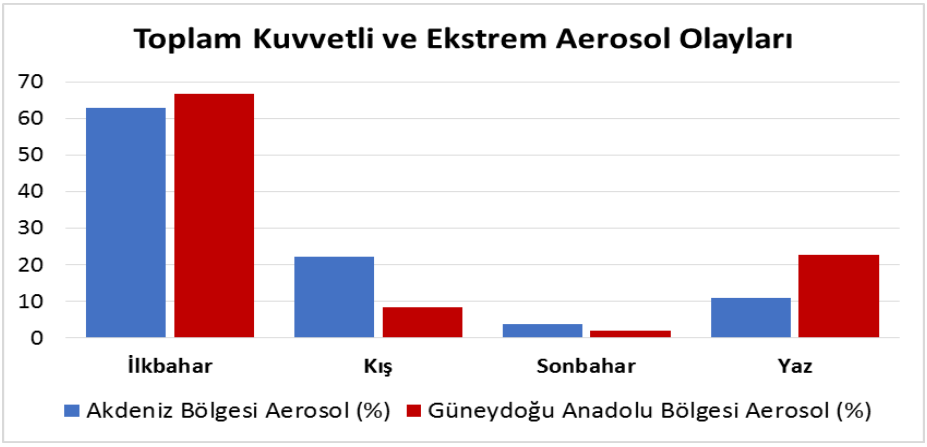
Şekil 2.a: Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri için yıllık kuvvetli aerosol olayları



Şekil 2.b: Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri için yıllık ekstrem aerosol olayları

Şekil 2.a'da görüldüğü üzere Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kuvvetli aerosol olaylarını sayısında 2004-2010 yılları arasında artış tespit edilmiştir. Ekstrem aerosol olayları ise 2006 yılından itibaren artışa geçerek 2011 yılında 6 ekstrem aerosol olayı gerçekleşerek tavan değerine ulaşmıştır (Şekil 2.b). Akdeniz Bölgesinde kuvvetli aerosol olayları sayısında 2004-2008 yılları arasında artış gözlenirken, ekstrem olaylar için belirgin bir trend gözlenmemiştir.

Kuvvetli ve ekstrem aerosol olaylarının ilkbahar mevsiminde hem Akdeniz Bölgesinde, hem de Güneydoğu Anadolu Bölgesinde çok yoğun yaşandığı görülmektedir (Şekil 3). Kış mevsiminde Akdeniz Bölgesinde, Güneydoğu Anadolu Bölgesine göre daha fazla olay yaşanırken, yaz mevsiminde Güneydoğu Anadolu Bölgesinde daha fazla olay yaşanmaktadır. Basra Alçak Basıncının yaz aylarında Güneydoğu Anadolu Bölgesini daha yoğun etkilemesi nedeniyle Orta Doğu kaynaklı toz olaylarının yaşanması olağandır.

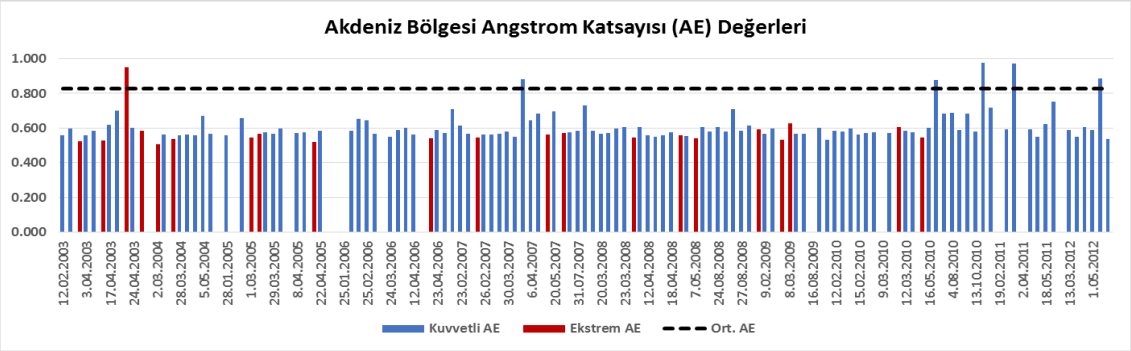


Şekil 3. Kuvvetli ve ekstrem aerosol olaylarının mevsimsel dağılımı.

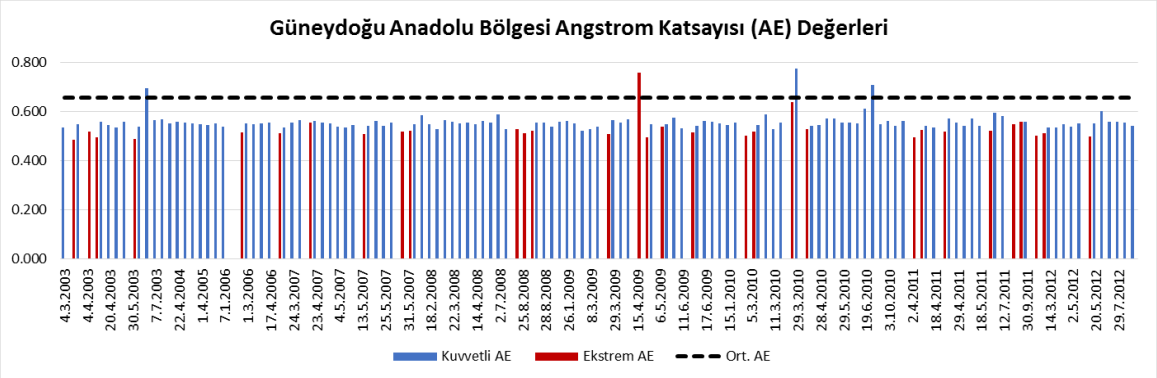
Diğer taraftan, Angstrom Katsayısının (AE) düşük olduğu zamanlarda, ortamdaki aerosol tipinin büyük çaplı partikül (toz) olduğu düşünüldüğünde, AE katsayısının incelenmesi, aerosol olaylarının türünün tespitinde önem arz etmektedir. Tablo 1'de Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri için AOD ve AE değerlerinin ortalama ve standart sapma değerleri ile kuvvetli ve ekstrem aerosol olaylarının sayıları verilmiştir. Buna göre kuvvetli ve ekstrem aerosol olayları için ortalama AE değerlerine baktığımızda, her iki bölge için sayısal değerlerin genel ortalama değerinin altında olduğunu görmekteyiz. Yaptığımız analizler sonucunda, AE katsayısının, kuvvetli ve ekstrem aerosol olayları periyodu boyunca düşük olduğu (Şekil 4.a-b, dolayısı ile bu olayların çoğunun toz aerosolü sebebiyle gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Tablo 1: Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri için ortalama AOD ve AE değerleri

	Akdeniz Bölgesi		Güneydoğu Anadolu Bölgesi	
	AOD	**AE**	**AOD**	**AE**
Ortalama	0,233	0,830	0,291	0,657
Standart Sapma	0,133	0,246	0,170	0,120
Kuvvetli aerosol olayı sayısı	111		110	
Ekstrem aerosol olayı sayısı	24		31	



Şekil 4.a. Akdeniz Bölgesi kuvvetli ve ekstrem aerosol olayları.



Şekil 4.b. Güneydoğu Anadolu Bölgesi kuvvetli ve ekstrem aerosol olayları.

3.2. Yağış Analizi

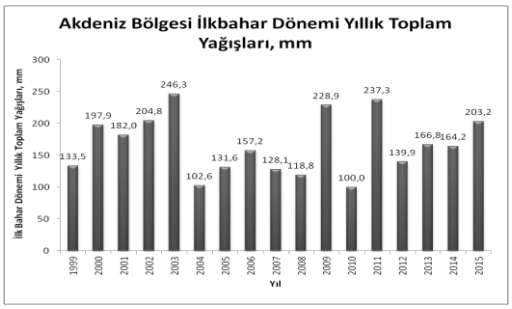
Akdeniz ve Güneydoğu bölgelerinde 1999-2015 yılları arası yağış değişimleri ve ilkbahar dönemlerinde meydana gelen yağışların değişimleri incelenmiştir.

3.2.1. Akdeniz Bölgesi

Akdeniz Bölgesinde 1999-2015 yılları arasında toplam yağışların ortalaması 736,5 mm'dir. Gözlem periyodunda yıllık toplam yağışların maksimumu 2001 yılı Aralık ayında 327,2 mm, yıllık toplam yağışların minimumu 2000 yılı Temmuz ayında 0,34 mm'dir. Gözlem periyodunda maksimum toplam yağış 2009 yılında 1020,2 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.a). Akdeniz Bölgesinde gerçekleşen İlkbahar dönemi yağışları incelendiğinde, yıllık toplam yağışların ortalaması 167,24 mm olarak hesaplanmıştır. İlkbahar dönemimde en çok yağış 2003 yılında 246,3 mm'dir (Şekil 5.b).



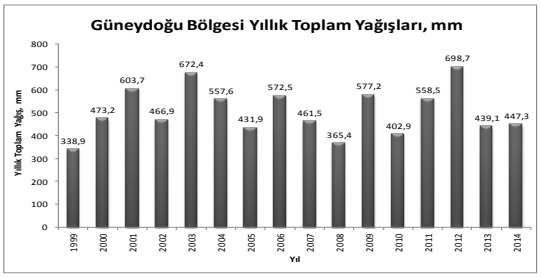
Şekil 5.a. Akdeniz Bölgesi yıllık toplam yağış miktarları, mm



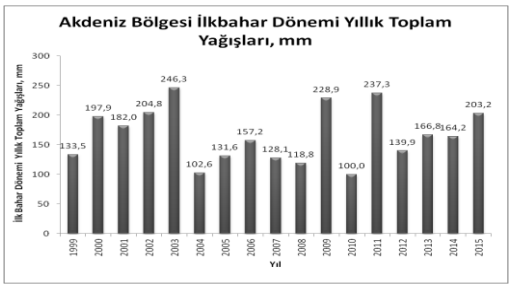
Şekil 5.b. Akdeniz Bölgesi ilkbahar dönemi yıllık toplam yağış miktarları, mm

3.2.2. Güneydoğu Bölgesi

Güneydoğu Anadolu Bölgesi 1999-2015 yılları arasında toplam yağışların ortalaması 504,2 mm'dir. Gözlem periyodunda yıllık toplam yağışların maksimumu 2001 yılı Aralık ayında 168,7 mm'dir. Gözlem periyodunda maksimum toplam yağış 2012 yılında 698,7 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.a). Güneydoğu Anadolu Bölgesi gerçekleşen İlkbahar dönemi yağışları incelendiğinde, yıllık toplam yağışların ortalaması 148,7 mm olarak hesaplanmıştır. İlkbahar dönemimde en çok yağış 2011 yılında 259,4 mm'dir (Şekil 6.b).



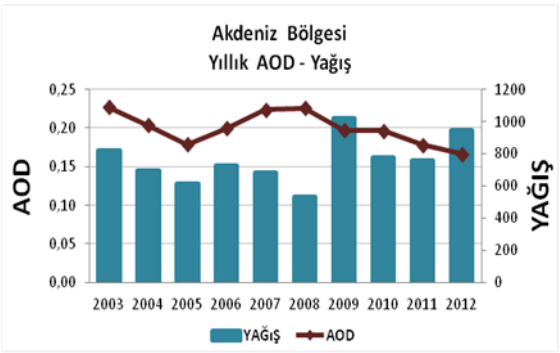
Şekil 6.a. Güneydoğu Anadolu Bölgesi yıllık toplam yağış miktarları, mm



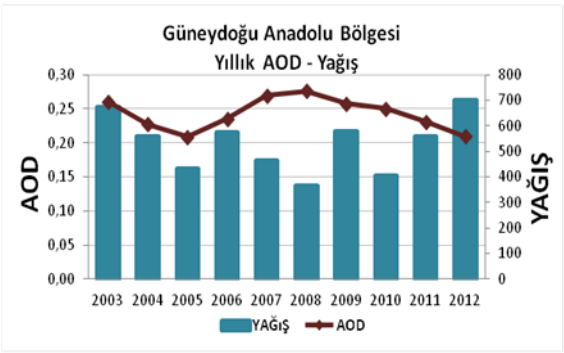
Şekil 6.b. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ilkbahar dönemi yıllık toplam yağış miktarları, mm

3.3. AOD-Yağış İlişkisi

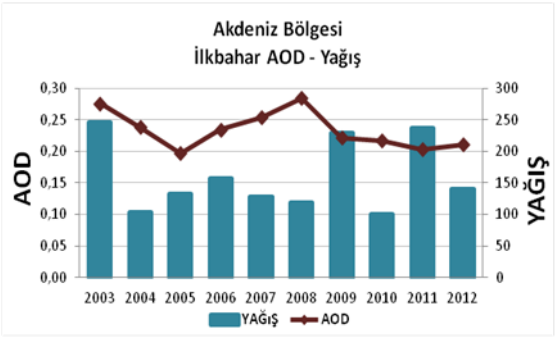
Akdeniz ve Güneydoğu bölgeleri için yıllık ve ilkbahar mevsimi için AOD ve yağış verilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. AOD değeri 2003-2012 yılları arasında yıllık grafiklerde 0.25'i aşan değerlere ulaşmıştır (Şekil 7.a-7.b). Akdeniz Bölgesinin yıllık (Şekil 7.a) ve Güneydoğu Bölgesinin yıllık (Şekil 7.a) grafiklerinde 2003-2006 yılları arasında AOD-yağış arasında benzer bir trend gözlenirken, 2007-2012 yılları arasında AOD-yağış arasında ilişki gözlenmemiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesine bakıldığında da ilkbahar verilerde 2003-2007 yılları arasında aynı AOD-yağış trendi gözlenmiştir (Şekil 8.b).



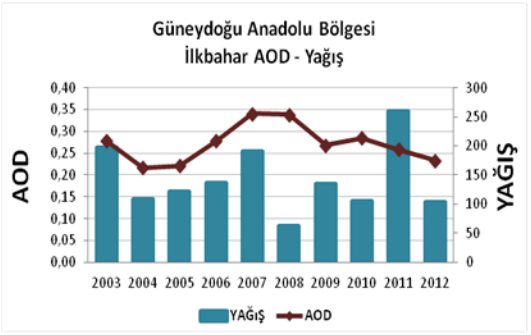
Şekil 7.a. Akdeniz Bölgesi yıllık AOD ve yağış (mm) verileri



Şekil 7.b. Güneydoğu Anadolu Bölgesi yıllık AOD ve yağış (mm) verileri

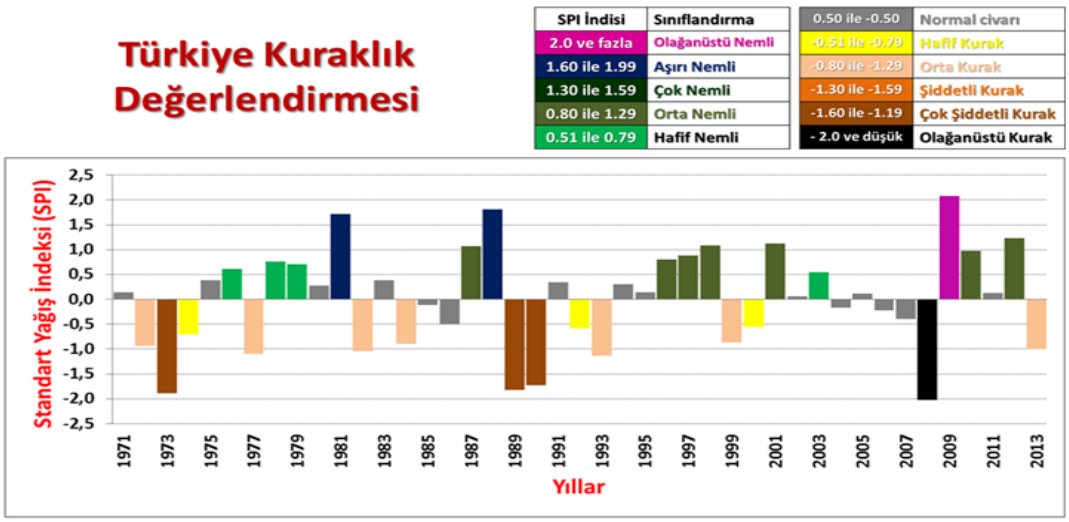


Şekil 8.a. Akdeniz Bölgesi ilkbahar AOD ve yağış (mm) verileri



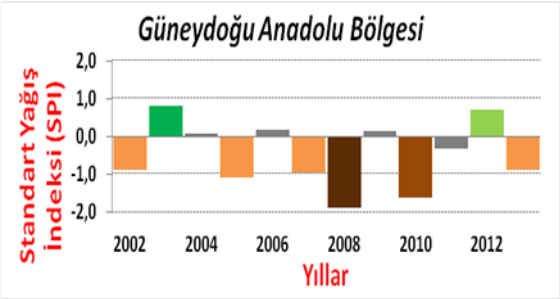
Şekil 8.b. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ilkbahar AOD ve yağış (mm) verileri

Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yıllık ve ilkbahar mevsimi için AOD-yağış ilişkisi incelendiğinde belirgin bir ilişki gözlenmemiştir (Şekil 9, 10.a, 10.b).

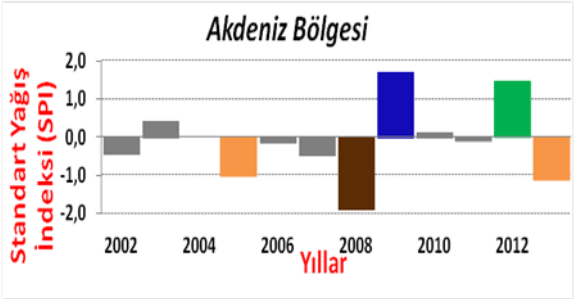


Şekil 9: SPI İndeksine göre Türkiye kuraklık değerlendirmesi

2003-2006 yılları arasında gözlenen AOD-yağış arasındaki benzer trend, özellikle 2007 ve 2008 yıllarında yıllık ve ilkbahar grafiklerinde gözlenememiştir. Bu nedenle, kuraklık incelemesi amaçlı Türkiye yağış indekslerine bakılmıştır. Türkiye için genel kuraklık değerlendirmesi yapıldığında, (Şekil 9) 2008 yılında olağanüstü kuraklık olduğu tespit edilmiştir. Bölgesel olarak incelediğimiz zaman ise, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde 2007 yılında orta şiddette, 2008 yılında ise çok şiddetli kuraklık gerçekleşmiştir (Şekil 10.a). Akdeniz Bölgesinde de 2008 yılında çok şiddetli kuraklık olmuştur (Şekil 10.b).



Şekil 10.a: SPI İndeksine göre Güneydoğu Anadolu Bölgesi kuraklık değerlendirmesi



Şekil 10.b: SPI İndeksine göre Akdeniz Bölgesi kuraklık değerlendirmesi

Bulunan sonuçlar araştırmanın başlangıcı niteliğinde olup, toz-yağış ilişkisi daha detaylı olarak incelenecektir. Bölgelerdeki kuraklık birçok etkene bağlı olabileceğinden 2007-2008 yılları için daha detaylı bir çalışma yapılabilir. İleriki çalışmalarda tozun yağış üzerindeki etkisini daha iyi anlayabilmek ve çevresel diğer etkenlerin etkilerini minimuma indirmek için model çalışması yapılarak incelemeye devam edilecektir.

KAYNAKLAR

[1] Andreae, M. O., and D. Rosenfeld (2008), Aerosol-cloud-precipitation interactions. Part 1. The nature and sources of cloud-active aerosols, Earth-Science Reviews, 89(1-2), 13-41.

[2] Balkanski, Y., M. Schulz, T. Claquin, *and* S. Guibert *(*2007*)*, Reevaluation of mineral aerosol radiative forcings suggests a better agreement with satellite and AERONET data, Atmos. Chem. Phys., 7, 81–95.

[3] Bangert M, Nenes A, Vogel B, Vogel H, Barahona D, Karydis V, Kumar P, Kottmeier C, Blahak U. Saharan dust event impacts on cloud formation and radiation over Western Europe. ATMOS CHEM PHYS. 2012;12 (9):4045-4063.

[4] Bretl, S., Reutter, P., Raible, C. C., Ferrachat, S., Poberaj, C. S., Revell, L. E. and Lohmann, U. (2015), The influence of absorbed solar radiation by Saharan dust on hurricane genesis. J. Geophys. Res. Atmos., 120: 1902–1917. doi: 10.1002/2014JD022441.

[5] De Meij, A., Pozzer, A., & Lelieveld, J. (2012). Trend analysis in aerosol optical depths and pollutant emission estimates between 2000 and 2009. Atmospheric Environment, 51, 75-85.

[6] Dündar C., Oğuz K., Öz N., Güllü G., Aerosol Optik Derinliği Verilerinin Türkiye İçin Alansal Ve Zamansal Değişimlerinin İncelenmesi, VII. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 28-30 Nisan 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Istanbul

[7] Gkikas, A., Hatzianastassiou, N., and Mihalopoulos, N.: Aerosol events in the broader Mediterranean basin based on 7-year (2000–2007) MODIS C005 data, Ann. Geophys., 27, 3509– 3522, doi:10.5194/angeo-27-3509-2009, 2009

[8] Isik, A.G. (2015), Link Between Saharan Air Layer And Atlantic Tropical Cyclone Activity (Unpublished master's thesis), University of California, Davis

[9] Konare, A., A. S. Zakey, F. Solmon, F. Giorgi, S. Rauscher, S. Ibrah, and X. Bi (2008), A regional climate modeling study of the effect of desert dust on the West African monsoon, J. Geophys. Res., 113, D12206, doi:10.1029/2007JD009322.

[10] Lau, K. M., *and* K. M. Kim *(*2006*),* Observational relationships between aerosol and Asian monsoon rainfall, and circulation, Geophys. Res. Lett., 33*, L21810, doi:*10.1029/2006GL027546.

[11] Liao H, Seinfeld JH. Radiative forcing by mineral dust aerosols: Sensitivity to key variables. J Geophys Res 1998; 103: 31637-45.

[12] Miller, R. L., I. Tegen, and J. Perlwitz (2004), Surface radiative forcing by soil dust aerosols and the hydrologic cycle, J. Geophys. Res., 109, D04203, doi:10.1029/2003JD004085.

[13] Solmon, F., M. Mallet, N. Elguindi, F. Giorgi, A. Zakey, *and* A. Konaré *(*2008*),* Dust aerosol impact on regional precipitation over western Africa, mechanisms and sensitivity to absorption properties, Geophys. Res. Lett., 35*, L24705, doi:*10.1029/2008GL035900.

[14] Yoshioka, M., N.M.Mahowald, A. J. Conley,W. D. Collins, D.W. Fillmore, C. S. Zender, and D. B. Coleman (2007), Impact of desert dust radiative forcing on sahel precipitation: Relative importance of dust compared to sea surface temperature variations, vegetation changes, and greenhouse gaswarming, J. Clim., 20, 1445– 1467.

Hava Ulaşımını Etkileyen Bazı Meteorolojik Hadiselerin Uzaktan Algılama Verileri Kullanılarak İncelenmesi

Erdem ERDİ
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
eerdi@mgm.gov.tr

Fatih DEMİR
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Havacılık Meteorolojisi Şube Müdürlüğü
Ankara
fdemir@mgm.gov.tr

Murat ÇAKIR
Sağlık Bakanlığı
Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü
Ankara
murat.cakir1@saglik.gov.tr

ÖZET

Ülkemizde havacılık sektörü son yıllarda fark edilir biçimde büyümekte, uçuş ve yolcu sayıları her geçen yıl bir öncekine göre artış göstermektedir. Bu gelişme ve büyüme ise, meteorolojik hadiselerin bu sektör üzerindeki etkisini daha da artırmakta ve etkili meteorolojik hadiselerin tahmini ve gözlemi daha önemli hale gelmektedir. Ülkemiz genelinde havacılığı olumsuz yönde etkileyen meteorolojik hadiselerin başında ise konvektif fırtınalar ve sis gelmektedir.

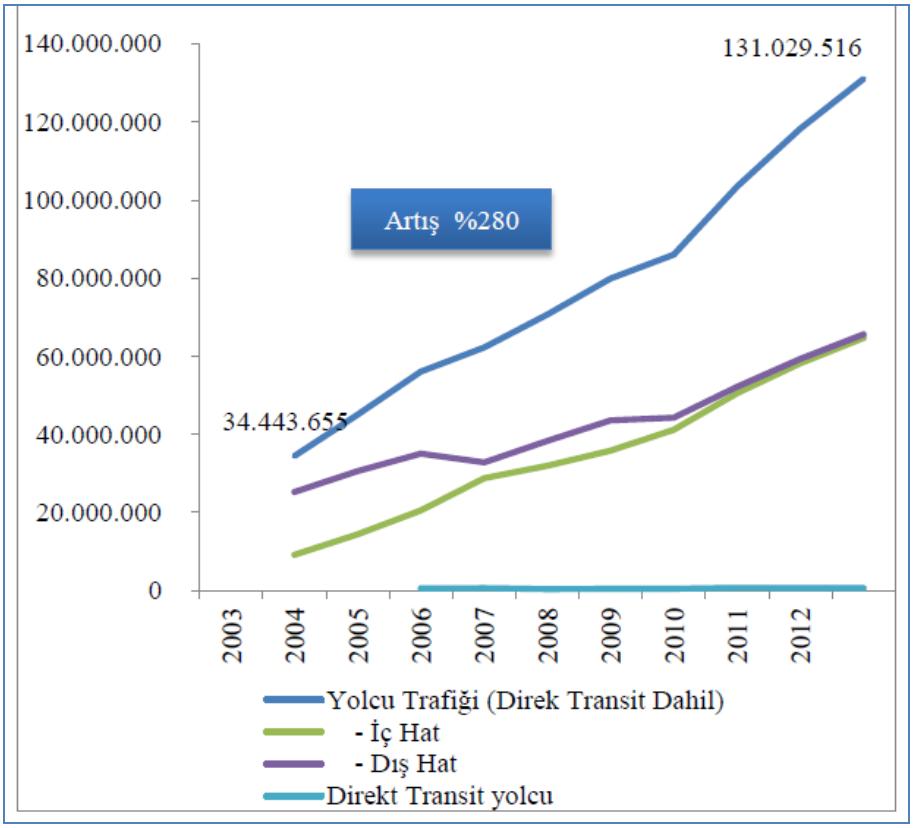
Bu çalışmada ülkemizde vuku bulan ve hava ulaşımında aksamalara neden olan bazı etkili meteorolojik hadiseler, METEOSAT uydusuna ait veriler, radar ürünleri ve Yıldırım Tespit ve Takip Sistemine ait veriler kullanılarak incelenmiş ve bu hadiselerin bu veriler yardımı ile tahmin veya tespit edilebilirliğine dair sonuçlara varılmaya çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler - Havacılık, meteoroloji, fırtına, sis, uydu, radar, yıldırım, tahmin, uçuş.

1 GİRİŞ

Hava ulaşımı günümüzün en vazgeçilmez ve hayatı en çok kolaylaştıran unsurlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun neticesi olarak, hava ulaşımı tarih boyunca sürekli olarak gelişme ve ilerlemelere sahne olmuştur. Ancak son yıllarda sivil havacılık sektöründeki gelişme ve büyüme trendinin, önceki yıllardakinden daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Dünya genelinde iç hat ve dış hat yolcu sayıları 1960-1999 yılları arasında yolcu bazında yıllık ortalama % 7, 29; 2000-2011 yılları arasında ise % 4,55 artış gerçekleşmiştir. [1]

Ülkemiz sivil havacılık sektörü de son yıllarda benzer bir büyüme ve gelişme sürecine girmiş, yurt içi ve yurtdışı uçuş sayıları, uçuş noktaları ve yolcu sayıları çok büyük artışlar göstermiştir.



Şekil 1: Türkiye geneli havalimanları yolcu trafiği.[2,3]

Sivil havacılık sektöründeki bu büyüme, meteorolojik hadiselerin bu sektör üzerindeki etkilerini de doğal olarak artırmıştır. Artan uçuş sayısı ve uçuş noktasına bağlı olarak, özellikle kış aylarında görüş kısıtlaması (sis, alçak seviye bulutlar) ve bahar aylarında konvektif fırtına gibi meteorolojik hadiseler sebebiyle uçuşlarda yaşanan gecikme, iptal ve divertlerin (planlanan meydandan başka bir meydana iniş yapılması) sayısı artmıştır.

Bu çalışmada, belirli bir zaman aralığında ülkemizde yaşanmış olan meteorolojik hadise kaynaklı divert olayları, meteorolojik uzaktan algılama verileri (METEOSAT uydusu RGB kompozit görüntüleri, meteorolojik radar ve yıldırım tespit ve takip sistemi) kullanılarak incelenmeye çalışılmış, bu hadiselerin anılan veriler ile ne kadar zaman öncesinde tespit edilebileceğine dair sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır.

2 KULLANILAN YÖNTEM VE VERİLER

Çalışmanın gayesi, divertlere neden olmuş olan sis ve konvektif fırtınaların uzaktan algılama verileri ile ne kadar zaman öncesinden tespit edilebilir olduğuna dair istatistiksel sonuçlara ulaşmak olup, incelenmiş olayların konum ve tarih bilgileri çalışmada bu sebeple belirtilmemiştir. Anılan uzaktan algılama ürünleri ve görüntüleri insan yorumuna dayalı olarak incelenmiş ve meteorolojik hadisenin ilgili meydanı etkilemesinden ne kadar önce bu verilerde işaretlerin ortaya çıktığı anlaşılmaya çalışılmıştır.

Sis hadiseleri için yalnızca METEOSAT uydusuna ait ilgili RGB kompozit görüntüleri incelenmiş olup, radar ve yıldırım tespit ve takip sistemi (YTTS) verileri incelemeye alınmamıştır. Konvektif fırtına olaylarında ise uydu görüntüleri, radar ve YTTS verilerinin mevcut olanları kullanılmıştır.

2.1 METEOSAT Uydusu RGB ve Kanal Görüntüleri

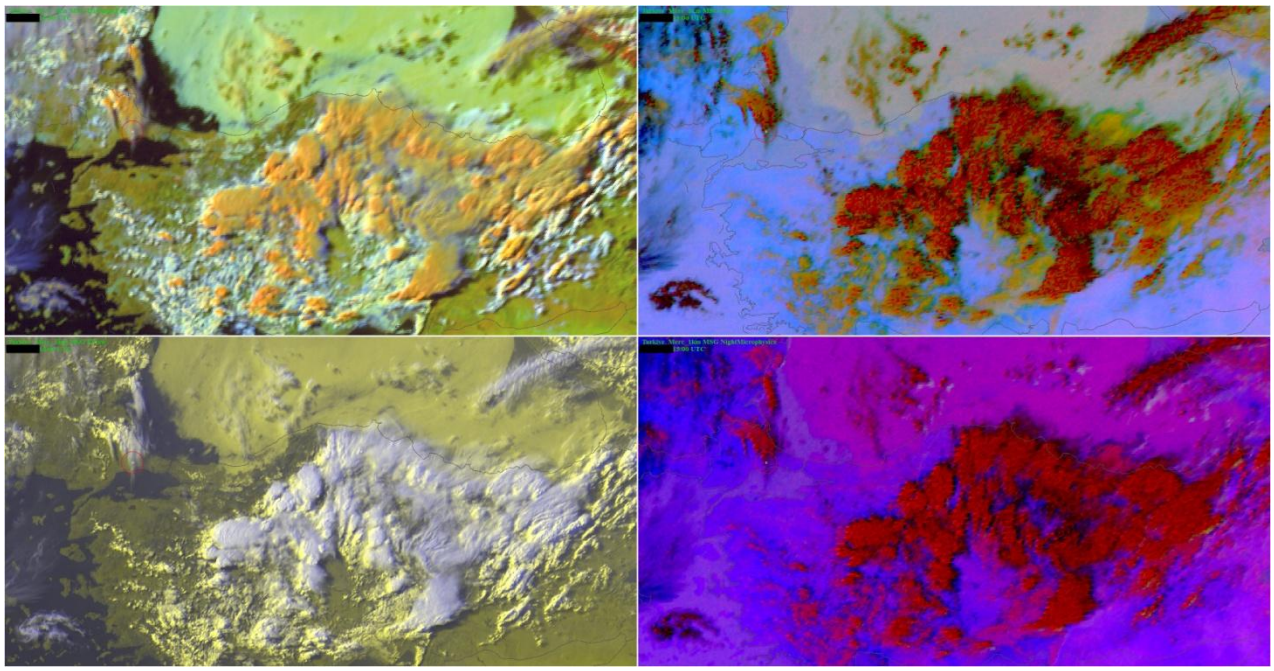
Ülkemizin de üyesi bulunduğu Avrupa Meteoroloji Uyduları İşletme Teşkilatı (EUMETSAT) tarafından işletilmekte olan MSG (METEOSAT Second Generation) uyduları, Meteoroloji Genel Müdürlüğünün hava tahmini ve anlık hava tahmini faaliyetlerinde kullandığı uyduların başında gelmektedir.

MSG uydularında bulunan SEVIRI(Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager) sensörü, dünya üzerinde gördüğü sabit disk alanını her 15 dakikada bir tarayarak 12 farklı spektral kanalda veri sağlamaktadır. Bunlardan 0.75, 0.63, ve 0.81μm kanalları spektrumun görünür; 1.6 μm kanalı yakın infrared; 3.9, 6.2, 7.3, 8.7, 9.7, 10.8, 12.0, ve 13.4 μm kanalları ise infrared kısmında yer almaktadır. 0.75 μm görünür kanalı uydu alt noktasında 1x1 km'lik uzaysal çözünürlüğe sahipken diğer kanalların çözünürlüğü 3x3km'dir [4].

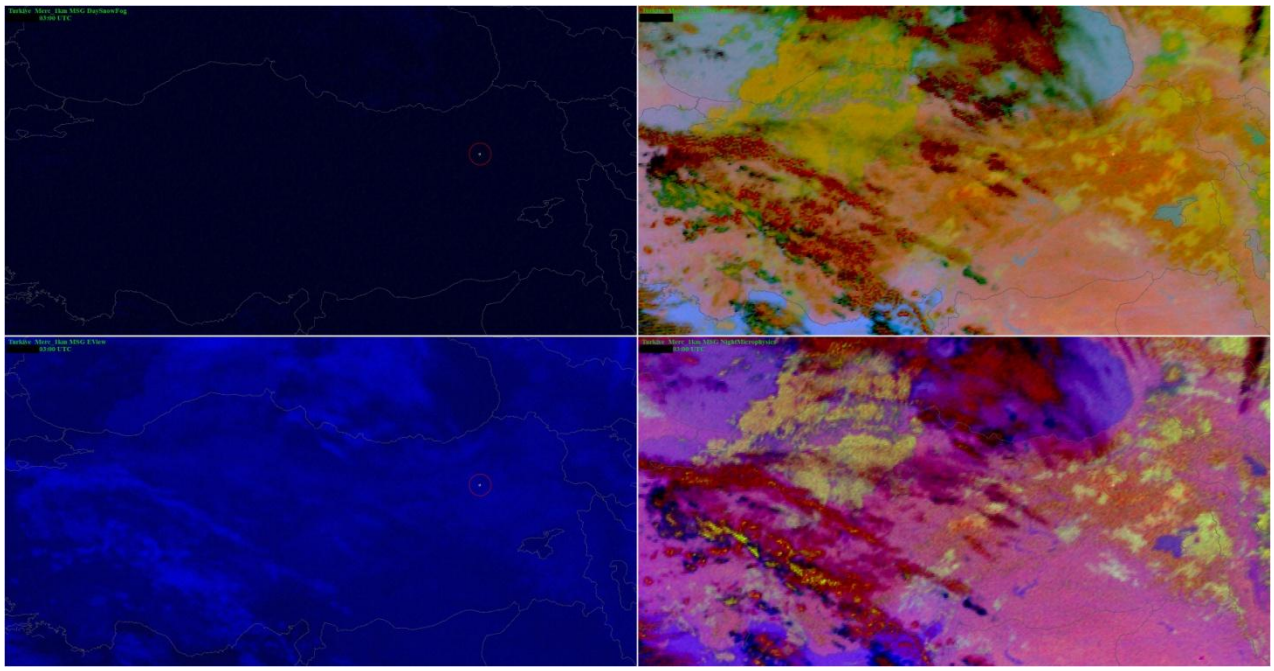
Bu 12 farklı dalga boyundaki verilerin operasyonel hava tahmini için en etkin kullanım şekillerinden birisi RGB kompozit görüntüleridir. Çeşitli meteorolojik özelliklerin tespiti ve incelenmesi için ilgili uygun kanalların bir araya getirilip renkli görüntüler oluşturulması ve bu

sayede tek bir görüntüde zengin ve detaylı bir yorum/analiz yapılabilmesine imkan sağlayan RGB kompozit görüntülerine ait kabul edilmiş standartlar EUMETSAT tarafından yapılan çalışmalar neticesinde oluşturulmaya çalışılmıştır.[5] Bu RGB görüntülerinden bazıları sadece gündüz, bazıları sadece akşam/gece ve bazıları ise 24 saat boyunca kullanılabilmektedir.

Sis olaylarının incelenmesi amacıyla Şekil 2 ve Şekil 3' de örnek görüntüleri verilmiş olan "Gece Mikrofiziği", "E-View", "Day Snow/Fog" ve "Dust" RGB kompozit görüntüleri Türkiye alanında ilgili çalışma zamanları için üretilmiş ve kullanılmıştır.

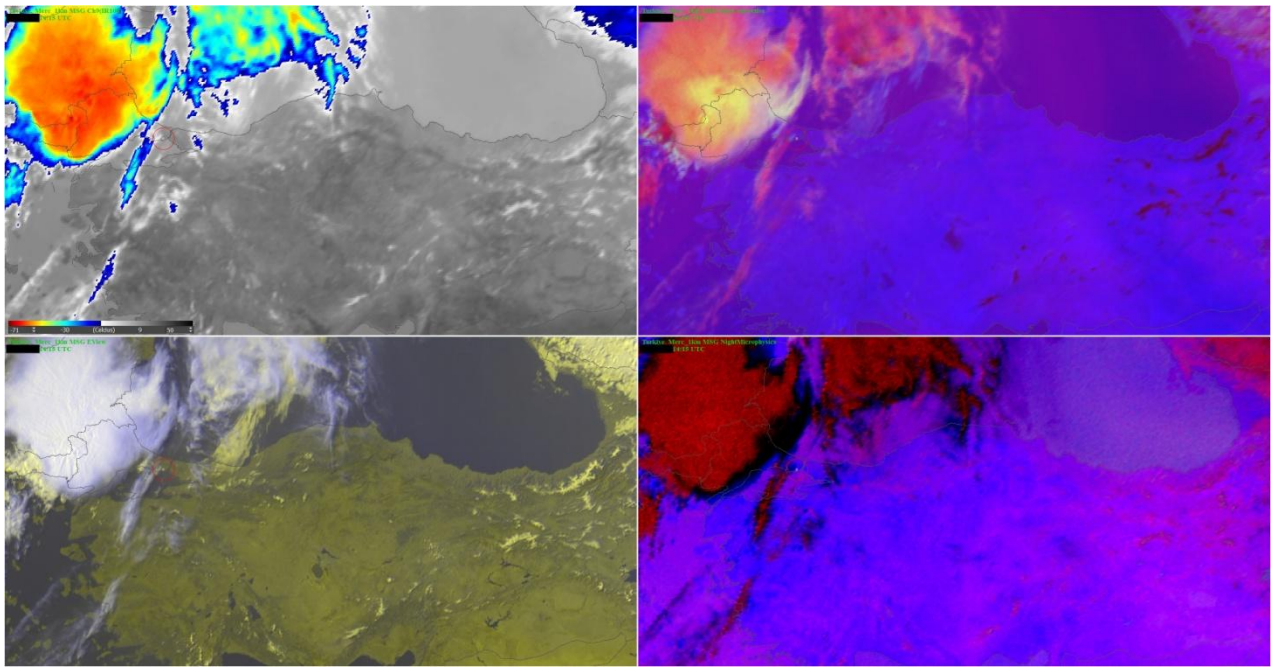


Şekil 2: Çalışmada kullanılan RGB kompozit görüntülerinin 15:00 Z. zamanına ait örneği. Sol üst: "Day Snow/Fog", sağ üst: "Dust", sol alt: "E-View" ve sağ alt: "Gece Mikrofiziği" görüntüsüdür.



Şekil 3: Çalışmada kullanılan RGB kompozit görüntülerinin 03:00 Z. zamanına ait örneği. Sol üst: "Day Snow/Fog", sağ üst: "Dust", sol alt: "E-View" ve sağ alt: "Gece Mikrofiziği" görüntüsüdür.

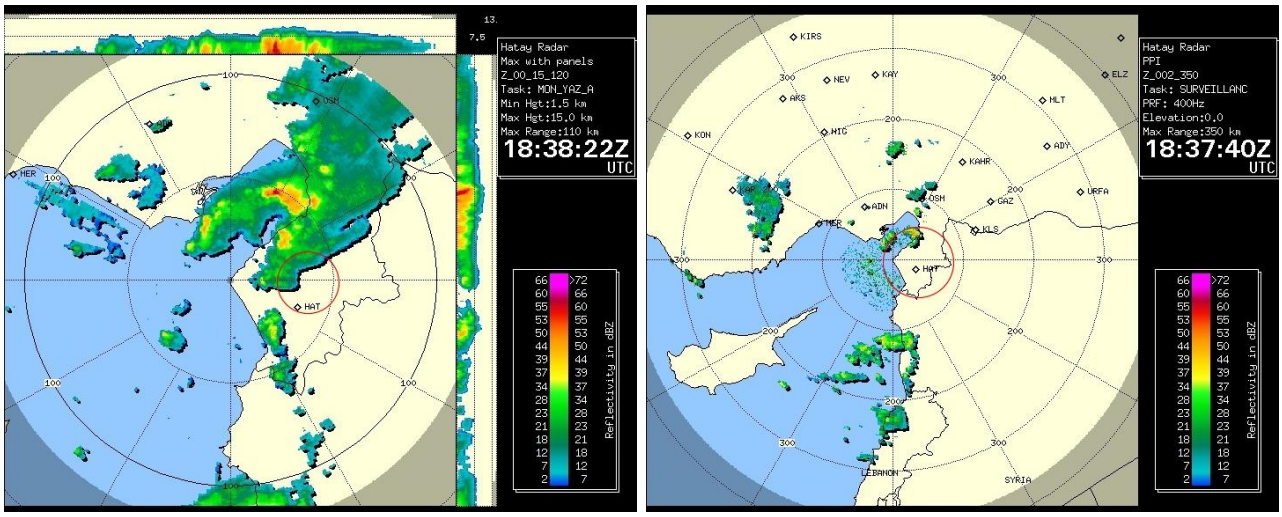
Konvektif fırtına olaylarının incelenmesinde ise Şekil 4' de sunulan "Kanal 9 Parlaklık Sıcaklığı", "Gündüz Konvektif Fırtına", "E-View" ve "Gece Mikrofiziği" görüntüleri kullanılmıştır.



Şekil 4: Çalışmada kullanılan görüntülerin 14:15 Z. zamanına ait örneği. Sol üst: "Kanal 9", sağ üst: "Gündüz Konvektif Fırtına", sol alt: "E-View" ve sağ alt: "Gece Mikrofiziği" görüntüsüdür.

2.2 Radar Verileri

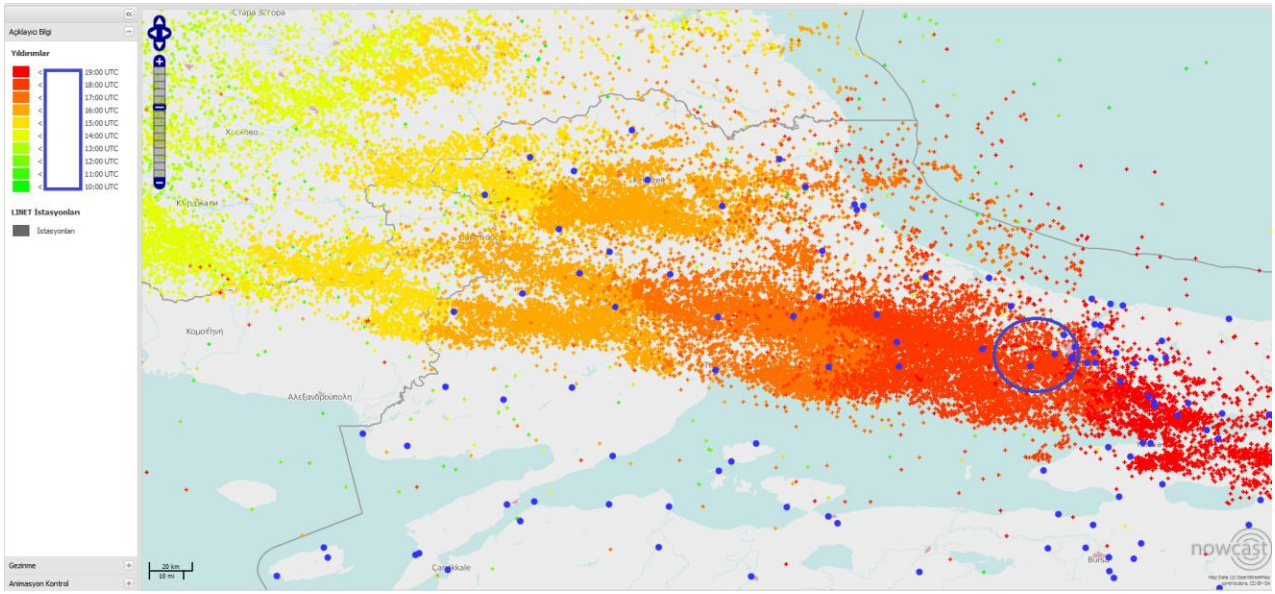
Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından işletilmekte olan C-Bant Doppler radarlar, şu anda ülkemizin büyük bir bölümünü kaplamakta olup, konvektif olayların incelenmesinde bu radarlara ait PPI ve MAX ürünleri kullanılmıştır.



Şekil 5: Çalışmada kullanılan radar ürünlerine ait örnek MAX (sol panel) ve PPI (sağ panel) görüntüleri.

2.3. YTTS Verileri

Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi 2014 yılından beri Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından kullanılmakta ve yurt genelinde kurulu 35 adet istasyon vasıtası ile tespit edilen yıldırım ve şimşeklere ait mekansal, zamansal ve şiddet bilgileri kullanılabilmektedir. Çalışmada incelenen konvektif fırtına hadiselerinde bu sisteme ait veriler de kullanılmıştır.



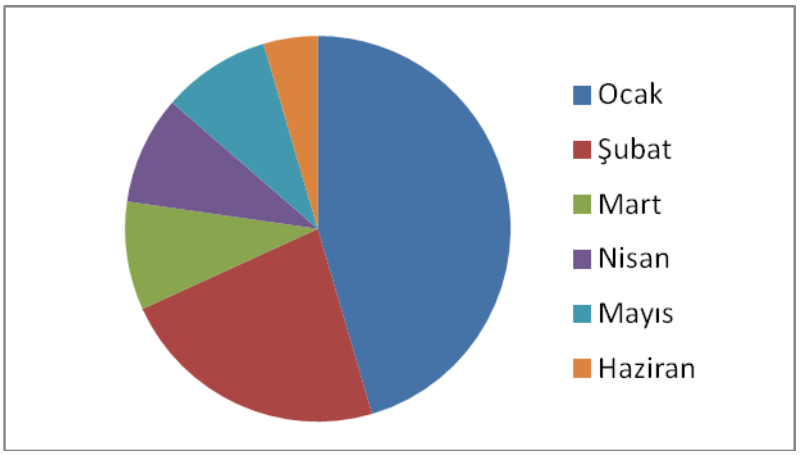
Şekil 6: YTTS sisteminde yıldırım hareketlerinin renk kodları ile gösterimi.

3. OLAY İNCELEMELERİ

İncelenen meteorolojik hadiseler Ocak-Haziran ayları arasında gerçekleşmiştir (Şekil 7). İncelenen toplam 22 adet hadiseye ait bilgiler Tablo 1' de sunulmuştur.

Hadisenin ne kadar önceden tespit edilebildiğinin bulunabilmesi için, hadisenin gerçekleşme saatinden önceki uzaktan algılama verileri incelenmiş, hadiseye ait belirtilerin ortaya çıkma zamanı anlaşılmaya çalışılmıştır. Örneğin rüyet azalması hadiseleri için, meydan etrafında sis/stratus tabakasının genişlemesi veya daralması veya yer değiştirmesi ile meydan üzerine doğru yer değiştirmesi gibi belirtiler tespit edilmeye çalışılmıştır.

Konvektif fırtına hadiselerinde ise, meydanı etkileyen konvektif hücrelerin (Kümülonimbus bulutları) oluşma ve meydan üzerine doğru hareketlerine dair işaretler tespit edilmeye çalışılmıştır.



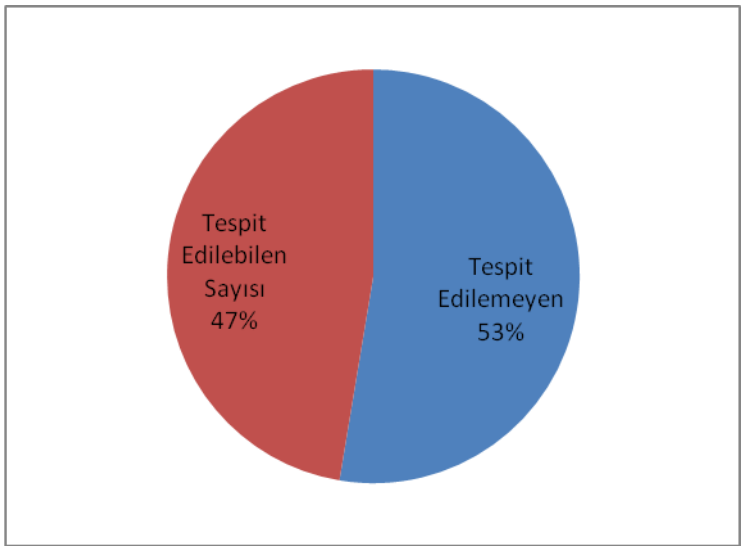
Şekil 7: İncelenen hadiselerin aylara göre dağılımı.

Tablo 1: İncelenen meteorolojik hadiselere ait bilgiler.

No	Hadise Çeşidi	Ay	Hadisenin Ne kadar Önce Tespit Edilebildiği
1	Rüyet Azalması	Ocak	5 saat
2	Rüyet Azalması	Ocak	-
3	Rüyet Azalması	Ocak	4 saat
4	Rüyet Azalması	Ocak	5 saat 30 dakika
5	Rüyet Azalması	Ocak	4 saat 40 dakika
6	Rüyet Azalması	Ocak	-
7	Rüyet Azalması	Ocak	2 saat 10 dakika
8	Rüyet Azalması	Ocak	-
9	Rüyet Azalması	Ocak	1 saat 50 dakika
10	Rüyet Azalması	Ocak	-
11	Rüyet Azalması	Şubat	-
12	Rüyet Azalması	Şubat	3 saat
13	Rüyet Azalması	Şubat	7 saat 30 dakika
14	Rüyet Azalması	Şubat	-
15	Rüyet Azalması	Şubat	-
16	Konvektif Fırtına	Mart	Uydu ile: 1 saat 30 dakika YTTS ile: 1 saat Radar ile: -
17	Rüyet Azalması	Mart	-
18	Rüyet Azalması	Nisan	1 saat
19	Rüyet Azalması	Nisan	-
20	Rüyet Azalması	Mayıs	-
21	Konvektif Fırtına	Mayıs	Uydu ile: 3 saat 50 dakika YTTS ile: 2 saat 20 dakika Radar ile: Radar verisi yok.
22	Konvektif Fırtına	Haziran	Uydu ile: 1 saat 50 dakika YTTS ile: 50 dakika Radar ile: 50 dakika

4. SONUÇLAR

İncelenen 22 meteorolojik hadisenin bazılarının uzaktan algılama verileri kullanılarak önceden tahmin veya tespit edilebilir olduğu kanaatine ulaşılmıştır. Toplam 19 adet rüyet azalması hadisesinin 9 tanesinin belirli sürelerde önceden tespit edilebilir olduğu düşünülmektedir. İncelenen toplam 3 adet konvektif fırtına hadisesinin ise 3 ünün de uydu, radar ve YTTS verilerinden biri veya bir kaçı kullanılarak önceden tespit edilebilir olduğu kanaatine ulaşılmıştır.



Şekil 8: İncelenen rüyet azalması hadiselerinin tespit edilebilirlik oranı.

Özellikle kış aylarında bulutluluğun fazla olması sebebiyle, alçak seviyedeki sis tabakası veya stratus bulutlarının uydu tarafından görülebilme ihtimali azalmaktadır.

Çalışma esnasında rüyet azalması hadiselerinin çoğunluğunun sabah güneş doğumuna yakın saatlerde veya akşam gün batımına yakın saatlerde olması sebebiyle, sadece gündüz veya sadece gece kullanılan RGB kompozit görüntülerinin etkin kullanımı bu saatlerde mümkün olmadığı bir kez daha görülmüştür. Bununla birlikte, asıl amacı toz fırtınalarının tespiti olan ve 24 saat boyunca kullanılabilen "Dust / Toz Fırtınası" RGB kompozit görüntüsünün gün doğum ve batım saatlerinde sis tabakası veya stratus bulutu tespiti için kullanılabilir bir alternatif olduğu görülmüştür.

İncelenen konvektif fırtına hadiselerinde, uydu görüntülerinin radar görüntüsü ve YTTS verilerine oranla daha önceden tespit ve uyarı imkanı sağladığı düşünülmektedir. Radar ürünlerinde ise, MAX ürününün, PPI ürününe kıyasla daha etkin bir tespit ve uyarı imkanı sağladığı kanaatine ulaşılmıştır.

Çalışmada ilgili meteorolojik hadiselerin uzaktan algılama verileri ile önceden tespit edilebilirliği incelenmiş olmakla birlikte, bu hadiselerin bu verilerle tespitinin operasyonel bir hava tahmini ofisinde ve belirli bir iş yoğunluğu altında aynı oranda gerçekleşmesinin her zaman mümkün

olmayacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte, yerel coğrafi ve meteorolojik şartlara dair bilgi ve tecrübelerin, piksellerin görülebildiği oranda büyütülmüş RGB görüntüleriyle birleştirilmesi durumunda benzer ve hatta daha iyi sonuçlar elde edilebileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Uluslararası Sivil Havacılık (ICAO) ve Türkiye Sivil Havacılık Meclisi Sektör Raporu, (21), Ankara, 2011.

[2] **DHMİ**, http://www.dhmi.gov.tr/istatistik.aspx (Erişim Tarihi: 20.11.2013).

[3] **Yüksel, H.,** Sivil Havacılığın Gelişimi Ve Küreselleşme Sürecine Katkıları: Türkiye Örneği. : The Development Of Civil Aviation And Its Contribution To Globalization: The Sample Of Turkey, Visionary E-Journal, 5, (1-20), 2014.

[4] **Schmetz, J., Konig, M., Pili, P., Rota, S., Ratier, A., Tjemkes, S.,** Meteosat Second Generation (MSG): Status after launch, paper presented at 12th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, Am. Meteorol. Soc., Long Beach, Calif., 2003.

[5] **EUMETSAT**, Best practices for RGB compositing of multi-spectral imagery, oiswww.eumetsat.int/~idds/html/doc/best_practices.pdf (Erişim Tarihi: 25.10.2015).

Msg Görüntülerinden NDVI Ürünlerinin Seri ve Paralel Hesaplatılması

Muhammet Ali Pekin, Kahraman Oğuz
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü
Ankara
mapekin@mgm.gov.tr, koguz@mgm.gov.tr

ÖZET

Yeni nesil uydu sistemleri yüksek frekanslı ve çözünürlüklü sensörleri ile büyük miktarda veriler üretmektedir. Yakın zamanda daha güçlü sensörlerin kullanılacağı da bilinmektedir. Bu durum hesaplama işlemleri için daha hızlı bilgisayarlara ihitiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Günümüzde mikroişlemciler çok çekirdekli mimari ile üretilmektedir. Çok çekirdekli yapı, hesaplama işlemlerininin çok daha hızlı yapılmasına imkan tanır. Bunların etkin olarak kullanması uygulamaların paralel programlamasıyla mümkündür. Uydu teknolojisinin bu şekilde ilerlemesi seri programlamanın tamamen ortadan kalkmasına ve paralel programlamanın zorunlu bir hal almasına sebep de olabilir. Bu çalışmada NDVI ürünlerini hesaplayan seri ve paralel programlama teknikleriyle geliştirilmiş iki fonksiyon barındıran bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama farklı sayıda MSG uydu görüntüsüyle çalıştırılarak hesaplanma süreleri kayıt ettirildi. Bu şekilde fonksiyonların performansları ortaya konulmuşdur. İkinci aşamada ise bu hesaplama süresi verisinin eğiminin denklemi çıkarılmışdır. Denklem yardımıyla çok daha fazla sayıda uydu görüntüsünden NDVI ürünlerinin ne kadar sürede hesaplanacağı tahmin edilmiş ve bu şekilde seri ve paralel programlamanın avantajları ve dezavantajları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler — paralel hesaplama; uydu; NDVI; MSG.

1 GİRİŞ

1.1 Paralel Programlama

Paralellik ile ilgili ilk fikirler, 1958'de IBM araştırmalarında nümerik hesaplamaların yapılabileceği fikrini ortaya atan John Cocke ve Daniel Slotnick ile ortaya çıkmıştır.

- 1960'a gelindiğinde Novosibirsk Matematik Enstitüsünden (IMN) E. V. Yevreinov'un birbirine bağlantılı şekilde programlanabilen paralel mimarileri tasarlamasıyla paralel kavramı yeni bir boyut kazandı.
- 1964'de ise Daniel Slotnick Lawrence Livermore National Laboratuarlarında kullanılmak üzere büyük-paralel makineleri geliştirdi.
- 1967'de Gene Amdahl ve Daniel Slotnick AFIPS Konferansında paralel işlemlerin olasılığıyla ilgili bir makale yayımladılar. Bu paralellik ile ilgili olan tartışma konusu daha sonra "Amdahl Kanunu" olarak adlandırıldı.
- 1983'te Goodyear Aerospace NASA Goddard için Massively Paralel Processor (MPP) geliştirdi.
- 1985'te David Gelernter Linda paralel programlama sisteminin temellerini ortaya koydu.
- 1986'da Parallel Virtual Machine (PVM) projesi dağıtık bilgisayarlarda gerekli olan yazılımların kullanılabilmesi için geliştirildi.
- 1993'te IBM, RISC RS/6000 işlemcisine dayalı ilk SP1 Powerparallel sistemi piyasaya sürdü [1]

"Paralel" olarak kodlanmış bir programda eğer paralel komutlar doğru şekilde ve doğru yerlerde kullanılmışlarsa program işlemleri istenilen sayıda çekirdekte veya çekirdeklerin tümünde eş zamanlı olarak icra ederek (paralel hesaplama yaparak) sonucu, seri yapılan bir hesaplamaya göre daha hızlı bir şekilde elde edebilir[2]. Paralel programlamada aynen seri programlamada olduğu gibi çeşitli algoritma teknikleri vardır. Bu teknikler karşılaşılan problemin durumuna göre farklılıklar gösterir. Bu algoritma tekniklerinden en çok kullanılanı ve bilineni böl ve yönet, paralel işaretçi teknikleri ve rastgeleleştirme algoritmalarıdır[1].

1.2 MSG Uyduları

Günümüzde meteorolojik uydular dünyanın her tarafından veriler sağlamaktadır. Bu uydular yardımıyla tropikal fırtına ve kuvvetli hava olaylarının tamamı gözlemlenebilinir. Meteosat-8 ile başlayan ikinci nesil Meteosat uyduları (Meteosat Second Generation)(MSG) oldukça etkili iki cihaz taşımaktadır. İlk seri Meteosat uydularında (Meteosat First Generation) (MFG) yer alan cihazın gelişmiş bir versiyonu olan Dönen Gelişmiş Görünür ve Kızılötesi Görüntüleyici (Spinning Enhanced Visible And Infrared Imager) (SEVIRI) 12 spektral kanalda, 15 dakikalık

aralıklarla, 3 km çözünürlüklü, gece ve gündüz boyunca veriler sağlar ve MSG'nin en önemli görevini yerine getirir. Buna ek olarak, MSG çok gelişmiş deneysel bir cihaz olan Sabit Yörüngeli Dünya Radyasyon Bütçesi (Geostationary Earth Radiation Budget) (GERB) cihazını taşımaktadır. İkinci cihaz olan GERB deneysel bir görev olarak iklim çalışmaları amacıyla eklenmiştir[3]. Bu uydular sağladıkları verilerle kuvvetli hava olaylarının anlık tahmininin yapılarak maddi ve insani kayıpların önüne geçme imkanı tanır. Ayrıca bitki örtüsü ve orman yangınları gibi gözlemler de yapılmaktadır. MSG verileri büyük ölçekli ve aynı zamanda paralel programlama mantığına da son derece uygundur.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi(NDVI) Algoritması

Bitki örtüsü indeksi, bitki örtüsünün yakın kızılötesi ve görünür kırmızı bantlardaki farklı yansımaya dayanmaktadır. Sağlıklı bitki örtüsü, görünür ışığı soğurup yakın kızılötesi ışının büyük bir bölümünü yansıtır. Hastalıklı/sağlıksız bitki örtüsü ise görünür ışığı daha az soğurup yakın kızılötesi ışınları da daha az yansıtır. Görünür bantlardaki yansıma bitki yapraklardaki pigmentlere, yakın kızılötesi bölgesinde ise bitki hücre yapısına bağlıdır [4]. En çok kullanılan bitki örtüsü indeksi ise Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi(NDVI)'dir. NDVI algoritması; NIR 0.81μm ve VIS 0.64μm kanal farklarını esas alan basit bir formüldür [5].

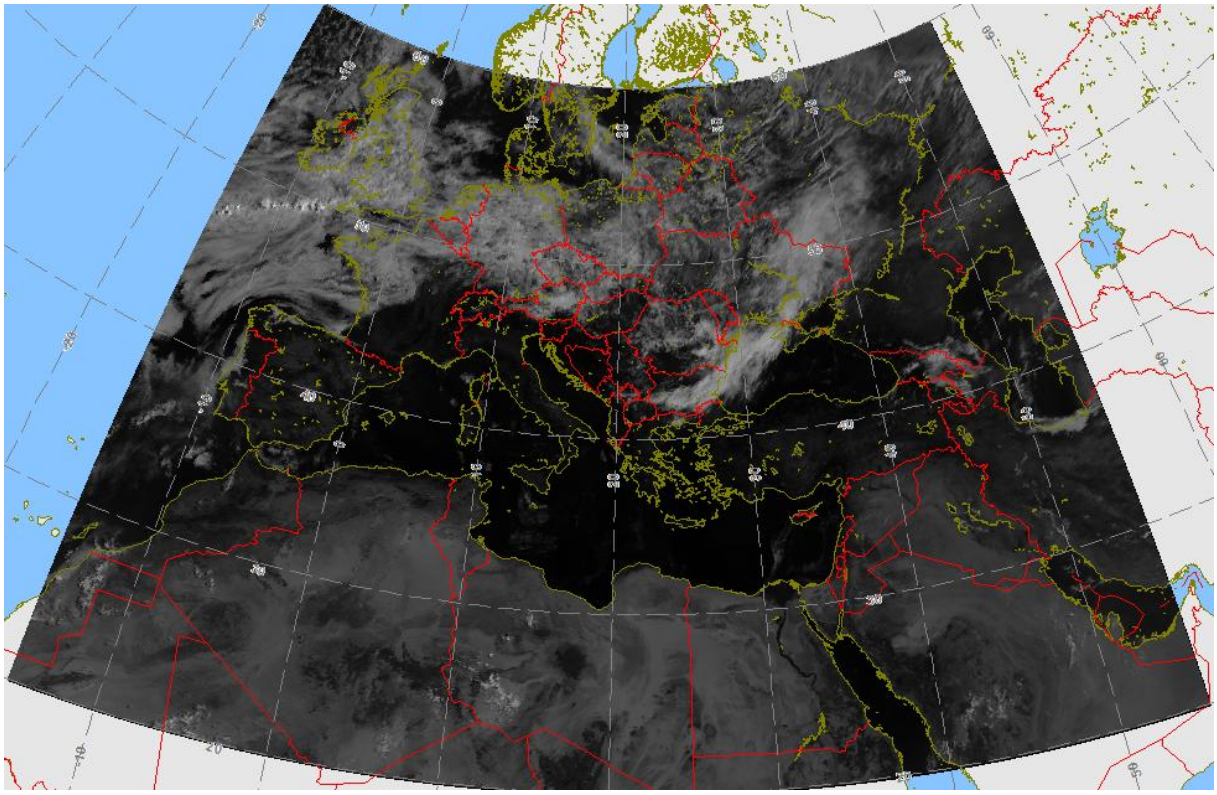
$$NDVI = \frac{(R_{nir} - R_{vis})}{(R_{nir} + R_{vis})}$$

"…Burada Rnir; Yakın kızılötesi yansımayı (0.81 μm) ve Rvis; görünür yansımayı (0.64 μm) göstermektedir…"

Sonuçlar bitki örtüsünün bulunduğu alanın durumuna göre -1 ve +1 değerleri arasında bir değer gösterir. Örneğin, eğer elde edilen değer 0,1 veya daha düşükse kayalık alana; 0,2 ile 0,3 arasında ise çayır veya çimene; 0,6 ile 0,8 arasında ise sağlıklı bitki örtüsüne karşılık gelmektedir [4].

2.2.Çalışma Alanı

Çalışmada Meteosat-10 uydusundan alınmış, rastgele seçilmiş 25 farklı zamana ait, 1113*1948 grid yapısında ve hdf5 dosya formatında görüntüler kullanıldı. Şekil 1' de çalışmada kullanılan domain alanı gösterilmiştir.



Şekil 1: Çalışama kullanılan domain alanı

Kullanılan kanallar ve spectral özellikleri tablo 1' de özetlenmiştir.

Tablo 1: Kullanılan kanallar ve spectral özellikleri.

	Kanal	Min.	Avg.	Maks.	
1	VIS0.6	0.635	0.56	0.71	R_{vis}
2	VIS0.8	0.81	0.74	0.88	R_{nir}

2.3.Kullanılan Yazılım

Uygulama C#.NET ile geliştirildi. C#.NET, Microsoft tarafından 2000 yılında piyasaya sürülmüştür ve günümüzde yaygın olarak kullanılan orta seviyeli programlama dillerindendir[6].

2.4. Kullanılan Bilgisayar

Geliştirilmiş uygulama, Intel core i5-4440 işlemcisine ve 4 GB belleğe sahip masaüstü bilgisayarda çalıştırıldı. Intel core i5-4440, 3,1 GHZ (3,3 GHZ Turbo) frekans hızında çalışan, gerçek 4 çekirdekli, içerisinde 22nm boyutlarında 1,4 milyar transistör ve 6 MB önbellek

barındıran bir mikro işlemcidir. Intel firması tarafından 2013' ün 3. Çeyreğinde piyasaya sürülmüştür[7].

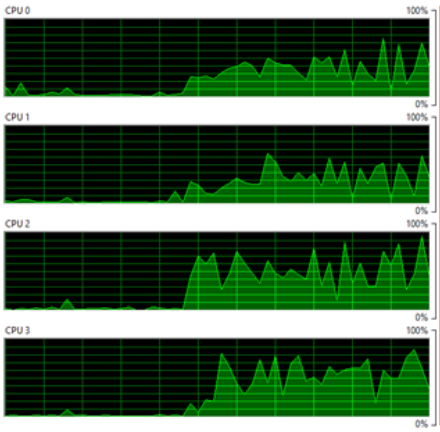
3. UYGULAMA

Uygulama geliştirilirken 4 fonksiyon ve bir ana fonksiyon yazıldı. Fonksiyonlar ana fonksiyonun içerisinde çalıştırıldı. Şekil 2'da ana fonksiyon gösterilmiştir.

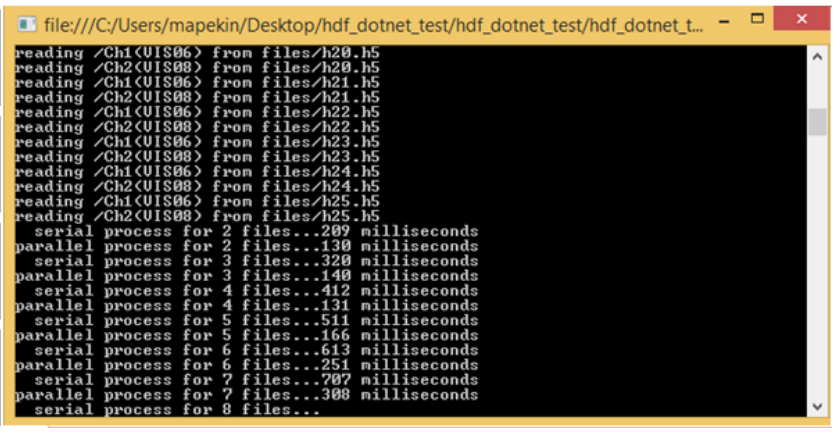
```
static void Main(string[] args)
{
    //////***************author:muhammet ali pekin-04.06.2015***************//////
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    ////////////////////////////////variables & options////////////////////////////////
    int filenum = 80;
    int latlength=1113;
    int lonlength = 1948;
    string myhdf5files = "files/h";
    string chnir = "/Ch1(VIS06)";
    string chvis = "/Ch2(VIS08)";
    int[,,] readDataBacknir = new int[filenum, latlength, lonlength];
    int[,,] readDataBackvis = new int[filenum, latlength, lonlength];
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    ////////////////////////////read hdf & insert array////////////////////////////
    for (int fid = 1; fid <= filenum; fid++)
    {
        string hdf = myhdf5files+fid+".h5";
        readDataBacknir = myarrinserter(readDataBacknir, hdfreader(hdf, chnir, latlength, lonlength), fid - 1, latlength, lonlength);
        readDataBackvis = myarrinserter(readDataBackvis, hdfreader(hdf, chvis, latlength, lonlength), fid - 1, latlength, lonlength);
    }
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    ////////////ndvi calculation(serial & parallel) & write results//////////////
   StreamWriter mywriter=new StreamWriter("myresults.csv");
   mywriter.WriteLine("no;serial(t);parallel(t);total_files;total_for;control(serial);control(parallel)");
   for (int testnum = 2; testnum <= filenum; testnum++)
   {
       long[] tmps = myserialndvi(readDataBacknir, readDataBackvis, testnum, latlength, lonlength);
       long[] tmpp = myparallelndvi(readDataBacknir, readDataBackvis, testnum, latlength, lonlength);
       mywriter.WriteLine(testnum-1 + ";" + tmps[0] + ";" + tmpp[0] + ";" +testnum+";"+ testnum * latlength * lonlength + ";" + tmps[1] + ";" + tmpp[1]);
   }
   mywriter.Close();
   Console.Write("press Enter to quit......");
   Console.Read();
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
}
```

Şekil 2: Ana fonksiyon.

"…Burada hdfreader; hdf5 dosyaları okuyan fonksiyonu, myarrinserter; hesaplamada kullanılan dizileri oluşturan fonksiyonu, myserialndvi; seri hesaplama işlemi yapan ve çalışma süresini ve kontrol değişkenini döndüren fonksiyonu ve myparallelndvi; paralel hesaplama işlemi yapan ve çalışma süresini ve kontrol değişkenini döndüren fonksiyonu göstermektedir…"
Uygulamadan elde edilen sonuçlar result dosyasına kayıt ettirildi. Uygulamanın çalışması esnasında çekirdeklerin tepkileri Şekil 3'de ve ekrandaki görüntü Şekil 4' de gösterildi.



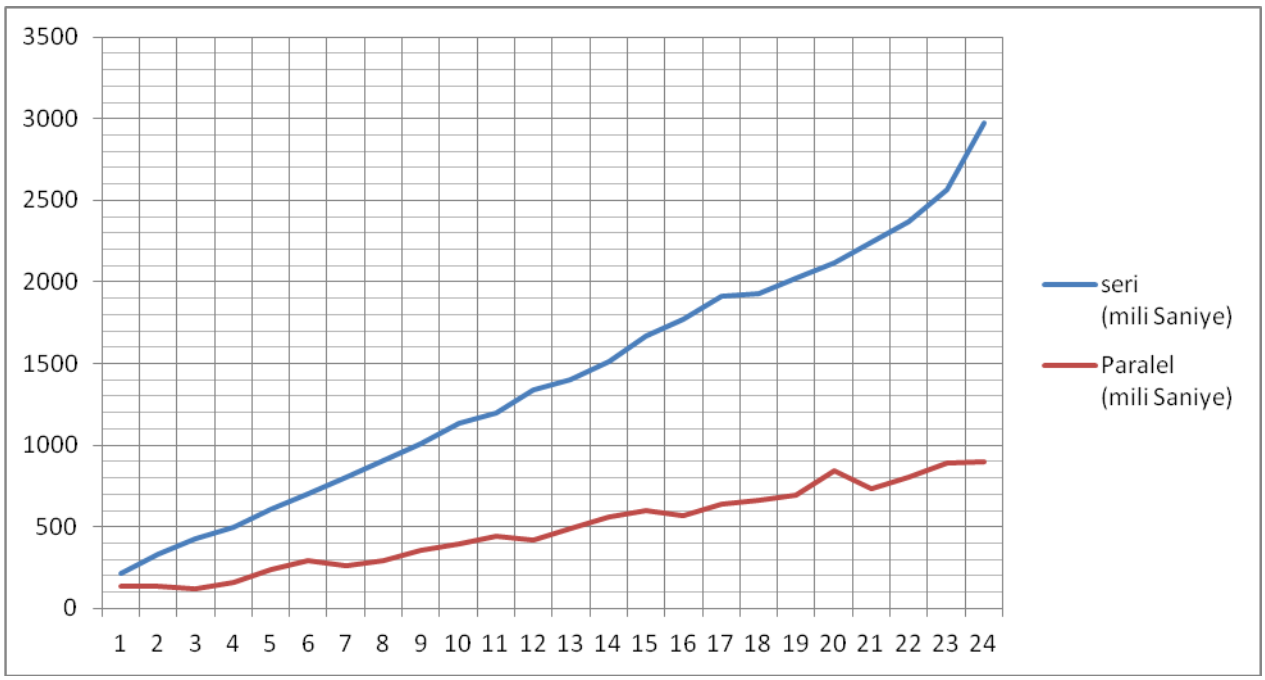
Şekil 3: Çekirdeklerin tepkileri.



Şekil 4: Ekrandaki görüntü.

4. SONUÇ ve TARTIŞMA

Şekil 5'de fonksiyonların performansları gösterilmiştir.



Şekil 5: Fonksiyonların performansı.

Grafikten de anlaşılacağı üzere paralel programlanmış fonksiyon seri olandan daha hızlı işlem yapmaktadır. Deneyde kullanılan uydu görüntüsü sayısı arttıkça bu fark daha bariz görülmektedir. 25 tane uydu görüntüsünden yapılmış son deneyde paralel fonksiyon seriye göre 3 kattan biraz daha hızlı işlem yapmıştır. Seri programlanmış fonksiyondan elde edilen zaman verisine en uyumlu doğrunun denklemi $R^2 = 0,98$ korelasyonla $y = 107,52x + 58,989$ denklemidir. Paralel

programlanmış fonksiyondan elde edilen zaman verisine en uyumlu doğrunun denklemi ise R^2 = 0,98 korelasyonla y = 35,112x + 45,812 denklemidir.

"…Burada x; kullanılan görüntü sayısını göstermektedir…"

Çok daha fazla uydu görüntüsünün kullanılması durumunda hesaplama işleminin ne kadar süre alacağı tablo 2'da gösterilmiştir.

Tablo 2: Tahmini hesaplama süreleri.

Görüntü Sayısı	Seri	Paralel	Birimi
10	1,0	0,4	saniye
25	3,0	0,9	saniye
50	5,4	1,8	saniye
100	10,8	3,6	saniye
150	16,2	5,3	saniye
200	21,6	7,1	saniye
500	53,8	17,6	saniye
1000	107,6	35,2	saniye
2000	3,6	1,2	dakika
3000	5,4	1,8	dakika
4000	7,2	2,3	dakika
5000	9,0	2,9	dakika
10000	17,9	5,9	dakika
20000	35,8	11,7	dakika
50000	1,5	0,5	saat
100000	3,0	1,0	saat

Tabloda 10 ve 25 görüntü sayısı ile alınan değerler deneyden alınmış gerçek değerlerdir. Geri kalan kısım ise eğim denklemlerinden elde edilmiş tahmini sürelerdir. 50000 görüntüden itibaren seri programlanmış fonksiyon bir saati aşan sürelerde hesaplama yapacağı tahmin edilmektedir. Paralel programlanmış fonksiyon için ise 100000 görüntüden itibaren sürenin bir saati aşacağı tahmin edilmektedir. Bu donanım ve veri yapısında paralel programlanmış yazılım oldukça avantajlıdır.

KAYNAKLAR

[1] **Ercan U., Akar H., Koçer A.,** *Paralel Programlamada Kullanılan Temel Algoritmalar*, Akademik Bilişim, Antalya, 2013.

[2] **Akçay M., Erdem H. A.,** *Intel Parallel Studio ile Paralel Hesaplama*, Akademik Bilişim, Antalya, 2013.

[3] http://www.eumetsat.int, *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*, Son Kontrol: 09.10.2015.

[4] **Tunay M., Ateşoğlu A.,** *Çok Zamanlı Uydu Görüntüleri ile Amasrave Yakın Çevresine Ait Bitki Örtüsü Değişim Analizi*, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, (71-80), Bartın, 2008.

[5] **Myneni R. B., Hall F. G., Sellers P. J., Marshak A.L.,** *The interpretation of spectral vegetation indexes,* IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, (VOL.33 481-486), IEEE, 1995.

[6] http://www.microsoft.com, *Micrososft*, Son Kontrol: 09.10.2015

[7] http://www.intel.com, *Intel Corporation*, Son Kontrol: 09.10.2015.

Meteoroloji Radarı ile Yıldırım Tespit ve Takip Sistem Çıktılarından Meteorolojik Uyarı Üretimi

Sinan ÇEVİK, Murat GÜLER, Ömer Faruk KAYA, İsmail TOPCAN
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğü
Antalya
scevik@mgm.gov.tr, mguler@mgm.gov.tr, ofarukkaya@mgm.gov.tr, itopcan@mgm.gov.tr

ÖZET

Çalışmanın Amacı oraj ve dolu tahminleri için havaalanı meteoroloji ofisleri tarafından hazırlanan "Meydan İhbarlarının" radar ve yıldırım tespit sistemi ürünleri birlikte kullanılarak erken uyarı sistemi geliştirebilmektir. Bu bağlamda Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan Antalya, Gazipaşa, Dalaman, Milas – Bodrum, Imsık, Süleyman Demirel Havaalanları ile Antalya – Saklıkent TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi ve Fethiye – Saklıkent merkezlerinde olmak üzere 40km.x40km. genişliğindeki alanlarda erken uyarı yapılması için çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarda IRIS Radar yazılımında oluşturulan alarm sahaları, çeşitli dBz değerlerinde alarmlar hazırlanarak, yıldırım tespit sistemi ile karşılaştırılıp uyarılar düzenlenmesi sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler — Pasif Uzaktan Algılama, Radar, IRIS, Yıldırım Tespit Sistemleri

1. GİRİŞ

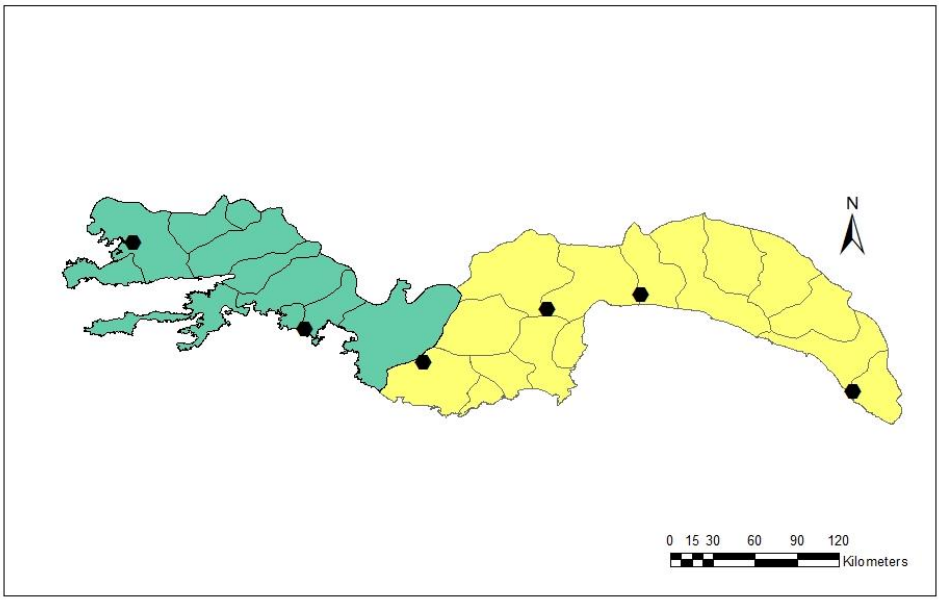
Kuvvetli yağış ve dolu, meteorolojik şartlar açısında uçuculuğu etkileyen en önemli hava olaylarındandır. Meydan yetkililerinin gerekli tedbirleri zamanında alabilmeleri sağlamak için havaalanındaki bazı hizmetleri ve park eden uçakları olumsuz yönde etkileyebilecek meteorolojik olaylar hakkında bilgi vermek amacıyla “Meydan İhbaları” hazırlanmaktadır. [1] Tespit edilen meteorlojik olaylar hakkında ilgili kişilere uyarmak ciddi önem arz etmektedir. Yapılan çalışma Havalimanı Meteoroloji Ofislerinde ve Bölgesel Uyarı ve Tahmin Merkezlerinde kurulu bulunan Radar yazılımı (IRIS) ve Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi (YTTS) kullanılarak erken uyarı sistemi geliştirmek amacıyla hazırlanmıştır. [2-5]

Bu bağlamda Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Antalya, Gazipaşa, Dalaman, Milas – Bodrum Havaalanları ile Antalya Saklıkent te bulunan TÜBİTAK Ulusal Gözlem Evi ve civarı, Muğla Seydikemer Saklıkent Kanyonu gezinti alanı belirlenmiştir.

Belirlenen alanlarda IRIS yazılımı ile 40kmx40km genişliğindeki sahalar "Alarm Alanları" olarak belirlenmiştir. Alarm bilgileri radar tarafından toplanan değerler için 35 – 40 dBz (dolu sınırı) olarak baz alınmış ve uyarıların çalışması amaçlanmıştır. Verilerde Antalya, Gözlemevi ve Gazipaşa için Antalya Radarı, Dalaman, Milas – Bodrum ve Saklıkent Kanyonu için Muğla radarı değerleri baz alınmıştır.[4]

Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi kullanılarak aynı alarm alanları belirlenerek; alarm sisteminin koordineli biçimde çalışması amaçlanmıştır. [6]

2. ÇALIŞMA ALANI



Şekil 2: Çalışma Alanı Olarak seçilen noktalar

Çalışma Alanı olarak Antalya ve Muğla İl sınırları içerisinde kalan Antalya, Gazipaşa, Dalaman, Milas – Bodrum Havaalanları ile Antalya Saklıkent te bulunan TÜBİTAK Ulusal Gözlem Evi ve civarı, Muğla Seydikemer Saklıkent Kanyonu gezinti alanı seçilmiştir. Saklıkent Kanyonu ve TÜBİTAK Gözlemevinin bulunduğu alanlar ani taşkın ve yıldırımlara oldukça hassas alanlar olmaları nedeniyle seçilmiştir.

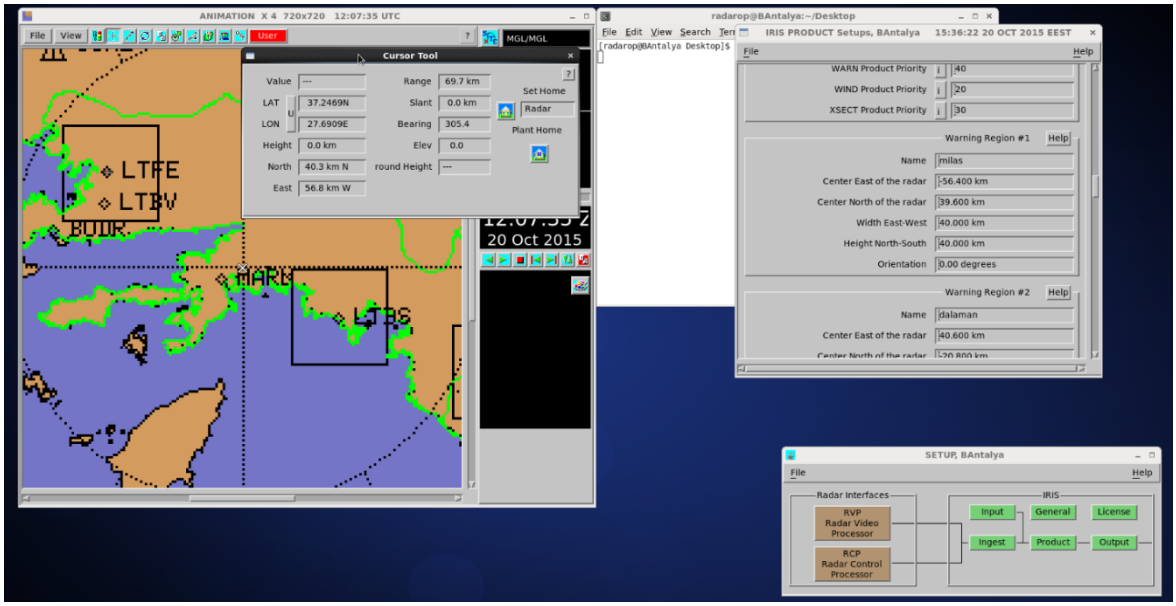
3. MATERYAL

Çalışmada kullanılan veriler IRIS Radar Ağı üzerinde yer alan Antalya ve Muğla Radarları tarafından ölçülen verilerdir. Radar tarafından üretilen PPI (Plan Position Indıcator) görüntüleri üzerinden alarm sahaları için gerekli olan veriler derlenmiştir. Ayrıca Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi ile de koordineli aynı alarm sahaları belirlenmiştir.[4-6]

PPI değerlerin yağış eşiği olarak 30 dBZ değeri tespit edilmiştir. YTTS de ise eşik değeri olarak 10 dakika tespit edilmiştir. [4-6]

4. YÖNTEM

Öncelikle alarm sahaları için belirlenen koordinatlar merkez noktalar alınmıştır. Kullanılacak verinin radar merkezlerine göre seçileceğinden 3 nokta Antalya Radarına, diğer 3 nokta ise Muğla Radarına olan mesafelerine göre hazırlanmıştır..[3]

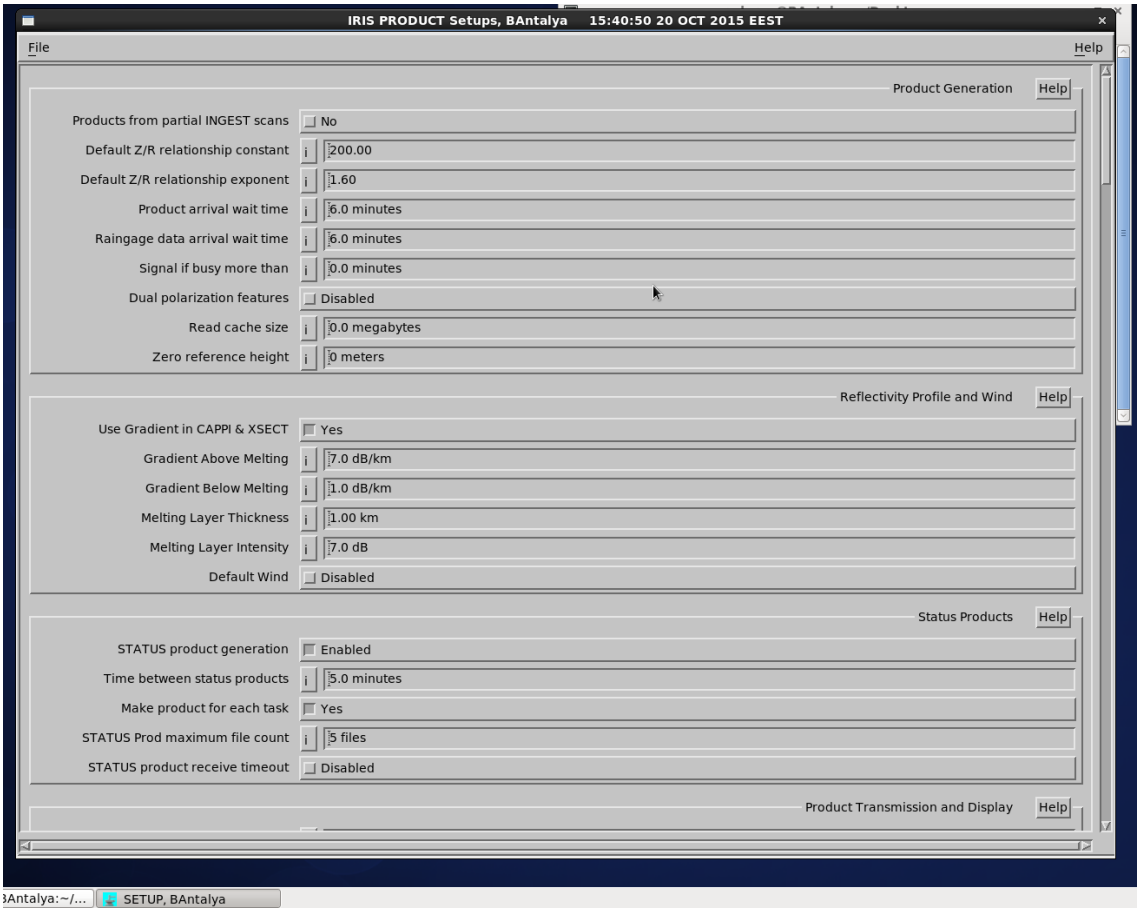


Şekil 3: Alarm Sahalarının Belirlenmesi İçin Kullanılan Ara yüz

4.1. Alarm Sahalarının Belirlenmesi

Alarm sahalarının merkezlerinin radar noktasına göre olan koordinatları IRIS yazılımında yer alan "cursor tool" kullanılarak belirlenmiştir.

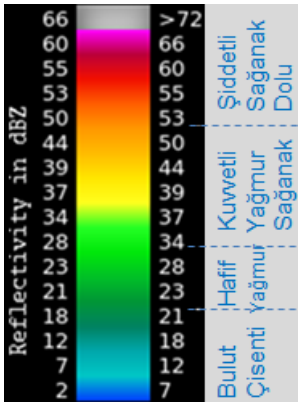
“Setup” komutu ile açılan pencerede “product” butonu ile açılan “Product Setup” ile alarm sahaları için isim verildi. Radar merkezine göre doğu ve kuzey uzaklıkları girildi, saha koordinat noktası radara göre güney ve batıda ise değerler negatif olarak girildi, doğu – batı ve kuzey – güney mesafeleri 40 km. olarak girilerek 40kmx40km lik bir alan belirlendi. “Setup” ana penceresinden dosya “file” menüsü ile kayıt edildi. [2-3]



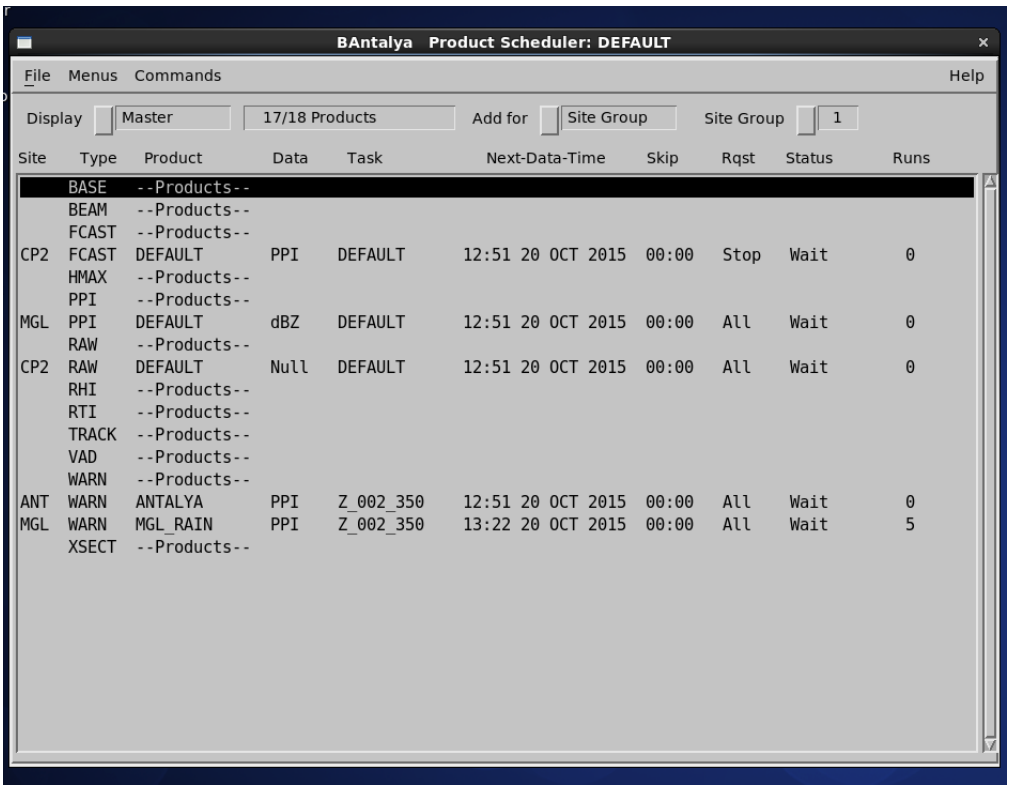
Şekil 4: Setup Ekranı

4.2. Alarm Ürünlerinin Hazırlanması

Alarm ürünleri için PPI (Plan Position Indicator) verisi olan “PPI Z_002_370” seçilmiştir. VAISALA “System Status” programı aracılığıyla “Product Schedule” kısayolu ile alarm alanlarında gösterilecek radar ürünleri ayarlandı. Eşik değeri olarak 30dBZ seçildi. [2-3]



Şekil 5: Lejant

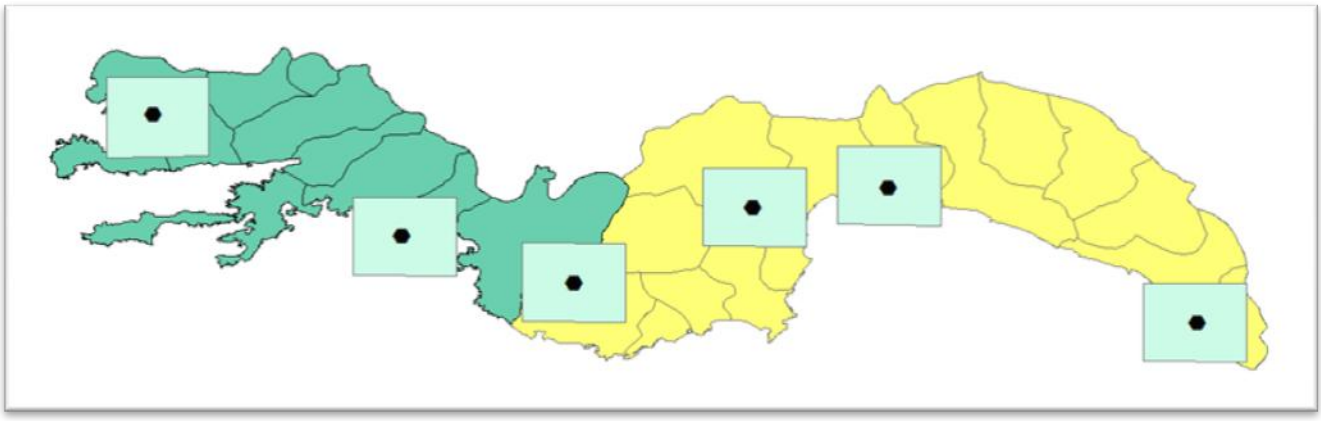


Şekil 6: Ürün Düzenleme Ekranı

4.3. Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi

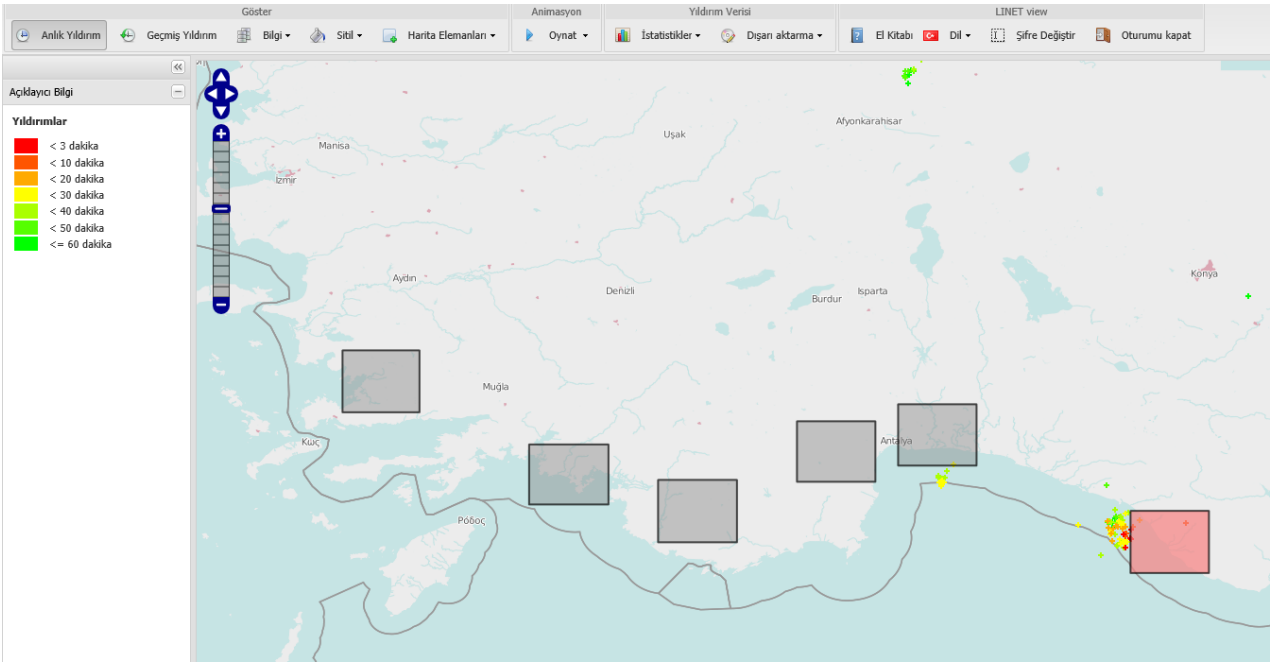
Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi gerçek zamanlı yıldırım verilerini harita üzerinde gösteren CBS tabanlı bir yazılım olan LINETview ile çalışmaktadır. İnternet uygulaması güncel ve geçmiş veri gösterimini sağlar. 10 dakikalık adımlarla gök gürültüsü hücre hareketlerini takip eder. Oraj aktivitelerini takip etmek alarm bölgeleri kurulmasına imkân sağlar. [5]

Çalışma amacıyla radar için üretilen alarm sahalarının aynıları LINETview yazılımında oluşturulmuştur. Alarm bölgeleri oluşturulurken, radar için hazırlanan alarm bölgeleri koordinatları QGIS Desktop 2.6.1 ile hazırlanarak shape (*.shp) dosyası olarak altlık verisi olarak hazırlanmıştır.



Şekil 7: QGIS Desktop 2.6.1 ile hazırlanan altlık verisi

Altlık verisi yazılımda eklenerek alarm alanları oluşturuldu. Oluşturan alanlarda 10 dk. aralıkla veri takibi yapılmaya başlandı.



Şekil 8 YTTS Alarm Sahaları Ekran Görüntüsü

5. SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucunda; oluşturulan alarm ürünlerinin kullanılan eşik değerleri ile YTTS sisteminde görülen oraj sıklıklarının tutarlı olduğu görüldü. Bu sayede kısa ve etkin sürede hazırlanacak meteorolojik uyarıların kullanıcılara daha iyi şekilde sunulması sağlanacağı düşünülmektedir.

Alarm sisteminin sağlıklı çalışmasının kontrolünü yapmak üzere aşağıda isimleri geçen Otomatik Meteorolojik Gözlem Sistemleri kullanılacaktır. Bu OMGİ ler:

Milas için : Milas, Milas – Denizcilik OMGİ ler,

Dalaman İçin : Ortaca, Dalaman OMGİ ve İblisburnu D-OMGİ

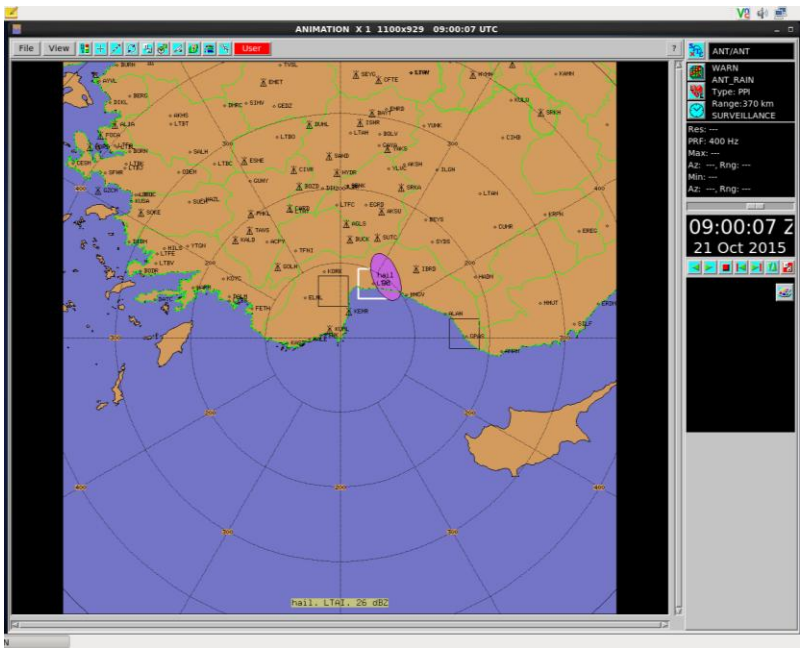
Saklıkent Kanyonu için : Bulanık Yaylası, Kaş – Çavdır, Yaylapalamutu OMGİ

TÜBİTAK Gözlemevi için : Bük, Kumluca – Akdağ Kovucak OMGİ

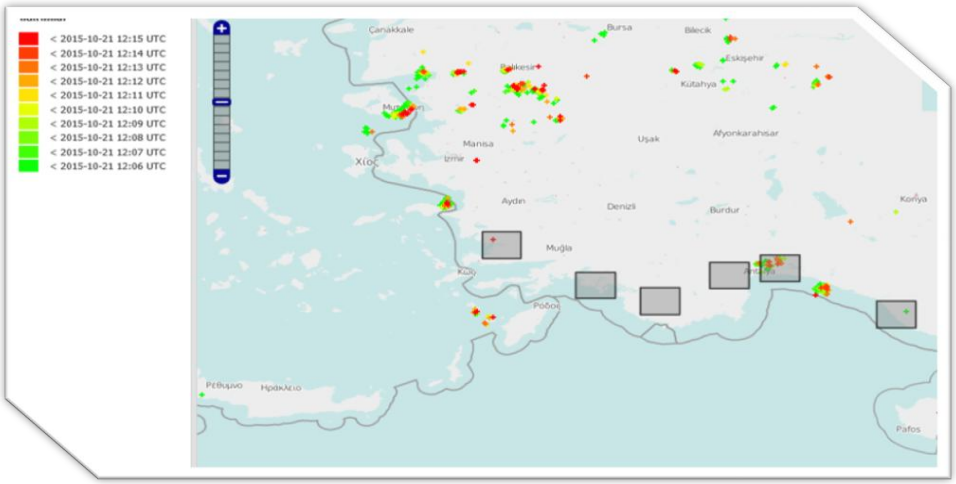
Antalya için : Belek, Serik, Gebiz, Boztepe TİGEM, Antalya Bölge OMGİ

Gazipaşa için : Gazipaşa ve Alanya OMGİ

Aşağıda aynı zaman diliminde oluşan radar görüntüleri ile YTTS sistemi karşılaştırmaları verilmiştir.



Şekil 9: 21 Ekim 2015 09.00 Z Alarm Görüntüsü



Şekil 10: 21 Ekim 2015 09.00 Z YTTS Görüntüsü

KAYNAKLAR

[1] Havacılık Meteorolojisi Kitabı

[2] IRIS User's Manual, 2014

[3] IRIS Product and Display Manual, 2014, (S 106 – 114)

[4] Meteoroloji Genel Müdürlüğü Radar Verileri

[5] Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi Eğitimi Notları, Ankara, 2015

[6] Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi Verileri

YILDIRIM TESPİT VE TAKİP SİSTEM DOĞRULUĞU

Yusuf Salih EROĞLU
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
İşletme ve Bakım Şube Müdürlüğü
Ankara
yeroglu@mgm.gov.tr

Salih ÇAKIL
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Kalibrasyon Şube Müdürlüğü
Ankara
scakil@mgm.gov.tr

ÖZET

Yıldırım Tespit ve Takip Sisteminin (YTTS) de tespit edilin yıldırımın oluştuğu koordinat ve oluşma zamanının, gerçekleşen olaylar üzerinden karşılaştırılarak incelenmiştir. Gerçekleşen yıldırım verilerinin doğruluğu için gazete haberleri, zarar gören sistemler ve zarar gören firmaların bildirimlerinden alınmıştır. Karşılaştırmada üretici firmanın vermiş olduğu sistem değerleri referans olarak alınmıştır.

Anahtar Kelimeler — Yıldırım, YTTS, doğruluk

1 GİRİŞ

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)ünde kurulu bulunan, "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. YTTS ile yıldırım ve şimşeğin yeri, tipi, polaritesi ve sinyal büyüklüğü ile şimşek yüksekliği verileri elde edilebilmektedir.

2 YILDIRIM TESPİT VE TAKİP SİSTEMİNİN (YTTS) YAPISI

Yıldırım tespit ve takip sisteminde kullanılan pasif algılayıcılar (antenler) yıldırım tespit istasyonu olarak adlandırılmaktadır. Sistem iç ve dış donanım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Dış donanımda pasif anten (Şekil 2) ve saha işlemcisi (Şekil 3) bulunur. Bunlar tespit edilen elektriksel olayların aktivitesinden elde ettiği değerleri işlemler yaparak merkeze gönderirler.

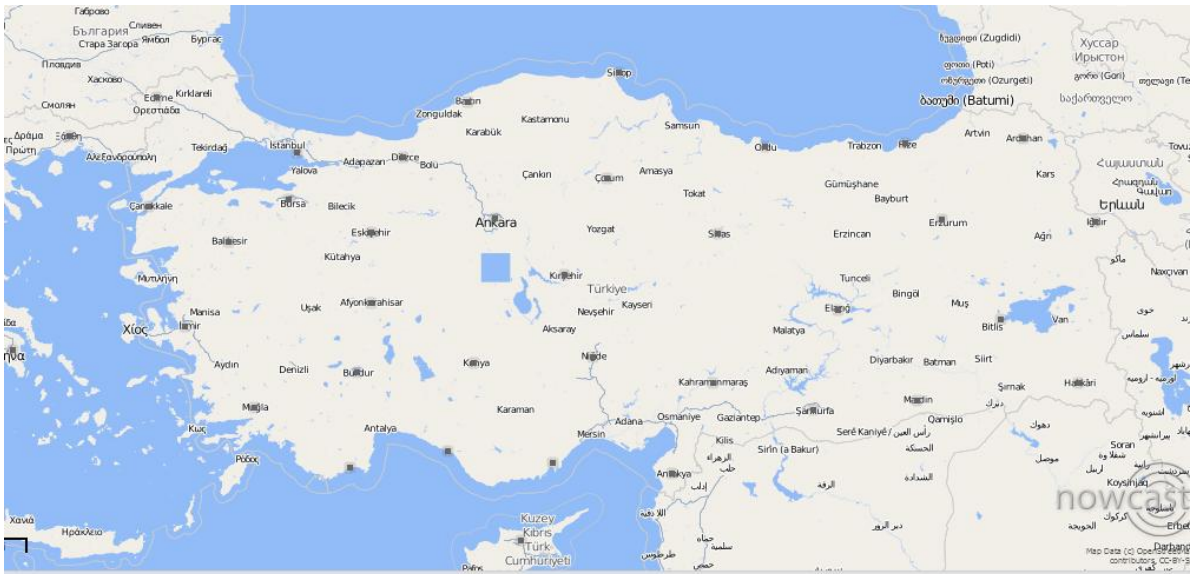


Şekil 2: YTİ anteni



Şekil 3: Saha işlemcisi

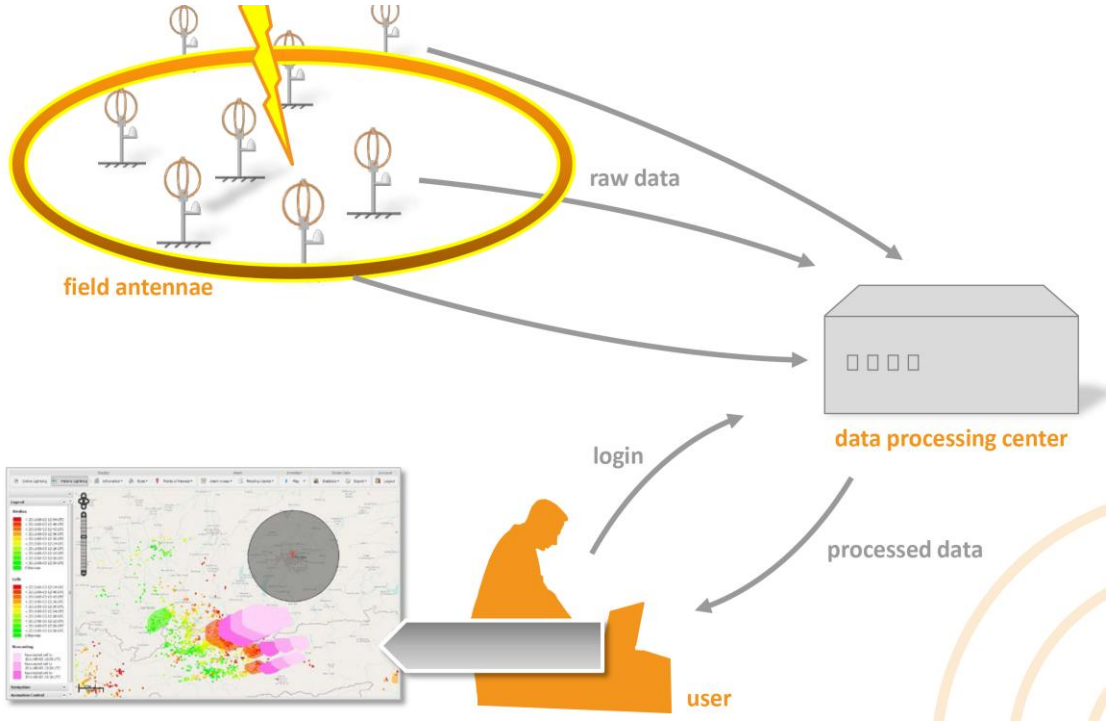
Bu antenlerde Türkiye çapında 34 ve bir adet de KKTC olmak üzere toplam 35 adettir. Bunların konumları aşağıda görülmektedir.



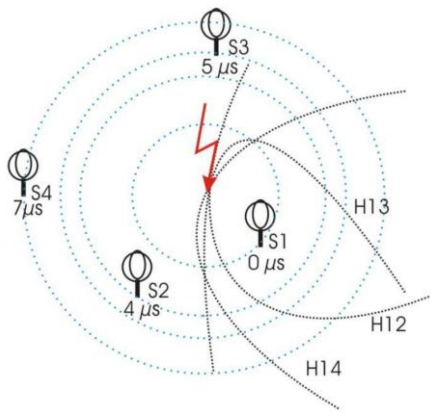
Şekil 4: Yıldırım Tespit İstasyonu (YTİ) kurulum yerleri

3 YILDIRIM TESPİT VE TAKİP SİSTEMİ (YTTS) ÇALIŞMASI

YTTS nin genel iletişim yapılandırması Şekil 4 te gösterilmiştir. Saha işlemcisinden gelen bilgiler bir merkezde toplanarak işlenerek yıldırımların konumunun o antene gelen etkisinin varış zaman yöntemi ile değerlendirilmesi sonucunda yıldırım veya şimşek olaylarının zamanı, şiddeti, konumu hakkında bilgi elde edilir. Bu değerlerin yüksek doğrulukta elde edilebilmesini için aynı hava olayı için en az 5 istasyon bilgisinin değerlendirilmek için merkeze ulaşması gerekmektedir. Gerekli istasyonlardan bilgiler geldiği durumda en az 4 KA den büyük yıldırımları 100 m den daha iyi doğrulukta tespit ettiğini belirtmektedir.



Şekil 5: YTTS genel yapılandırması



Uzun taban çizgili (~100 den 1000 km'ye) ağlar

- LF/VLF 3 ten 300kHz'e
- VLF sinyalleri ↔ iletken yıldırım kanallarındaki akım debisi
- Zemin darbe noktasını / flaşın „ortalama" konumunu belirlemek için kullanılır

Şekil 6: Varış zaman yöntemi

4 SAHA İNCELEMELERİ

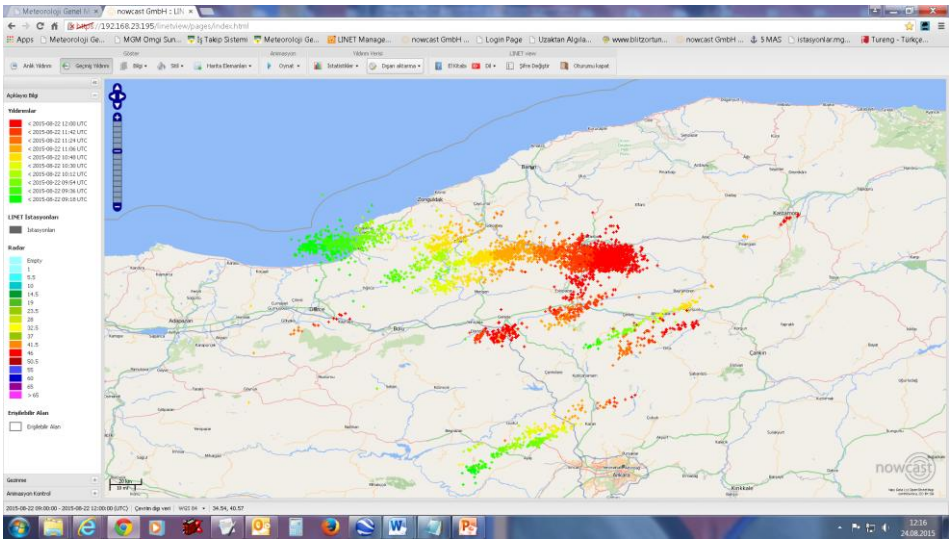
Yapılan araştırmada üretici verileri ile gerçekleşen olayların birbiri ile tutarlı olup olmadığı incelenmiştir. Olaylar yaşanan bölgede can ve mal tahribatı yaptığından dolayı gözlemciler tarafından konum ve zaman bilgileri doğru olarak elde edildiği kabul edilmektedir.

4.1. Zonguldak Radar Sahasında Meydana Tahribatının İncelenmesi

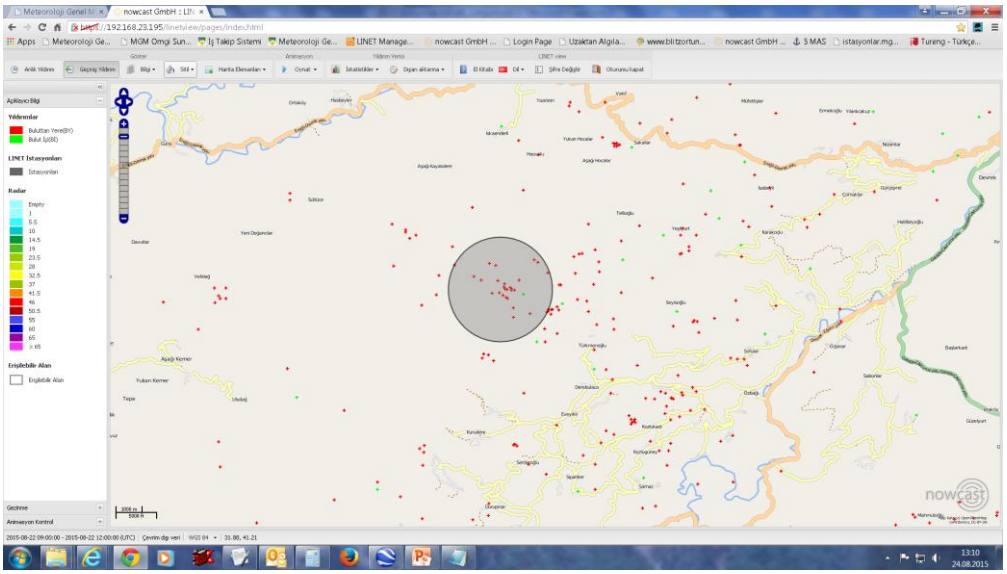
HABER1: Meteoroloji 9. Bölge müdürlüğüne bağlı Zonguldak Radar sahasında 22 ağustos 2015 saat 10.30 (UTC) de yıldırım kaynaklı arıza meydana gelmiştir.

Meydana gelen arızanın sebebi veya sonuçlarından ziyade tahribatın ne zaman ve nerde yapıldığı incelenecektir.

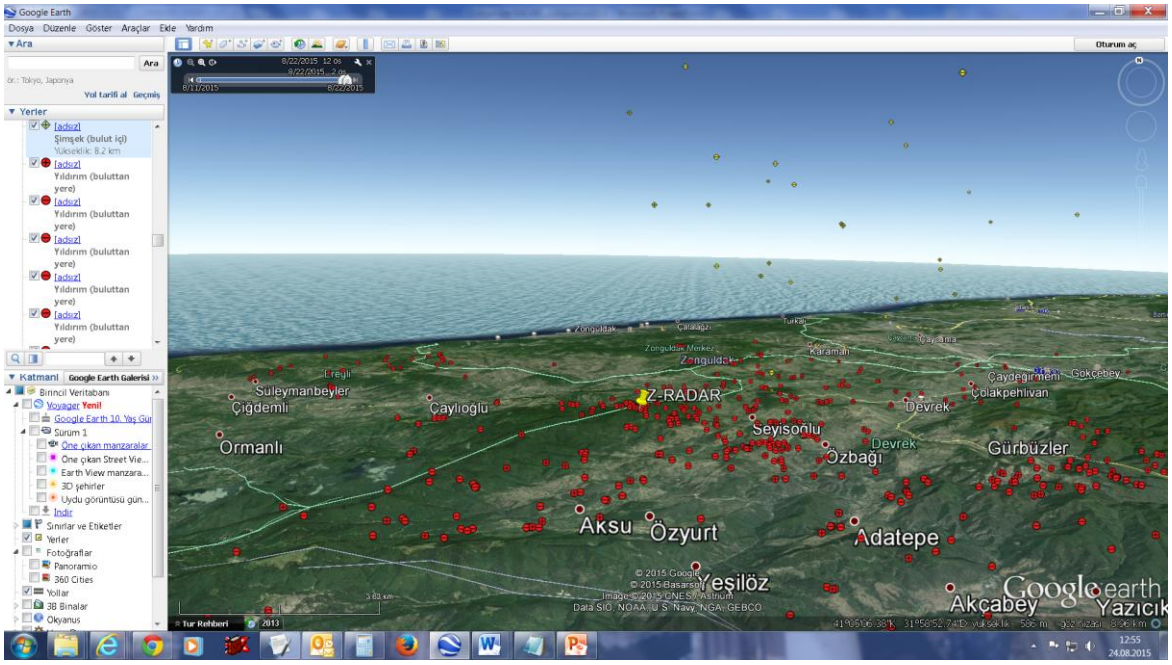
Olay zamanında arızanın olduğu bölgede gerçekleşen yıldırım olayları incelenmiş ve Şekil 7 de ki görüntü elde edilmiştir.



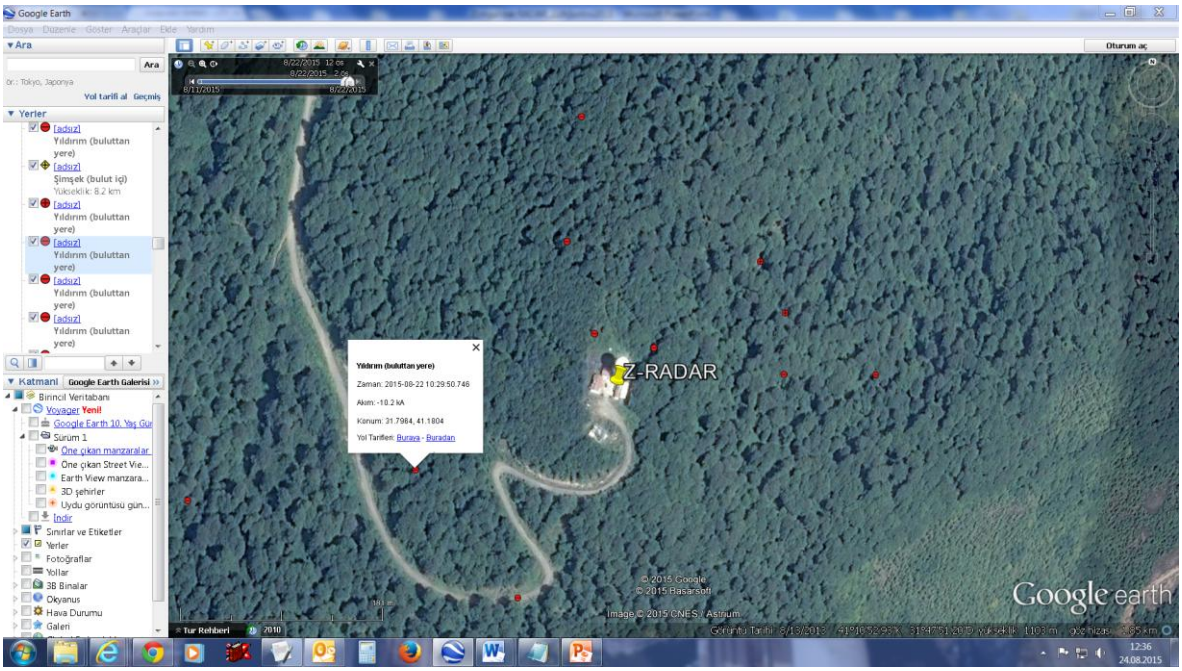
Şekil 7: Zonguldak Radarı üzerinde gerçekleşen yıldırım ve şimşekler.



Şekil 8 : Radar sahası alanında zamana göre meydana gelen elektriksel aktiveler.



Şekil 9: Google Earth görüntüsü



Şekil 10 : *Google Earth görüntüsü*

Daha düşük çözünürlük de radar sahasının ve YTTS de tespit edilen yıldırım olayının konum bilgisi Google Earth üzerinden görülmektedir. Radar sahasında meydana gelen tahribatın bu yıldırım olayı tarafından yapıldığı düşünülmektedir.

Tablo 1: Zonguldak radarının etrafında oluşan elektriksel aktiveler

Tarih ve Zaman	Enlem	Boylam	Yükseklik	1: Yıldırım 2:Şimşek	Akım (kA)	Konum Hatası (m)
20150822 10:24:35.261	+41.1845	+31.8029	00.0	1	008.3	00.085
20150822 10:25:16.919	+41.1817	+31.8003	00.0	1	010.5	00.055
20150822 10:28:48.095	+41.1842	+31.7959	00.0	1	-017.7	00.081
20150822 10:29:03.734	+41.1832	+31.7981	00.0	1	-019.6	00.101
20150822 10:29:50.294	+41.1815	+31.7983	00.0	1	-030.2	00.053
20150822 10:29:50.427	+41.1812	+31.8003	00.0	1	-012.6	00.060
20150822 10:29:50.459	+41.1784	+31.7991	00.0	1	-009.5	00.085
20150822 10:29:50.617	+41.1798	+31.8043	08.2	2	015.3	00.067
20150822 10:29:50.746	+41.1804	+31.7964	00.0	1	-010.2	00.233
20150822 10:29:50.833	+41.1753	+31.8010	00.0	1	-008.6	00.268
20150822 10:29:50.943	+41.1812	+31.8014	00.0	1	-013.1	00.065
20150822 10:29:50.986	+41.1822	+31.7980	00.0	1	-008.6	00.097
20150822 10:29:51.118	+41.1814	+31.7989	00.0	1	-008.0	00.167
20150822 10:30:41.063	+41.1801	+31.7939	00.0	1	-021.1	00.061
20150822 10:31:25.667	+41.1821	+31.8000	00.0	1	010.7	00.091
20150822 10:37:35.729	+41.1794	+31.7975	00.0	1	-012.0	00.076
20150822 10:37:35.811	+41.1788	+31.7986	00.0	1	-016.8	00.064

Yıldırım ve şimşek verilerinin analizi için Şekli 8 de gösterilen alan seçilerek yıldırım ve şimşek olaylarının detayı incelenmiştir. Şekil 9 ve Şekil 10 da radar sahası etrafında oluşan elektriksel aktivelerin yerleri daha detaylı olarak gösterilmiştir. YTTS'den alınan verilerin detaylı bilgileri Tablo 1 de gösterilmiştir.

YTTS sisteminde alınan veride 10.30 da radar sahasında yıldırımın meydana geldiği görülmektedir. Zonguldak radarının koordinatları 41.181111 K - 31.798333 D olarak bilinmektedir. 10:30' da meydana gelen yıldırım olayı da bu koordinatlara 45 m mesafede olduğu görülmektedir. Bu olay bize radarın arızalanma anı ve yıldırımın olayının sahaya düşme zaman dilimlerinin aynı olduğu görülmektedir. Ölçümlerdeki zaman ve konum bilgilerinin doğruluğunu gösteren bir örnektir.

4.2. Atatürk Havalimanında Meydana gelen olayın incelenmesi

HABER 2: 16 Haziran 2015 tarihli gazete haberlerinde Atatürk Havalimanında apronda iki uçağa yıldırım düştüğü ve 2 kişinin yaralandığı haberi yapılmıştır.[3] Atatürk Havalimanda bulunan MGM personeli ile görüşülmüş yıldırımın 15.00 civarında gerçekleştiği belirtilmiştir.

YTTS sisteminde 14.56 ile 15.04 arasındaki bu bölgeye ait veriler incelenmiştir. Şekil 11 ve Şekil 12 deki saha görüntüleri ve Tablo 2' de YTTS elde edilen veriler görülmektedir.



Şekil 11 : Atatürk Havalimanı



Şekil 12 : Aprona düşün yıldırım.

Daha düşük çözünürlük de apron sahasının ve YTTS de tespit edilen verilerin ışığında yıldırım olayının konum bilgisi Google Earth üzerinde karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Hava alanında meydana gelen tahribatın bu yıldırım olayı tarafından yapıldığı düşünülmektedir.

Tablo 2: Atatürk Havalimanına etrafında oluşan elektriksel aktiveler

Tarih ve Zaman	Enlem	Boylam	Yükseklik	1: Yıldırım 2:Şimşek	Akım (kA)	Konum Hatası (m)
20150616 14:56:06.921	+40.9757	+28.8201	00.0	1	-016.4	00.080
20150616 14:56:06.971	+40.9788	+28.8208	00.0	1	-012.0	00.397
20150616 14:56:07.273	+41.0033	+28.8017	00.0	1	-007.2	00.125
20150616 14:59:44.404	+40.9772	+28.8350	00.0	1	-013.9	00.079
20150616 14:59:44.472	+40.9772	+28.8360	00.0	1	-008.1	00.048
20150616 14:59:44.528	+40.9768	+28.8331	00.0	1	-015.8	00.066
20150616 14:59:44.592	+40.9990	+28.8121	00.0	1	-018.5	00.083
20150616 14:59:44.636	+40.9988	+28.8120	00.0	1	-012.1	00.098
20150616 14:59:45.005	+40.9976	+28.8133	00.0	1	-010.1	00.219
20150616 15:02:19.782	+41.0007	+28.8304	00.0	1	010.1	00.045
20150616 15:04:43.469	+40.9942	+28.8268	03.0	2	-022.2	00.061

14.56 da aprona olayın geçtiği belirtilen noktaya 78 m uzaklıkta 16,4 kA büyüklüğünde yıldırım düştüğü tespit edilmiştir. Tespit edilen yıldırımların Google Earth üzerindeki görüntüleri Şekil 10 ve Şekil 11 verilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu yazıda iki adet tahribat yapmış olay yeri ve YTTS verileri detaylı incelenmiştir. Bunların dışında 3 adet daha olay yeri incelemesi olmuştur. Olaylar farklı zaman ve mekânlardaki fabrikalarda gerçekleşmiştir. İlgili firmalardan izin alınamadığından ve veri çözünürlüğünün yüksek olmasından dolayı bu yazıda paylaşılmamıştır.

Yer tespiti ve tespit edilin yıldırımın büyüklükleri bunları tespit eden YTİ sayısına bağlı olduğundan YTTS siteminin anlık veriminin bu iki olayda da iyi olduğu görülmüştür. İncelenen durumlarda yıldırımları tespit eden istasyonların verimi normal ve bir yıldırımı en az 6 istasyon tespit ettiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar neticesinde üretici firmanın katalog değerleri ile gerçekleşen değerler birbirine çok yakındır.

Bu yazıda incelemeye gerekli şartları sağlamadığı için alınmamış olaylarda aynı olay için veri gönderen istasyon sayıların azlığından dolayı hata miktarlarının 300 m ve üzerinde olduğu görülmüştür.

Konum, zaman ve büyüklük tespitleri için en az 5 istasyon gerektiğinden; elde edilen verilerin doğruluğunun yüksek olması için mevcut istasyonların yedeklenmesi ve sayılarının arttırılması gerekliliği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] https://www.nowcast.de/en/lightning-detection-technology/location-accuracy.html

[2] Nowcast MGM Eğitim Kaynakları, Ankara, 2015.

[3] http://www.haberturk.com/gundem/haber/1091716-ataturk-havalimanina-yildirim-dustu

TOMS ve OMI Uydu Türkiye Ozon Verileri (1979-2014) Analizi ve Ankara Brewer Spektrofotometre Ozon Verileri (2007-2014) ile Karşılaştırılması

Mithat Ekici, Osman Eskioğlu, Yılmaz Acar
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Ankara
mekici@mgm.gov.tr, oeskioglu@mgm.gov.tr, yacar@mgm.gov.tr

ÖZET

Ozon, gezegenimizi çevreleyen atmosfer içinde önemli bir iz gaz olarak tanımlanır. Stratosferdeki ozon, güneş ışınlarının zararlı kısmını emme yeteneğine sahiptir. TOMS (Total Ozone Measurement Spectrophotometer) uydu ozon programı, 24 Ekim 1978 tarihinde Nimbus-7 ile başlamış ve 1993 yılına kadar devam etmiştir. Meteor-3 TOMS, 22 Ağustos 1991 tarihinden itibaren ölçüme başlamış ve faaliyetini 24 Kasım 1994 tarihinde sonlandırmıştır. Uydu ozon verilerinde; Kasım 1994 ile Temmuz 1996 yılları arasında yaklaşık 20 aylık ölçümsüz boş dönem yaşanmıştır. Earth Probe uydusu ise 31 Aralık 2005 tarihine kadar faaliyetine devam ettirilmiştir. Aura uydusu üzerine konulan OMI (Ozone Monitoring Instrument) ozon ölçüm cihazı ile 2004 yılı Temmuz ayında ozon ölçümü başlamış ve halen devam etmektedir.

Bu çalışmada, http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/Aura/data-holdings/OMI web sitesinde yayınlanan küresel uydu toplam sütun ozon verisi bir kod ile indirilmiştir. Küresel veri seti içerisinden 1979-2014 (36 yıl) periyoduna ait ve 25° - 45° Doğu Boylamı ile 34° - 42° Kuzey Enlemi aralığındaki Türkiye koordinatlarına ait veriler ayrıştırılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Bu veriler 1° x 1.25° çözünürlüğünde ve Türkiye'yi kapsayan 82 adet grid'den oluşmaktadır. Bu veriler yardımıyla Türkiye'ye ait aylık, mevsimlik ile yıllık toplam ozon eğilim grafiği çizdirilmiş ve Türkiye ozon tabakası durumu analiz edilmiştir. Ayrıca, Ankara'da kurulmuş olan Brewer Spektrofotometre cihazı verileri (2007-2014) ile karşılaştırma yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

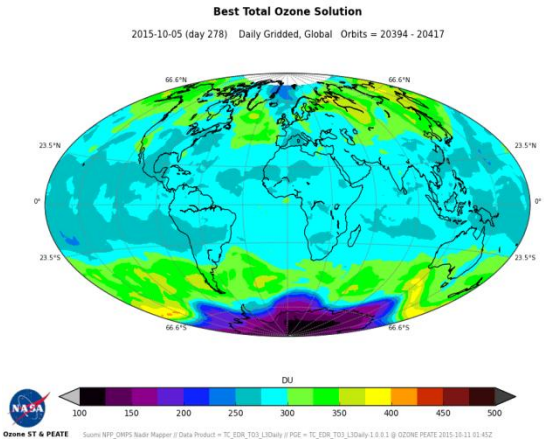
Anahtar Kelime: Ozon Uydu Verisi, Toplam Ozon, Dobson Birimi, Mevsimsel Ozon, Brewer Spektrofotometre

1. GİRİŞ

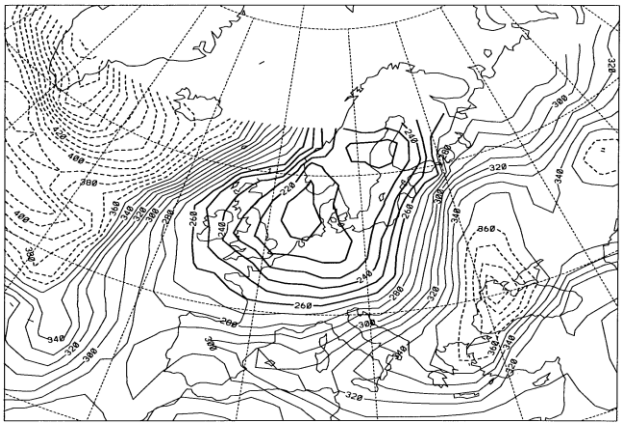
Ozon, gezegenimizi çevreleyen atmosfer içinde önemli bir iz gaz olarak tanımlanır. Stratosferdeki ozon, güneş ışınlarının zararlı kısmını emme yeteneğine sahiptir. Bu sayede yeryüzündeki canlı hayatını korur. Ancak, stratosferik ozon tabakası, ozon tabakasına zarar veren maddeler ve insan yapısı kimyasallar (CFCs, Br vb.) yüzünden tehlike altındadır (1). Ozon, ekvator kuşağı üzerindeki stratosfer tabakasında bütün bir yıl boyunca üretilmekte ve hava hareketleri ile buradan kutuplara doğru taşınmaktadır. Ozonun en çok bulunduğu stratosfer tabakasının alt kısımları ise tropopoz yüksekliği ile belirlenebilmektedir. Toplam sütun ozonunun dünya ortalaması 300 Dobson birimi (Dobson Unit, DU) civarında olup, coğrafyaya bağlı olarak 230 ile 500 Dobson birimi arasında değişmektedir. Toplam ozon ortalaması, ekvator kuşağı üzerinde 240 DU ile en düşük değere sahipken ekvatordan kutuplara doğru gidildikçe 400 DU'e kadar artış göstermektedir (9). Bir Dobson birimi, ozon hacminin yaklaşık milyarda bir kısmının (1 ppbv), ortalama atmosferik konsantrasyonunu ifade eder. 1 DU = 10^{-3} atm-cm = 0.01mm = 10^{-5}m'dir **(**11**).** Stratosferik ozon, orta enlem bölgelerinde son birkaç on yıl için belli oranda düşüş trendine girmiştir (2). 2006-2009 ortalama toplam ozon değerleri; 1964-1980 ortalamalarına göre son on yıldır aynı düzeyde kalırken, 90°S - 90°N için yaklaşık %3,5 ve 60°S-60°N için %2,5 altında gerçekleşmiştir (6). Kuzey yarımküre orta enlemlerindeki (35° N-60° N) 2006-2009 dönemi yıllık toplam sütun ozon miktarı, 1998-2005 döneminde gözlemlenen miktarla aynı kalırken ve 1964-1980 ortalamasına göre yaklaşık % 3,5 azalmıştır. En düşük miktar, 1964-1980 ortalamasına göre, % 5,5 azalma ile 1990'ların ortalarında görülmüştür (6).

TOMS uydu gözlemleri ile yapılan toplam ozon ölçümlerine dayalı çok sayıda çalışmada, orta enlemlerde yaz mevsimine göre kış ve ilkbahar aylarında, toplam ozon miktarında daha büyük düşüş eğilimleri görülmüştür (3). NASA tarafından 1975 yılında yapılan kongrede; araştırma, teknoloji ve yukarı atmosfer gözlem programının izlenmesi ve geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kongre; dünya yukarı atmosferinin kimyasal ve fiziksel bütünlüğünü korumak için bir anlayış birliği geliştirmiştir (12). Uydu ölçümleri için ilk ozon alıcıları 1960 yılında geliştirilmiştir. Ozon gözlemlerinin en geniş ölçüm seti 1970 ile 1977 arasında Nimbus-4'den elde edilmiştir (4). Nimbus-7 TOMS uydusundan toplam ozonun günlük ölçümleri, sürüm-7 verileri kullanılarak 14 yıl boyunca alınmıştır. Uydu gözlemleri modern çağında yapılan ilk büyük çalışmalarda, Antartika üzerindeki bahar mevsimi ozon deliğinde tespit edilen geçici ozon miktarı düşüşleri araştırılmıştır (5). Aslında ozondaki mini azalımlar her iki yarımküre orta enlemlerde de

yaygındır. Bunlar, yatay ve dikey adveksiyon hava hareketinin bir kombinasyonu sonucu, genellikle, ozonun az olduğu zamanlarda meydana gelir ve antisiklonik bir çizgide, nispeten sıcak hava kutba ve doğuya doğru hareket ederken görülür. Ozonca fakir havayla dolu tropopozun yükselmesi, toplam sütun ozon oranının artmasına yardımcı olur (5). Sonuç olarak, toplam sütun ozon miktarı tropopoz yüksekliği ile güçlü bir korelasyon gösterir. Ozon azalma klimatolojisi, Nimbus-7 TOMS'un günlük ozon gözlemlerine dayanır ve sürüm-7 verinin elde edilebildiği en son sürümüdür. Bu sürüm özellikle önceki sürümlere göre, düşük güneş zenit açıları için yeniden elde edilen verilerin kalitesinin artırılmasında ve ham verilerin kalibrasyonunda kullanılmıştır (5).



Şekil 1: OMI Uydu Küresel Toplam Ozon Gösterimi (13)



Şekil 2. Nimbus-7 TOMS cihazı tarafından 5 Şubat 1990'da Avrupa üzerindeki toplam ozon seviyeleri: Kontur aralığı 10 DU, en düşük 260 DU ve en yüksek 360 DU'dur (5).

2.YÖNTEM

TOMS programıyla yapılan geçerli ölçümler, 24 Ekim 1978 tarihinde Nimbus-7 uzay aracı üzerindeki TOMS Uçuş Modülü kullanılarak, 1978 yılı Kasım ayında başlamıştır. TOMS cihazının görevi Mayıs 1993 yılında sona ermiştir. Yerine kullanılan Meteor-3 TOMS ise Ağustos 1991'de veri göndermeye başlamış ve Aralık 1994 yılında faaliyetini durdurmuştur (12). Başlangıçta, Earth Probe (EP) TOMS ile elde edilen veriler, uydunun yüksek yörüngesi ve tam ekvatoral özelliklerinden dolayı ADEOS TOMS'dan elde edilen verilerle tamamlanmış ve EP-TOMS ilk planlanan 950 kilometrelik yörünge yerine 500 kilometrelik yörüngeye oturtulmuştur

(13). OMI, NASA'nın Yeryüzü Gözlem Sistemi Aura Uydu güvertesindeki UV/Görünür CCD Spektrometre ile birlikte NADIR görüntüleme sistemidir. Aura, 15 Temmuz 2004 tarihinde uzaya fırlatılmış ve 9 Ağustos 2004 yılından bu yana da veri toplamaktadır (15). Son zamanlarda, TOMS ve OMI verilerindeki görüntüleme koşullarıyla ilgili hataları gidermek amacıyla, NASA'nın Goddard Ozon İşlem Ekibi tarafından geliştirilen Sürüm 8 algoritması ile işlem yapılmaktadır (16;p20).

Bu çalışmada, 1979-2014 (36 yıl) periyodu ve 34°-42° K, 25°- 45°D (82 grid) aralığındaki 36x82=2952 adet uydu ozon verisi kullanılmıştır. Bu veriler 1°x1.25° çözünürlüğünde ve Türkiye sınırlarını kapsayan 82 grid'den oluşmaktadır. Aylık değerlendirmeler için 82x12=984, mevsimlik karşılaştırmalar için de 82x4= 328 adet veri kullanılmıştır.

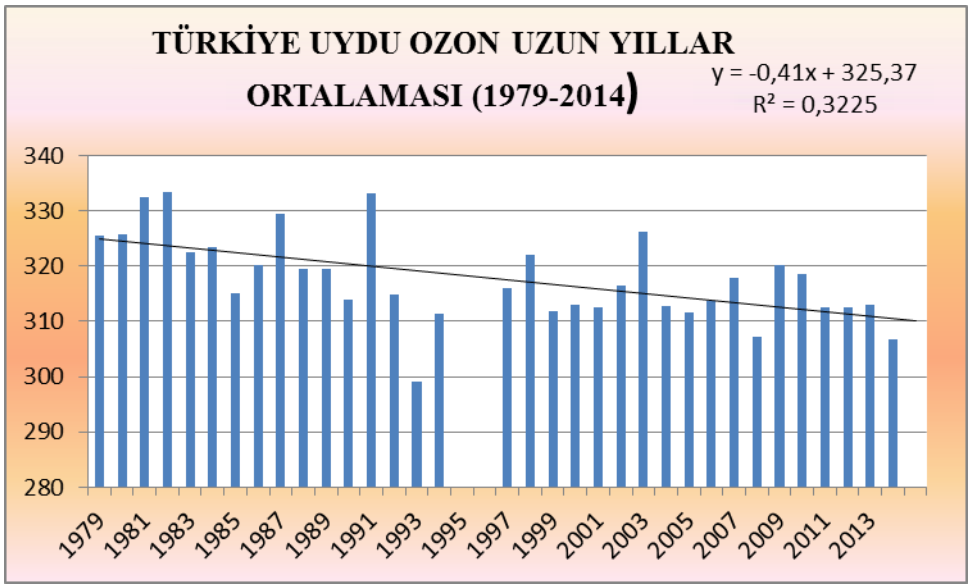
2.1.Brewer Spektrofotometre Cihazı

Ankara'da (39° 58' N; 32° 52' E) 2006 yılı Kasım ayından beri Brewer MKIII cihazı ile düzenli olarak ozon ölçümü yapılmaktadır. Brewer #188 MKIII cihazı double monocromator tip bir cihazdır. Cihaz Toplam Ozonu, UV Radyasyonun 306.3, 310.1, 313.5, 316.8 ve 320.1 nm dalga boylarını esas alarak hesap etmektedir. MKIII Brewer Spektorofotometre cihazı UV Radyasyonu 286.5 – 363 nm aralığında ölçmektedir (286.5 – 325 UV-B).

Ankara'da Brewer Spektrofotometre cihazından elde edilen aylık, mevsimlik ve yıllık ortalama ozon verileri ile aynı periyodu kapsayan Uydu Ozon verilerinin aynı koordinata denk gelen grid değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Bu sayede Ankara'ya ait yer temelli ozon ölçüm verisi referans kabul edilerek uydu ozon verisinin doğrulaması yapılmıştır.

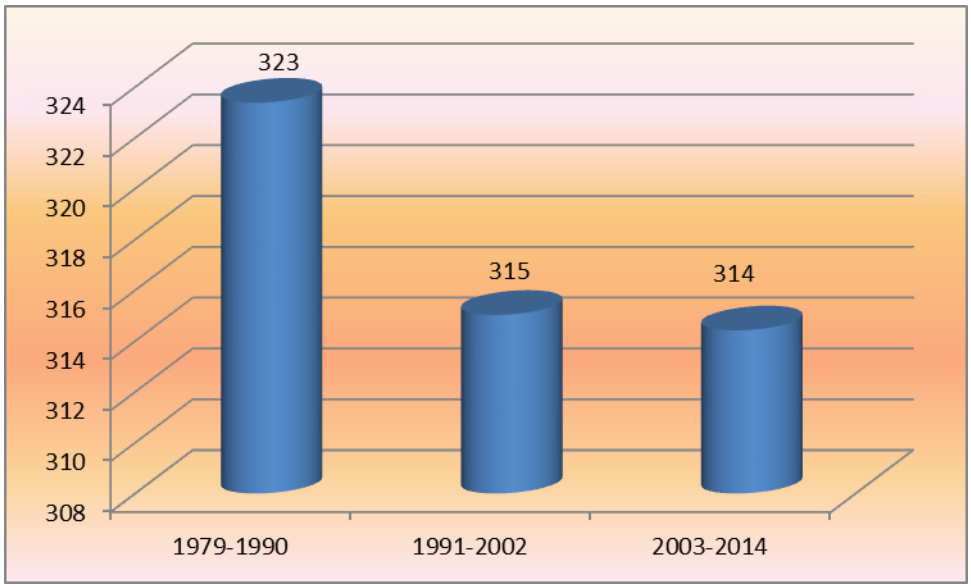
3. TÜRKİYE UYDU OZON TABAKASI UZUN YILLAR ANALİZİ (1979-2014)

36 yıllık veri setinde; tüm periyodun ortalama değeri 318 DU'dır. En düşük yıllık ortalama ozon değeri 299 DU ile 1993 yılında (1 aylık veri eksikliği var); en yüksek yıllık ortalama ozon değeri ise 333 DU ile 1982 ve 1991 yıllarında görülmüştür.



Şekil 3: Türkiye Uzun Yıllar Ortalama Ozon Grafiği (TOMS ve OMI Uydu, 1979-2014)

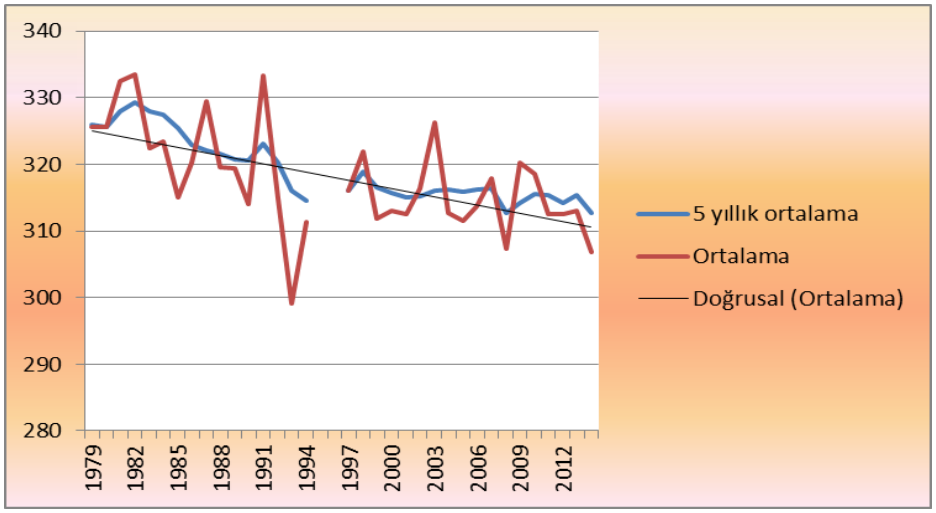
Şekil 3'de 1979-2014 yılları arasında TOMS-OMI uydu verilerine göre, yıllık ortalama zaman serisi bir düşüş eğilimi göstermektedir. Bu düşüş eğiliminin yaklaşık yıllık 0,4 DU olduğu ama Regresyon Katsayısı (R^2) =0,3225 değerine göre istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir. 1991 ve 1982 yılları toplam sütun ozonu ortalamasının en yüksek (333 DU) olduğu yıllardır. En düşük ortalama ise 299 DU ile 1993 (1 aylık veri eksiktir) yılında görülmüştür. WMO 2010 yılı ozon değerlendirmesinde; Kuzey yarım küre orta enlemlerde en düşük miktar, 1964-1980 ortalamasına göre, % 5,5 ile 1990'ların ortalarında görülmüştür (6). 1994 (1 aylık veri eksiktir) yılında sonlanan Nimbus-7 uydusu yerine konulan Earth Probe uydusunun kalibrasyon sorunları nedeniyle veri ölçümüne başlamasına kadar 1995 yılı verisi alınamamış ve 1996 yılı da eksik verilerden dolayı değerlendirmeye eklenememiştir. Veri serisinde, özellikle, dikkat çeken bölüm 1991 Pinatubo Yanardağı patlamasını takip eden yıllar olmuştur. Kuzey yarım küre orta enlemlerde 1992–1996 yılları arasında sütun ozonu ve aşağı stratosfer ozonu Pinatubo Yanardağı patlamasından etkilenmiştir (6). Şekil 3'de özellikle en sert düşüşün yaşandığı yıl olarak 1993 yılı görülmektedir. Veri setinde son dört yılın (2011, 2012, 2013 ve 2014) ortalama değerleri oldukça düşük ve 36 yıllık periyot ortalamasının yaklaşık 5 DU altındadır. 2014 yılında gözüken oldukça düşük ortalama, mevsimsel olarak en yüksek aylara ait uydu ozon verisi eksikliğinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4: 12'şer yıllık periyotlar için Türkiye Uzun Yıllar Ortalama Ozon Değerleri Karşılaştırma Grafiği (TOMS ve OMI Uydu, 1979-2014)

WMO 2010 yılı ozon değerlendirmesinde; Kuzey yarımküre orta enlemlerindeki (35° N-60° N) 2006-2009 dönemi yıllık toplam sütun ozon miktarı, 1998-2005 döneminde gözlemlenen miktarla aynı kalmış ve 1964-1980 ortalamasına göre yaklaşık % 3,5 altındadır (6).

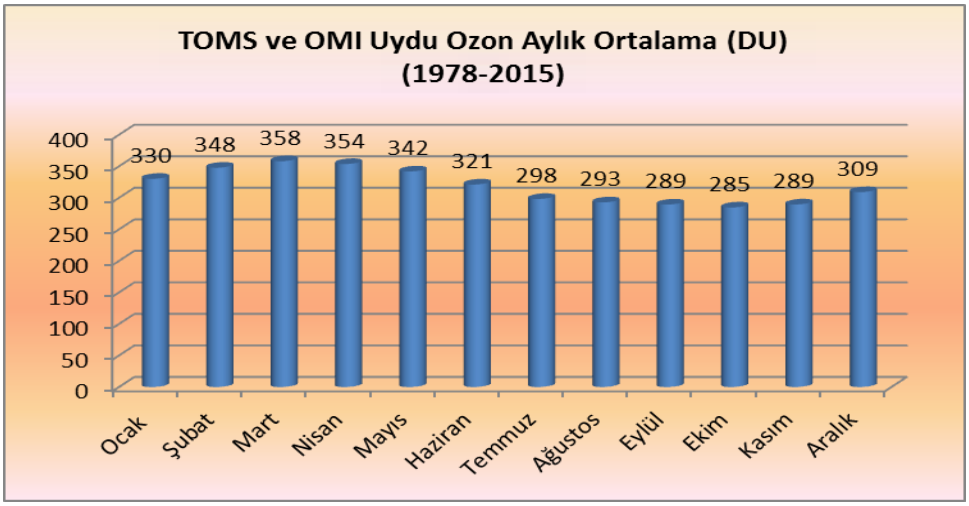
Şekil 4'de otuz altı yıllık periyod üç eşit parçaya bölünerek incelendiğinde; 1979-1990 yıllarını kapsayan ilk 12 yılda ortalama ozon 323 DU iken, son iki 12 yıllık periyotta (1995-1996 yılları eksiktir) ortalama ozon 315 DU ve 314 DU ile birbirine yakın çıkmıştır. WMO 2010 yılı ozon değerlendirmesinde; ozon tabakasının kendisini onarması için gereken tarihi hedef, 1980 yılı değerleri olarak belirlenmiştir (7). Kuzey yarımküre orta enlemlerde yıllık ortalama toplam ozonun, 2015-2030 yılları arasında, 1980 yılı değerlerine döneceği tahmin edilmektedir. Bu durumun güney yarımküre orta enlemlerinde ise 2030-2040 döneminde gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu değerlendirmelerle birlikte yukarıda üç periyoda bölünen grafikte, ozon ortalamasının ilk 12 yıllık periyotta 323 DU'dan 315 DU'ya düştüğü ve üçüncü 12 yıllık periyotta ise kayda değer bir düşüş görülmemiştir. Ozon tabakasındaki incelmenin Türkiye üzerindeki eğilimi önümüzdeki yıllarda yapılacak gözlem ve analizler ile daha iyi anlaşılacaktır.



Şekil 5: Türkiye Uzun Yıllar Yıllık Ortalama Ozon Değerlendirme Grafiği (1979-2014)

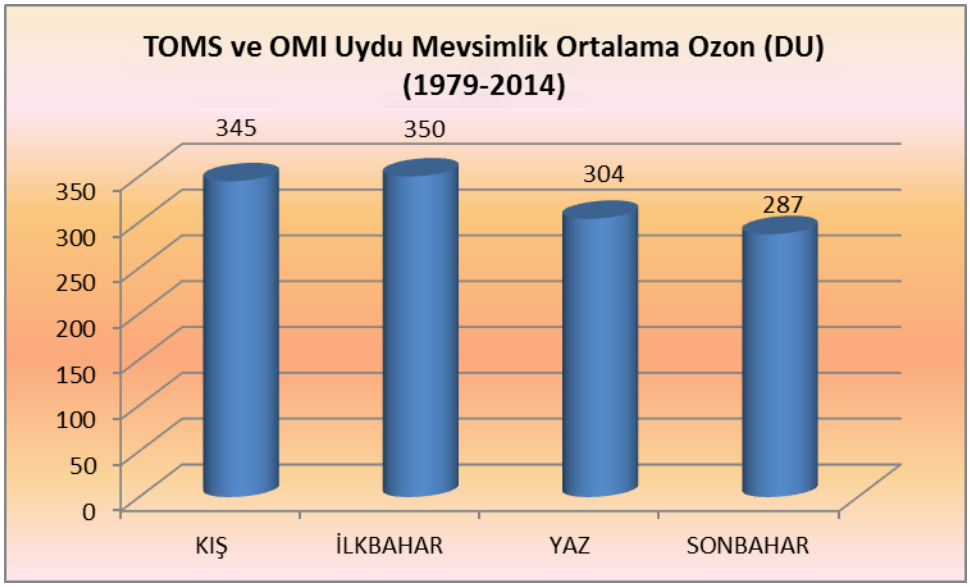
Şekil 5'de, tüm periyot için Türkiye üzerindeki toplam ozon yıllık ortalama grafikleri incelendiğinde, 1980 sonrası dönemde Pinotubo Yanardağı patlaması öncesi 1991 (333 DU) yılında pik yapan ozon değeri, patlamanın küresel etkileri sonrası 1993 yılında en düşük ortalamaya (299 DU) ulaşmıştır. 5 yıllık kayan ortalamada da görüldüğü üzere, 2000'li yılların başına kadar belirgin bir düşüş trendi varken, sonraki yıllarda bu düşüş eğilimi zayıflamıştır. Bu zayıflama, Şekil 4' de ki 12'şer yıllık ardışık üç periyodun karşılaştırması sonucu ortaya çıkan durum ile paralellik göstermektedir.

4. TOMS ve OMI UYDU VERİLERİNE GÖRE TÜRKİYE MEVSİMLİK ve AYLIK OZON ANALİZİ (1979-2014)



Şekil 6: Türkiye Uzun Yıllar Aylık Ortalama Ozon Grafiği (1978-2015).

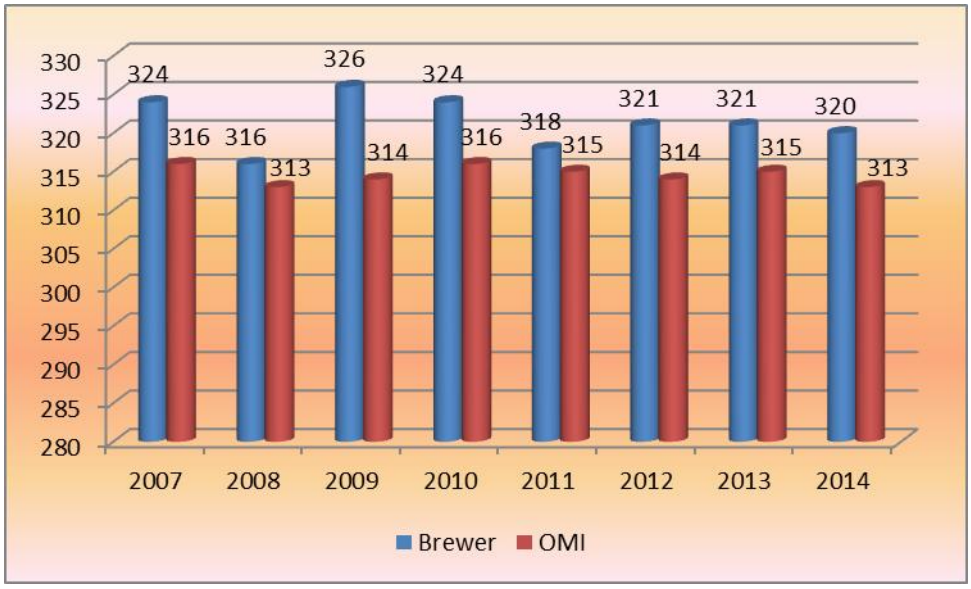
Şekil 6'da aylık ortalama toplam ozon değerleri görülmekte. Bu değerlerin Türkiye'nin bulunduğu kuzey yarımküre orta enlemlerdeki ozon tabakası ortalama değerlerine uyumlu gözükmektedir. En yüksek aylık ortalama toplam ozon değeri 358 DU ile Mart ayında ve en düşük değer ise 285 DU ile Ekim ayında görülmektedir. En düşük ve en yüksek değerler arasındaki fark 73 DU'dir.



Şekil 7: Türkiye Uzun Yıllar Mevsimsel Ortalama Ozon Grafiği (1979-2014)

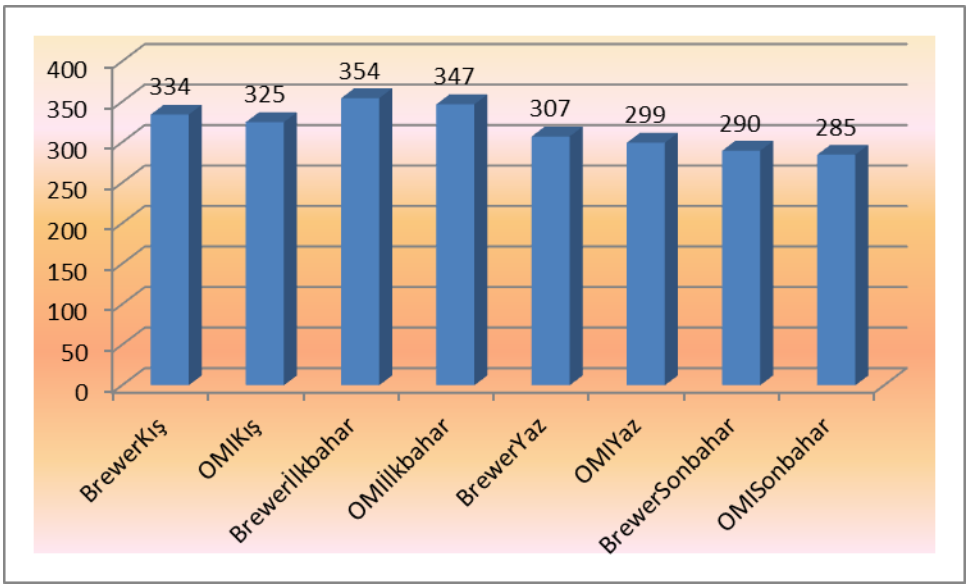
Toplam ozon değerlerinin kuzey yarım küre orta enlemlerdeki eğilimlerinin, mevsimsel olarak kış sonu ilkbahar başında en yüksek seviyesine ve yaz sonu sonbahar başında ise en düşük seviyesine ulaştığı görülmektedir. Şekil 7'de ki mevsimsel değerler de bu durumla uyumludur. Buna göre; Türkiye için en yüksek mevsimsel ozon değeri 350 DU ortalama ile ilkbahar mevsiminde, en düşük değer ise 287 DU ortalama ile sonbahar mevsiminde görülmektedir. Bu iki mevsim arasındaki fark 63 DU olmuştur.

5. BREWER SPEKTROFOTOMETRE TOPLAM OZON VERİLERİNİN OMI UYDU VERİLERİYLE KARŞILAŞTIRMASI (2007-2014)



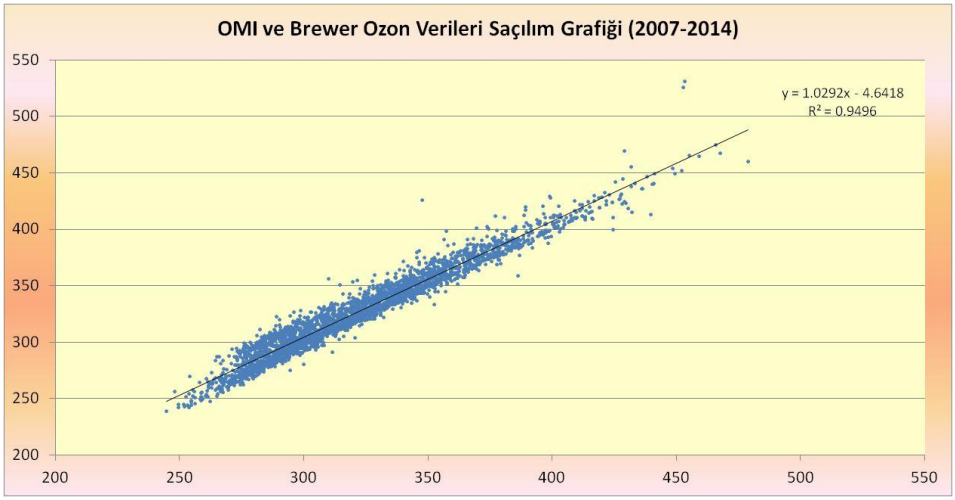
Şekil 8: 2007-2014 Yılları arası Brewer Spektrofotometre ve OMI Uydu Verilerinin Karşılaştırması

Şekil 8'de, Ankara üzerinde 2007-2014 yılları arası Brewer cihazı ve OMI Uydu yıllık ortalama toplam ozon verilerindeki değişim görülmektedir. Şekilde, periyot süresince Brewer verilerinin OMI uydu verilerinden daha yüksek ortalamaya sahip olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama değerler arasındaki farklar ise %1 ile %4 arasında değişmektedir. Yıllık ortalama ozonun, 8 yıllık periyotta (2007-2014), uydu verilerinde 313-316 DU arasında, Brewer verilerinde ise 316-326 DU arasında değiştiği gözlenmiştir. Her iki ölçüm sisteminde de 2008 yılı en düşük ortalamanın görüldüğü yıl olarak öne çıkmıştır.



Şekil 9: OMI Uydu ve Brewer Ozon Verilerinin Mevsimlik Karşılaştırması (2007-2014)

Şekil 9' da, uydu ve yer temelli ozon verilerini mevsimlik olarak karşılaştırdığımızda dikkati çeken en önemli konu; tüm ozon araştırma ve değerlendirmelerinde görüldüğü gibi, Türkiye'nin bulunduğu kuzey yarımküre orta enlemlerdeki toplam ozon değerlerinin birbiri ile uyum içerisinde olmasıdır. Buna göre, ozon kış sonu ilkbahar başında en yüksek değerlere ulaşırken, sonbahar aylarında ise en düşük değere düşmektedir.



Şekil 10: Uydu ve Brewer Ozon verileri arasındaki saçılım diagramı.

Uydu ve Brewer ozon verileri arasında %95 oranında bir ilişki olduğu görülmektedir.

6. SONUÇLAR

- 36 yıllık (1979-2014) Türkiye ortalama toplam ozon değeri 318 DU olarak bulunmuştur. En düşük yıllık ortalama ozon değeri 299 DU ile 1993 yılında ölçülmüştür. En yüksek yıllık ortalama ozon değeri ise 333 DU ile 1982 ve 1991 yıllarında tespit edilmiştir.
- 36 yıllık (1979-2014) ve 82 grid noktasının ortalaması bir düşüş eğilimi göstermektedir. Bu eğilim, y = -0,41x+325,37 formülü ile gösterilmiştir. Regresyon Katsayısı (R^2) =0,3225 istatistiksel olarak anlamlı değildir.
- Mevsimlik değerlendirmeye göre; Türkiye'nin en yüksek ozon mevsimi olan ilkbahar mevsimi ortalama ozon değeri 350 DU, en düşük ozon mevsimi olan sonbahar için 287 DU, en yüksek ikinci mevsim olan kış değeri 345 DU ve en düşük ikinci mevsim yaz değeri 304 DU olmuştur. En düşük ortalama değere sahip mevsim sonbahar ile en yüksek ortalamaya sahip mevsim ilkbahar arasındaki ortalama ozon farkı 63 DU olmuştur.
- 1979-2014 periyodu için aylık ortalama toplam ozon değerleri, Türkiye'nin de bulunduğu orta enlemlerin ozon değerlerine uygun bir sonuç ortaya koymuştur. Bu sonuca göre; en yüksek ortalama toplam ozon değeri Mart (358 DU) ayında, takiben Nisan (354 DU) ve Şubat (348 DU) aylarında görülmüştür. Ekim (285 DU), Eylül (289 DU) ve Kasım (289 DU) ayları en düşük ozon değerlerine ulaşılan aylar olmuştur. Aralık (309 DU) ayı yeniden yükseliş eğiliminin başladığı ay olarak dikkat çekmektedir. En düşük ve en yüksek değerler arasında 73 DU fark vardır.
- 1979-2014 periyodunu 3 eşit parçaya bölerek yapılan değerlendirmede; ilk 12 yıllık (1979-1990) periyotta 323 DU olan toplam ozon ortalaması, ikinci (1991-2002) periyotta 315 DU ve üçüncü (2003-2014) periyotta ise 314 DU olarak hesaplanmıştır. Bu durum, kuzey yarımküre orta enlemlerde ozon tabakasının kendisini yakın zamanda onarmaya başlayacağı tezinin takip edilmesi açısından önemli bir parametredir.

KAYNAKLAR

[1] **G.J. Smit, Herman,** Quality Assurance and Quality Control for Ozonesonde Measurements in GAW, the Panel for the Assessment of Standard Operating Procedures for Ozonesondes (ASOPOS), GAW Report No. 201, September 2011.

[2] **Kahya, C., Aksoy, B., Demirhan, D., Topcu, S., Incecik, S., Acar, Y., Ekici, M., Ozunlu, M.,** "Ozone variability over Ankara, Turkey" Geophysical Research Abstracts, Vol. 9, 06756, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2007-A-06756, 2007.

[3] **Chandra ve ark., 1996, Hood ve McCormick, 1997, Chandra S and R.D McPeters,1994,** "The solar cycle variations of ozone in the stratosphere inferred from Nimbus 7 and NOAA 11" Journal Geophysical Research, 20665-20671, 1999.

[4] **A. J. Krueger, B. Guenther, A. J. Fleig, D. F. Heath, E. Hilsenrath, R. McPeters and C. Prabhakara,** "Satellite Ozone Measurements" Laboratory for atmospheric sciences, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771 USA 191-204 191p, 1980.

[5] **James, P.M.,** "A Climatology Of Ozone Mini-Holes Over The Northern Hemisphere" Meteorologisches Institut der Universitat Munchen, Theresienstr. 37, *D*-80333 M*unchen, Germany,* International Journal Of Climatology *Int. J. Climatol*. **18**: 1287–1303, 1998.

[6] A. Douglass, V. Fioletov ve ark., World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project—Report No. 52,"Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010 "Stratospheric Ozone and Surface, Ultraviolet Radiation" Chapter 2.1 p. ve 2.2 p, 2010.

[7] A. Douglass, V. Fioletov ve ark., World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project—Report No. 52, "Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010 "Stratospheric Ozone and Surface, Ultraviolet Radiation" Chapter 3.1 p. ve 3.2 p, 2010.

[8] Acar, Y. ve ark., "Atmosfer ve Ozon", Teknik Rapor, DMİ Genel Müdürlüğü Yayınları, 2004.

[9] http://daac.gsfc.nasa.gov/upperatm/image_index.html

[10] http://science.nasa.gov/missions/toms/

[11] http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/media/images/daily/OMPS-NPP-TC_EDR_TO3_L3Daily_Ozone-v1.0-2015m1005-2015m1010t214609.png

[12] http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/acdisc/TOMS

[13] https://data.nasa.gov/Earth-Science/SAFARI-2000-TOMS-Tropospheric-Ozone-Data-Southern-/y9pa-yf5k/about http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/qa/faq_omi.md#g_1

[14] http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/acdisc/TOMS

[15] http://aura.gsfc.nasa.gov/about.html

[16] Ozone Monitoring Instrument (OMI) Data User's Guide, 20 p., 2012.

Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Bitki Biyofiziksel Parametrelerinin Belirlenmesi ve Analizi

Sezel Karayusufoğlu Uysal
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
skarayusufoglu@mgm.gov.tr

Levent Şaylan
İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
İstanbul
saylan@itu.edu.tr

Barış Çaldağ
İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
İstanbul
caldagb@itu.edu.tr

ÖZET

Bitki gelişiminin izlenmesi, meteorolojik faktörlerin bu gelişime yapabileceği etkilerin değerlendirilmesi, tarımsal meteoroloji bakımından önemlidir. Geleneksel yöntemlerle yapılan ölçümlerin yanı sıra, uzaktan algılama yöntemleri ile hızlı, ekonomik ve daha geniş ölçekte bilgilere ulaşılabilmekte ve böylelikle bitki gelişimi ile verimi tespit edilebilmektedir. Sürdürülebilir gıda üretimi açısından, dünyada yaygın olarak tüketilen bitkilerin gelişiminin ve veriminin önceden doğru tespit edilmesi oldukça önemlidir. Bitki yaprak alan indeksi (LAI), biyokütlesi, bitki boyu gibi biyofiziksel parametreleri bitkilerin gelişim aşamaları hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu çalışmada, Kırklareli'nde ayçiçeği ekili arazi üzerinde el tipi spektroradyometre ile yapılan ölçümlerden elde edilen Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) değerleri ile MODIS uydusundan alınan 250 m uzaysal çözünürlüklü 16 günlük kompozit NDVI ürünü (MYD13Q) arasındaki ilişki tespit edilerek uydu verilerinin bitki biyofiziksel parametrelerinin belirlenmesinde kullanımı irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler — uzaktan algılama, NDVI, tarımsal meteoroloji, bitki biyofiziksel parametreleri.

1 GİRİŞ

Cisimler üzerlerine gelen elektromanyetik radyasyon ile etkileşimlerinde, spektrumun farklı dalga boyları için değişen yansıtma özelliklerine sahiptir. Spektrum boyunca herhangi bir cismin gelen elektromanyetik radyasyon için verdiği spektral cevap "spektral imza" olarak adlandırılır ve

sadece söz konusu cisme özgüdür. [1]. Spektral imza, uzaktan algılama teknikleri ile nesnelerin birbirinden ayırt edilmesinde anahtar rol oynamaktadır. Örnek olarak bitki örtüsü elektromanyetik spektrumun VIS bandında (kırmızı bölgede), klorofil pigmenti içeriği nedeniyle gelen radyasyonun büyük kısmını soğururken, NIR bantta ise, bitkinin hücre duvarları, özellikle lignin bileşeni, yüksek oranda yansıtma yapmasına neden olur [2]. Birbirinden farklı olan bu spektral özelliklerin gözlendiği, özel olarak seçilmiş en az iki spektral banda ait değerler kullanılarak bitkilerin özelliklerini ön plana çıkarmak ve durumlarının daha iyi anlaşılmasını sağlamak için yapılan spektral dönüşümlere "spektral vejetasyon indeksi (SVI)" denir [3]. Literatürde çok sayıda SVI olmasına rağmen, bitkinin gelişme aşamaları boyunca izlenmesinde normalleştirilmiş fark vejetasyon indeksi (NDVI) sıklıkla tercih edilmektedir.

NDVI, bitkilerin elektromanyetik spektrumun yakın kızılötesi (NIR) ve görünür (VIS) kırmızı bölgelerinde farklı yansıtma özellikleri göstermesinden yola çıkılarak; bu iki bölgedeki spektral yansıtma değerlerini kullanıp, bitkilerin biyofiziksel özellikleri hakkında bilgi üreten spektral bir dönüşümdür [4,5]. NDVI ile bitki örtüsünün sağlık durumu, boyu, yaprak alan indeksi (LAI) ve biyokütlesi gibi gelişmişlik durumunu belirten biyofiziksel özellikleri hakkında bilgi sahibi olunabilir. NDVI'ın türetilmesi yerde spektroradyometre ile yapılan spektral ölçümler ya da buna nazaran daha kolaylıkla ulaşılabilen uydu verileri sayesinde gerçekleştirlibilmektedir. Böylelikle, bitki gelişiminin takibi de kolaylaşmıştır [6].

LAI, yaprak yüzey alanının birim yer yüzey alanına oranı olarak tanımlanır [7] ve yaprağın atmosfer ve biyosfer ile olan gaz alışverişi için potansiyel yüzey alanını ifade eder [8]. Boyutsuz bir değer olup fotosentez, solunum ve yağmurun tutulması gibi bitki örtüsü ile çevresel faktörlerin etkileşimini tanımlayan süreçlerde önemli bir rol oynamaktadır [3,7]. LAI de NDVI gibi arazide yapılan ölçümlerle tespit edilebilir ya da uydudan elde edilen değerlerden türetilebilmektedir [3]. Yapılan çalışmalar göre, bitkinin türü, klorofil içeriği ve diğer karakteristiklerine göre değişmekle birlikte, NDVI-LAI arasında eksponansiyel bir ilişki söz konusudur [4-9-10].

Bitkinin kuru madde ağırlığı olarak tanımlanan biyokütle, LAI gibi verimin tespitinde kullanılabilen önemli biyofiziksel değişkenlerden biridir. Geleneksel yöntemlerle yerde yapılan ölçümlerle tespit edilebileceği gibi, uzaktan algılama metodları ile de belirlenebilmektedir. 2006'da Wessels ve diğ. yaptığı çalışma ile Güney Afrika Kruger Milli Parkı'ndaki otsu bitki örtüsünün gelişme dönemleri için 1989-2003 yılları arasında toplanan veriye göre biyokütle ile

Advanced Very High Resolution Radiometer'dan (AVHRR) türetilen toplam NDVI değerleri (ΣNDVI) arasındaki ilkişkinin belirleyici olduğu tespit edilmiştir [11].

Bitki boyu, bitkinin gelişme dönemi, tohum ağırlığı ve olgunlaşma zamanı ile kuvvetli ilişkiye sahiptir, aynı zamanda önemli ekosistem değişkenlerinden olan karbon depolama kapasitesi ile de bağlantılıdır [12,13]. Bitkinin gelişmişlik durumunun takibinde, bitki boyu önemli biyofiziksel özelliklerdendir.

Bu çalışmada, Kırklareli Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü arazisinde ekili olan ayçiçeği (Tunca çeşidi) için Nisan 2010-Ağustos 2010 arasındaki gelişme dönemi boyunca Aqua-MODIS'ten temin edilen kompozit NDVI ürünü ile el tipi spektroradyometre ile yapılan ölçümlerden hesaplanan NDVI, arazide ölçümü yapılan biyokütle ve LAI ölçümleri arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur.

2 MATERYAL VE METOD

2.1 Deneme Alanı ve Kullanılan Veri

Kırklareli Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü arazisinde ayçiçeği bitkisi ekili arazi Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Çalışmanın yapıldığı ayçiçeği ekili arazi.

Arazide kurulu olan meteorolojik ölçüm istasyonundan rüzgar şiddeti ve yönü, hava sıcaklığı, bağıl nem, global ve net radyasyon, fotosentetik aktif radyasyon, yüzey sıcaklığı, toprak sıcaklıkları, ısı akıları, toprak su içeriği ve yağış miktarı ölçülmüştür [14,15].

Spektral yansıtma değerleri, el tipi spektroradyometre (FieldSpec HandHeld Portable Spectroradiometer, ASD Inc.) ile düzenli aralıklarla ölçülerek kaydedilmiş ve Denklem 1'de belirtilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$NDVI = \frac{R_{864} - R_{671}}{R_{864} + R_{671}} \quad (1)$$

Biyokütle değerleri, alınan bitki örnekleri etüv'de (65-70 ^{o}C arasında 48 saat) kurutularak elde edilmiştir.

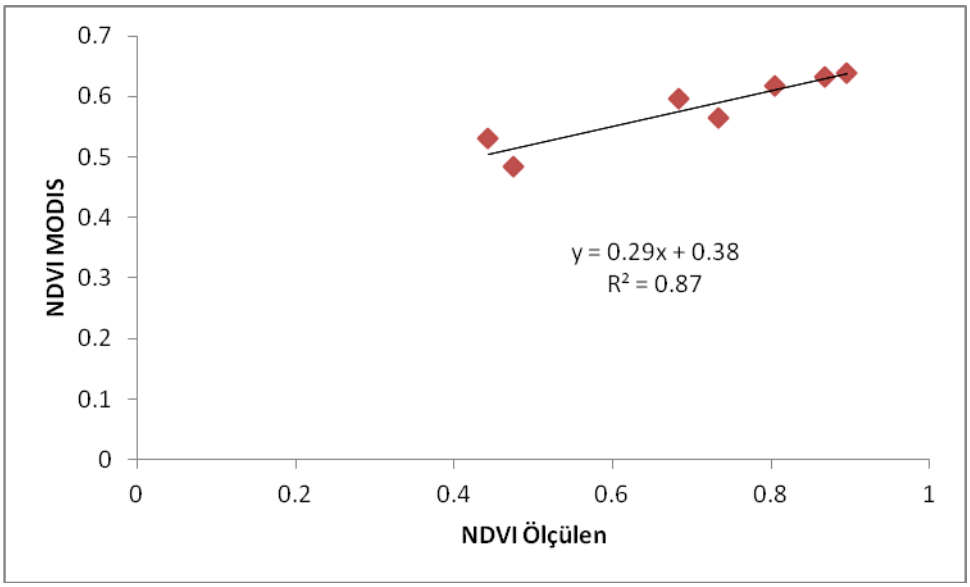
LAI-2000 aleti kullanılarak 2 haftalık periyotlarda hem bitkinin üstünden hem de bitkinin altından ölçümler yapılmış ve LAI değeri belirlenmiştir. Yerinde yapılan biyokütle ve LAI ölçümleri ile ilişkilendirilmek üzere 250 m uzaysal çözünürlüğe sahip olan 16 günlük kompozit Aqua/MODIS MYD13Q1 NDVI ürünü temin edilmiştir.

3 UYGULAMA

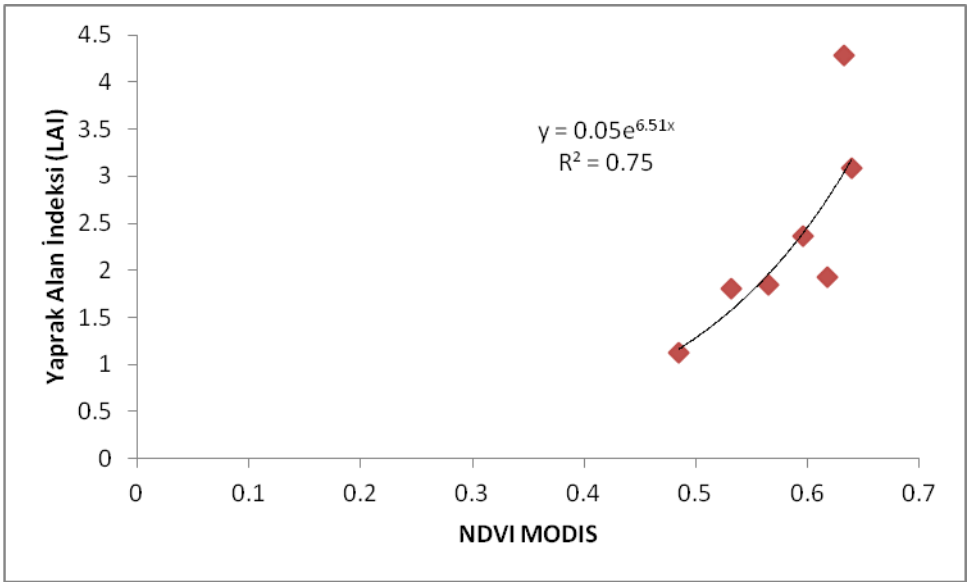
Çalışmada ayçiçeği bitkisi için gelişme dönemi boyunca el spektroradyometresi ile 325-1075 nm aralığında ölçümler yapılarak bitkilerin yansıtma değerleri iki hafta da bir olmak üzere kaydedilmiştir. Gelişme dönemi boyunca ölçülen spektral değerlerden Denklem 1 kullanılarak NDVI hesaplanmıştır. Aqua-MODIS uydusundan temin edilen edilen ve Savitzky-Golay yöntemi ile ikinci dereceden filtrelenerek düzeltilen NDVI değerleri ile yer ölçümlerinden türetilen NDVI değerleri arasındaki ilişki elde edilmiştir. Uydu tabanlı NDVI ürününün bitkinin gelişmişliğini tespit etmesindeki başarımını belirlemek üzere arazide ölçümü yapılan LAI, biyokütle ve bitki boyu gibi bitkinin biyofiziksel parametreleri ile MODIS NDVI değerleri arasındaki ilişkiler ortaya konmuştur.

4 SONUÇ LAR

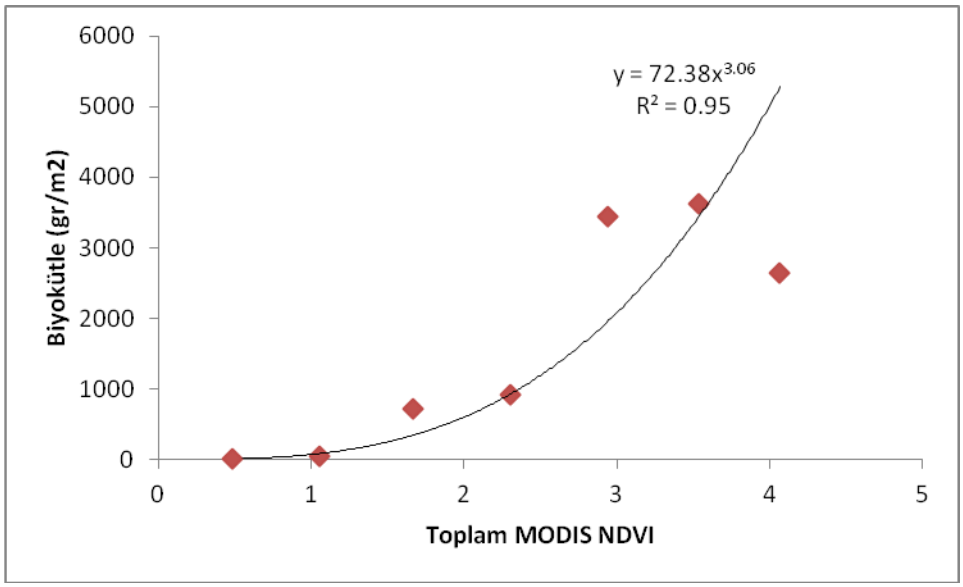
Yer ölçümlerinden türetilen NDVI ile, uydu tabanlı NDVI ürünü arasında çalışılan gelişme dönemi için R^2 =0.87'lik determinasyon katsayısı ile doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir (Şekil 2). Böylelikle uydu tabanlı NDVI değerleri ile yer ölçümlerinden elde edilen NDVI değerlerinin yüksek oranda uyumlu olduğu görülmüştür. Uydu verisinin, yersel olarak ölçülmesi zorlu olan bitki biyofiziksel parametrelerini temsil edip etmediğini göstermek için, sırasıyla LAI, biyokütle ve bitki boyu değerleri ile olan ilişkileri de incelenmiş; buna göre LAI değerleri ile gelişme dönemi boyunca olan MODIS NDVI değerleri arasındaki R^2=0.75 (Şekil 3); gelişme dönemi boyunca MODIS NDVI değerlerinin toplamı ile biyokütle değerleri arasında R^2=0.95 (Şekil 4) ve yine gelişme dönemi boyunca MODIS NDVI değerlerinin toplamı ile bitki boyu arasında R^2=0.98 (Şekil 5) ile doğrusal olmayan ilişkilere sahip olduğu tespit edilmiştir.



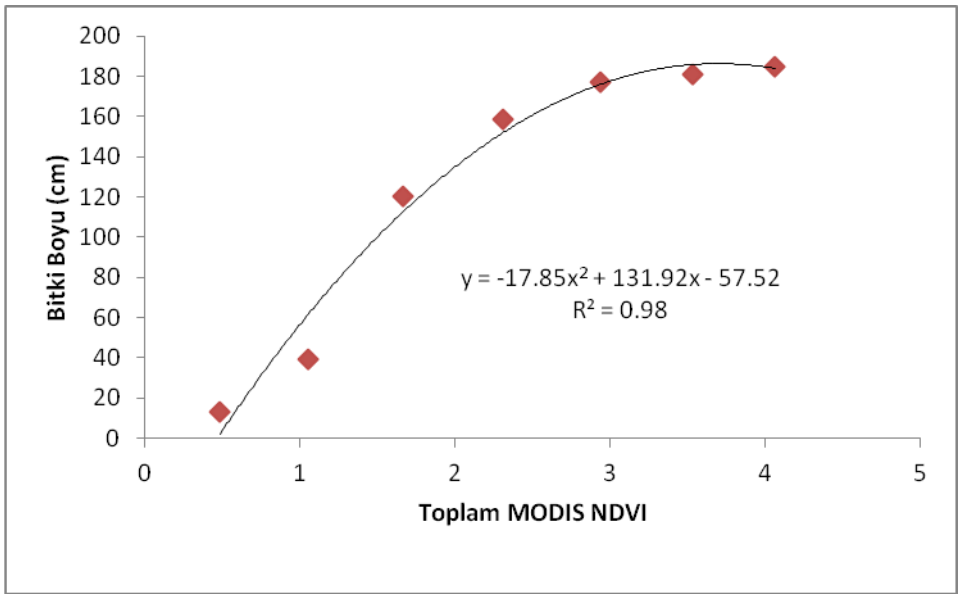
Şekil 2: Yersel ölçüm ile elde edilen NDVI ile MODIS uydusu arasındaki ilişkiyi gösteren saçılma diyagramı.



Şekil 3: MODIS uydusundan elde edilen NDVI ile LAI arasındaki ilişkiyi gösteren saçılma diyagramı.



Şekil 4: MODIS uydusundan elde edilen toplam NDVI ile biyokütle arasındaki ilişkiyi gösteren saçılma diyagramı.



Şekil 5: MODIS uydusundan elde edilen toplam NDVI ile bitki boyu arasındaki ilişkiyi gösteren saçılma diyagramı.

Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre spektral yansıtma ölçümlerinden elde edilen NDVI ile uydudan elde edilen NDVI değerleri arasında belirli bir ilişki tespit edilmiştir. Uydu verisi ile bitki biyofiziksel parametrelerinin arasındaki ilişkilerin daha doğru ve net bir şekilde ortaya konabilmesi için daha uzun periyotta ve farklı toprak-bitki ilişkileri de göz önünde

bulundurularak incelenmelerin genişletilmesi gerekmektedir. Elde edilen ilişkiler sayesinde bitki-iklim modelleri geliştirilerek daha doğru tahminler elde edilebilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen COST, 108O567 nolu "İklim Değişiminin Bitki Gelişimine Olası Etkilerinin Bitki Gelişim Modelleri ile İncelenmesi" ve 109R006 nolu "Buğday Bitkisinin CO_2. H_2O ve enerji akılarının belirlenmesi" isimli projelere dayanmaktadır. Bu nedenle TÜBİTAK'a projelere desteklerinden dolayı teşekkür ederiz. Bununla birlikte bu projelerde beraber çalıştığımız Kırklareli'ndeki TAGEM'e bağlı Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğüne ve çalışanlarına teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

[1] Parker, D.C., and M. F. Wolff. 1965. Remote Sensing. International Science and Technology, Vol.43, pp. 20–31.

[2] Gates, D.M., Keegan, H.J., Schleter, J.C., Weidner, V.R., 1965, Spectral Properties of Plants, Applied Optics, Vol.4, No.1, pp. 11-20.

[3] Falk, M., Meyers, T., Black, A., Barr, A., Yamamoto, S., Verma, S. ve Baldocchi, D. 2004. Seasonal Course of Normalized Difference Vegetation Index 'NDVI' Derived From Tower Data. 26th Conference on Agricultural and Forest Meteorology, 23-26 August, Vancouver, British Columbia.

[4] Struzik, P., Stancalie, G., Danson, F.M., Toulios, L., Dunkel, Z., ve Tsiros, E., 2010. Study of satellite data availability and their resolution in time and space. For assesment of climate change and variability impacts on agriculture. COST Action 734.

[5] Breda, N.J.J., 2003, Ground-based measurements of leaf area index: A review of methods, instruments and current controversies, Journal of Experimental Botany, 54, 2403–2417.

[6] Cowling, S. A., & Field, C. B., 2003, Environmental control of leaf area production: Implications for vegetation and land-surface modeling. Global Biogeochemical Cycles, 17, 1007, doi:10.1029/2002GB001915.

[7] Karayusufoglu, S., Şaylan, L., Çaldağ, B., Çaylak, O., Semizoğlu, E., Özkoca, Y. ve Bakanoğulları, F. 2011. Uzaktan Algılamanın Tarımsal Meteorolojide Kullanılması: Kırklareli Örneği. V. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 27-29 Nisan, İstanbul.

[8] Karayusufoglu, S., Şaylan, L., Semizoğlu, E., Özkoca, Y., Çaylak, O., Çaldağ, B. ve Bakanoğulları, F. 2011. Bitkilerin gelişimleri ile spektral özellikleri arasındaki ilişkilerin analizi: ayçiçeği ve mısır örneği. GAP VI. Tarım Kongresi, 9-12 Mayıs, Şanlıurfa.

[9] Haboudane, D., Miller, J.R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P.J., ve Strachan., I. 2004. Hyperspectral vegetation indicies and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in thr context of precision agriculture. Remote Sensing of Environment, 90: 337-352.

[10] Hu, B., Miller, J.R., Chen, J.M., Hollinger, D., Haboudane, D., Tremblay, N., Pattey, E., ve Vigneault, P., 2004. Estimation of LAI Using Ground Spectral Measurements Over Agricultural Crops: Prediction Capability Assesment of Optical Indicies. XXth ISPRS Congress, vol XXXV. 12-13 Temmuz, İstanbul.

[11] Wessels, K.J., Prince, S.D., Zambatis, N., Macfadyen, S., Frost, P.E., ve Van ZLY, D., 2006, Relationship between herbaceous biomass and 1-km2 Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) NDVI in Kruger National Park, South Africa. International Journal of Remote Sensing Vol. 27, No. 5, 10 March 2006, 951–973Jiang, Z.Y. ve Huete, A.R. 2010. Linearization of NDVI Based on its Relationship with Vegetation Fraction. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 76(8): 965-975.

[12] Heady, H.F., 1957, The Measurement and Value of Plant Height in the Study of Herbaceous Vegetation, Ecology, Vol. 38, No. 2. pp. 313-320

[13] Moles, A.T., Warton, D. I., Warman, L., Swenson, N. G., Laffan, S. W., Zanne, A. E., Pitman, A., Hemmings, F.A., Leishman, M.R., 2009, Global Patterns of Plant Height, Journal of Ecology, doi: 10.1111/j.1365-2745.2009.01526.x

[14] Şaylan, L., Bakanoğulları, F., Çaldağ, B., Çaylak, O., Özkoca, Y., Semizoğlu, E. ve Karayusufoğlu S. 2010a. İklim Değişiminin Bitki Gelişimine Olası Etkilerinin Bitki Gelişim Modelleri ile İncelenmesi. I. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, 1-4 Haziran, Eskişehir.

[15] Şaylan, L., Çaldağ, B. ve Bakanoğulları, F. 2012. İklim Değişiminin Bitki Gelişimine Olası Etkilerinin Bitki Gelişim Modelleri ile İncelenmesi. TÜBİTAK COST 108O567 Sonuç Raporu.

EUMETSAT Üçüncü-Parti Veri Servisi

Aydın Gürol Ertürk, Thomas Heinemann, Simon Elliott
EUMETSAT
Darmstadt
aydin.erturk@eumetsat.int, thomas.heinemann@eumetsat.int, simon.elliott@eumetsat.int

ÖZET

EUMETSAT, üzerlerinde bulunan optik ve mikrodalga enstrümanlar ile (SEVIRI, AVHRR, IASI, HIRS, MHS, AMSU-A, ASCAT gibi), meteorolojik, cevre ve okyanus verisi elde eden kutupsal ve sabit yörüngeli uydular işletmektedir. Gelecekteki EUMETSAT uydu programları ile bu alandaki katkılarını sürdürmeye devam edecektir.

Kendi işlettiği ve IJPS çerçevesinde NOAA ile yaptığı işbirliği ile işletilen uydular vasıtasıyla sağladığı küresel veri hizmetinin yanında, EUMETSAT, kendi dışında dünyadaki benzer uydu işleten kurumlar tarafından dağıtılan verilerin bir kısmını Avrupa, Afrika ve Amerika'daki kullanıcılarına sunmaktadır. EUMETSAT Üçüncü-parti veri servisi, NOAA, GCOM-W1 (JAXA), HY-2A (CNSA), SARAL (ISRO-CNES), Megha-Tropiques (ISRO), GPM-Core, Aqua, Terra (NASA), DMSP (US DoD), and FY-3 (CMA/NCMS) uydularının optik ve mikrodalga enstrümanlarından elde edilen verileri kapsamaktadır. Kullanıcılardan gelecek istekler ve verilerin uygun olmasına bağlı olarak gelecekte bu servisin verdiği hizmetler artacaktır.

Bu sunumda EUMETSAT üçüncü parti veri servisi tanıtılacaktır. Ayraca bu servisin kullanıcılardan alınan geri dönüşler ile NWP ve Nowcasting uygulamaları uzerindeki pozitif etkileri tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler — EUMETSAT, Meteorolojik Uydular, NWP.

1. GİRİŞ

EUMETSAT meteorolojik ve oşinografik uydular isleten ve bu uydulardan elde ettiği veri ve ürünleri dağıtan uluslararası bir organizasyondur. Bunun yanında NOAA ile birlikte IJPS (International Joint Polar System – Uluslararası Birleşik Polar Yörüngeli Uydu Sistemi) çerçevesinde NOAA uydularından elde edilen verileri islemekte ve dağıtmaktadır. Yakin zamanlarda pekçok uydu işleten organizasyon meteorolojik ve oşinografik uydu fırlatmaya ya da mevcut uydu verilerini daha geniş kullanıcılara dağıtmaya başladılar. Böylece daha çok ve gelişmiş uydu verisinin Sayısal Hava Tahmini modellerine asimilasyonu ve Nowcasting uygulamalarında kullanımı kullanıcılar tarafından istenmeye başladı. Bunun uzerine EUMETSAT üye ülkeleri EMETSAT'in mevcut veri dağıtım alt yapısını EUMETSAT ve IJPS uydularından elde edilen verilerin dışındaki verilerin dağıtımı için de kullanmaya karar verdi ve

bu görevleri yerine getirmesi için Üçüncü Parti Veri Servisi kuruldu [1]. Hangi uydu verilerin dağıtımın yapılacağına kullanıcı kitlesini temsilen EUMETSAT temsilci organları karar vermektedir. CMA (Çin Meteoroloji Servisi), CNES (Fransız Uzay Ajansı), ESA (Avrupa Uzay Ajansı), ISRO (Hindistan Uzay Araştırmaları Ajansı), JAXA (Japon Uzay Ajansı), JMA (Japon Meteoroloji Servisi), NASA (Amerikan Havacılık ve Uzay Ajansı), NOAA (Amerikan Meteoroloji Teşkilatı), NSOAS (Çin Oşinografik Uydu Uygulama Merkezi) ve ROSHYDROMET (Rus Hidroloji ve Meteoroloji Teşkilatı) gibi çeşitli organizasyonlar tarafından üretilen yekin gerçek zamanlı data çeşitli veri transfer mekanizmaları kullanılarak EUMETSAT'a aktarılır.

Uydu verisini sağlayan tarafın uyguladığı veri politikasına uygun bir şekilde gerektiğinde kullanıcı istekleri göz önünde bulundurularak veriler farklı formatlara dönüştürülerek ya da belirli parametreler, kanal veya coğrafi koordinatlar için kesilerek kullanıcılara dağıtımı yapılır. Veri dağıtımı genellikle EUMETCast ile bazı durumlarda ise GTS ile yapılır. Üçüncü Parti verilerin arşivlenmesi genellikle uydu verisini sağlayan kurumca yapılır ve bu verileri almak için de diğer EUMETSAT verileri gibi "Product Navigator" uzerinden kayıt yaptırmak gereklidir.

Bu makalede EUMETSAT'in aktif Üçüncü Parti Veri Servisi ve yakın gelecekteki genişletme planlaları ile dağıtımı yapılan veri ve ürünlerin SHT ve Nowcasting uygulamalarından örnekler verilecektir.

2. DAGITIMI YAPILAN UCUNCU PARTI UYDU VERILERI

EUMETSAT'in dağıtımını yaptığı uydu verileri genellikle kutupsal yörüngeli uydular olmakla birlikte, su anda dağıtımı yapılan ve gelecekte yapılacak olan önemli oranda sabit yörüngeli uydularda bulunmaktadır.

2.1. Kutupsal Yörüngeli Uydular

EUMETSAT tarafından dağıtımı yapılan üçüncü parti kutupsal yörüngeli uydu verilerinin dokumu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: EUMETSAT' tarafından dağıtımı yapılan üçüncü parti kutupsal yörüngeli uydu verileri

Uydu	Enstruman	Data	Tarih
NOAA – 15,18	Sounders	L1 BUFR	Q2 2014
Megha-Tropique	SAPHIR	L1A2 BUFR	Q2 2014
GCOM-W1	AMSR-2	L1B(R), SST	Q1 2014
GPM	GMI	L1A2 BUFR	Q1 2014
FY-3B, 3C	Sounders	L1 BUFR, HDF5	Q2 2014
HY2-A	MW-Imager, Altimeter, Scaterrometer	BUFR, GHRSST, netCDF	Q2 2014 Q1 2015
Suomi-NPP	VIIRS, CRiS, ATMS	BUFR, netCDF	Q2 2014
SARAL	Altika	BUFR	Q1 2013

NOAA KLM global uydu verileri daha önce İngiliz Meteoroloji Teşkilatı tarafından dağıtılmaktayken, 2014 yılının ikinci çeyreğinde EUMETSAT'a kurulan Global NOAA ATOVS Service (GNAS) sistemiyle, NOAA 15 ve 18 uydularından elde edilen AMSU-A, AMSU-B, MHS ve HIRS verileri BUFR formatında EUMETCast aracılığı ile dağıtılmaktadır. Aynı şekilde Çin FY 3A ve 3B üzerindeki MWTS, MWHS ve IRAS verilerinin de dağıtımı yapılmaktadır.

Hindistan-Fransız ortak yapımı MeghaTropique uydusu üzerindeki SAPHIR, Japon GCOM-W1 üzerindeki AMSR-2 ve Cin HY2-A uzerindeki MW-Imager ile uluslararası bir konsorsiyum olan GPM (Global Precipitation Measurement) serisi uydular üzerindeki GMI enstrümanlarından elde edilen Mikrodalga uydu verileri yine BUFR formatında kullanıcılara ulaştırılmaktadır. NASA Soumi NPP (National Polar-orbit Partnership) uydusu üzerindeki enstrümanlara ait veriler BUFR ve netCDF formatında dağıtılmaktadır.

2.2. Sabit Yörüngeli Uydular

EUMETSAT tarafından dağıtımı yapılan üçüncü parti sabit yörüngeli uydu verilerinin dökümü Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: EUMETSAT' tarafından dağıtımı yapılan üçüncü parti sabit yörüngeli uydu verileri

Foreign Satellite Data Description/ Dissemination Channel	**GOES-East (GOES-13)**	**GOES-West (GOES-15)**	**MTSAT (HIMAWARI 7) (HIMAWARI 8)**	**FENGYUN-2 (FY-2E,2D)**
MSG Direct Dissemination LRIT Encrypted	3 hourly All bands excluding IR_03_9_075W	3 hourly All bands excluding IR_03_9_135 W	Not disseminated	Not disseminated
EUMETCast Ku Band LRIT	1 hourly All bands	1 hourly All bands	30 mins 11 selected bands	1 hourly All bands
EUMETCast C-Africa Band. LRIT	3 hourly All bands	3 hourly All bands	Not disseminated	1 hourly All bands
EUMETCast C-Americas LRIT	3 hourly All bands	3 hourly All bands	Not disseminated	1 hourly All bands

NOAA GOES uydu verileri MSG uzerinden direkt ve EUMETCast'in tüm yayınları uzerinden dağıtılmaktadır. Japon sabit yörüngeli uydu serisinden HIMAWARI 7 verileri bu yıl sonuna kadar dağıtılacak, arkasından HIMAWARI 8 verilerinin dağıtımı başlayacaktır. Çin sabit yörüngeli uydu serisi FY-2D ve 2E verilerinin dağıtımı sadece EUMETCast servisleri ile yapılmaktadır.

Bunun yananda Geostationary Nowcasting Operational Service (GNOps) sistemi ile NWCSAF tarafından geliştirilmiş MSG yazılımı kullanılarak tüm disk MSG bulut ürünleri üretilmekte ve EUMETCast aracılığı ile dağıtılmaktadır.

3. DAGITIMI PLANLANAN ÜÇÜNCÜ PARTİ UYDU VERİLERI

EUMETSAT hem kullanıcı isteklerini göz önünde bulundurarak hem de küresel uydu veri sağlayıcı konumunu daha da geliştirmek amacıyla yakin gelecekte pek çok üçüncü parti uydu

verisinin dağıtımını yapmayı planlamaktadır. İkinci bölümde bahsi geçen uydu verisi sağlayan kurumların yani sıra basta Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere, Rusya, Çin, Güney Kore, ve Hindistan da bulunan uydu verisi sağlayan kurumlarla yeni işbirliği imkanlarını araştırmakta ve geliştirmektedir. Bu bağlamda Tablo 3'te yakin gelecekte dağıtımı yapılması planlanan uydu verileri verilmiştir.

Tablo 3: Yakin gelecek için dağıtılması planlanan üçüncü parti uydu verileri

Kurum	**Uydu**	**Enstrumanlar**	**Uygulama Alani**	**Firlatilma Tarihi**
NASA	Aquarius/SAC-D (TBC)	L-band radiometer/scat	Sea surface salinity	Launched 2011
	SMAP	L-band radar/radiometer	SoMo thaw/freeze	2014
	ISS (OSI SAF)	RapidScat	Ocean surface wind	2014
	OCO-2 (TBC)	NIR spectrometer	CO2	2015
ESA	ADM/Aeolus	Lidar	Wind profiling	2015
	EarthCARE	Lidar/Radar/MSI/ BBR	Cloud & aerosol	2016
	Sentinel-5 precursor/SRON (Copernicus)	NIR	Atmospheric composition	2015
CNES	Taranis (TBC)	Charged particles	Lightning/TLE/TGF	2016
Cin	HY-2C	Altimeter/scat/ µwave	Marine	2016
	HY-2D	Altimeter/scat/ µwave	Marine	2019
	CFOSAT	scat/Ku-radar	Marine	2015
CMA	FY-3D	MWTS, MWHS, IRAS, VIRR, MERSI	Meteorology	2015

ROSHYDRO MET	ELECTRO-LN2	MSU-GS 14.5 degW IR, VIS, WV	Meteorology	2014
JAXA	GCOM-C1	VNIR	Carbon Cycle	2016
ISRO	INSAT-3D	IMAGER, SOUNDER	Meteorology, Marine	2013
	SCATSAT	Scattrometer	Ocean Surface Wind	2016
KMA	COMS-2 (TBC)	MI, GOCI 128 degE IR,VIS,WV	Meteorology	2017

Tablo 3'te görüleceği gibi önümüzdeki dönemde Rusya ve Güney Kore'deki uydu verisi sağlayıcılarla işbirlişine gidileceği gibi, Enstrüman ve Uygulama alanlarda da önemli oranda yenilikler bulunmaktadır. TBC olarak belirtilen projeler henüz kesinleşmemiştir.

4. ÜÇÜNCÜ PARTİ UYDU VERİLERİ VE KULLANICI GERİ DÖNÜŞLERİ

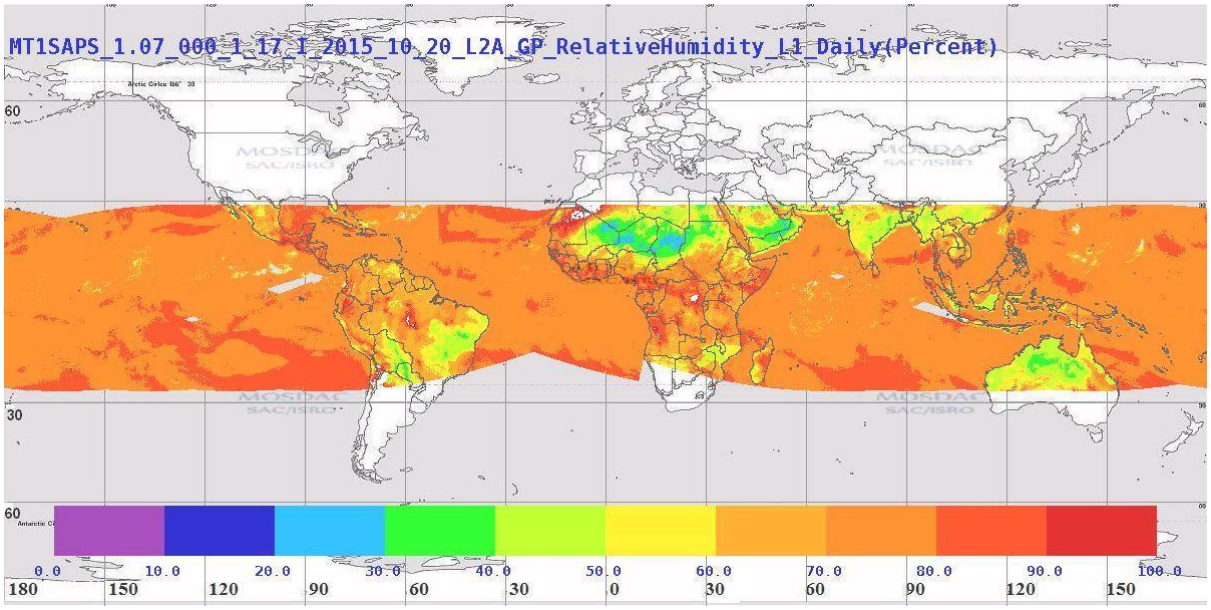
Bu bolümde dağıtımı yapılan bazı veri ve ürünlerden örnekler ile kullanıcılardan alınan geri dönüşler hakkında bilgiler verilecektir. Uydu verileri ile ilgili kullanıcı geri dönüşleri genellikle Sayısal Hava Tahmini modellerine veri asimilasyonu seklinde ve Nowcasting uygulamalarında veri ve urun kullanımı seklinde olmaktadır.

4.1. Ucuncu Parti Uydu Veri Ornekleri

4.1.1. Megha-Tropique SAPHIR

SAPHIR 6 kanallı bir Mikrodalga sounding enstrümanıdır ve su buharı absorbsiyon bandı olan 183 GHz civarında topladığı verilerden su buharı profile elde edilmektedir. Uydunun fırlatılma amacı Tropik enlemlerden veri almak olduğu için yörüngesi sürekli olarak 22° Kuzey Enlemi ile 22° Güney Enlemi arasında olmaktadır. SAPHIR enstrümanından elde edilmiş birleştirilmiş bir Nisbi Nem ürünü Sekil 1' de verilmiştir. Bu uydudan elde edilen veriler özellikle SHT

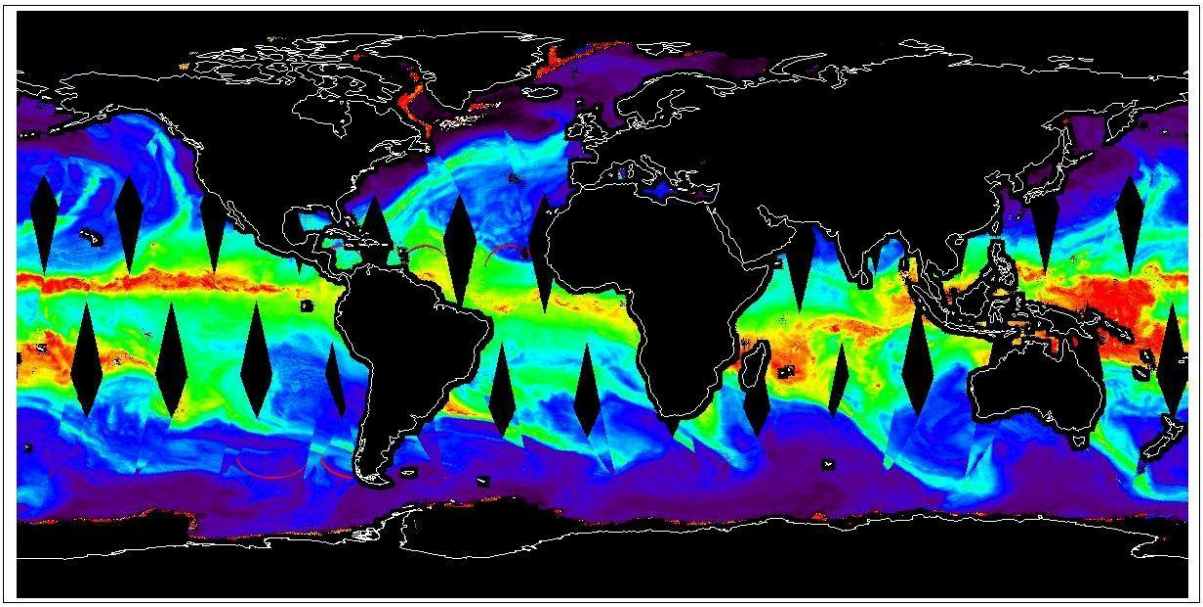
modellerinde Tropik enlemlerdeki uydu verisi açığını kapatmasından son derece önemli olmaktadır.



Şekil 1: *Birlestirilmis SAPHIR Nisbi Nem urunu (Kaynak:ISRO).*

4.1.2. HY2-A MWRI (Microwave Radiometer Imager)

MWRI çok kanallı bir Mikrodalga enstrümanıdır ve elde edilen veriler genellikle okyanus yüzeyleri ile kıyı bölgelerindeki bio-çeşitlilik, kirlilik vs gibi amaçlara yönelik çalışmalarda kullanılmaktadır. MWRI enstrümanından elde edilmiş birleştirilmiş bir Su Buharı urunu Sekil 2' de verilmiştir.



5.1

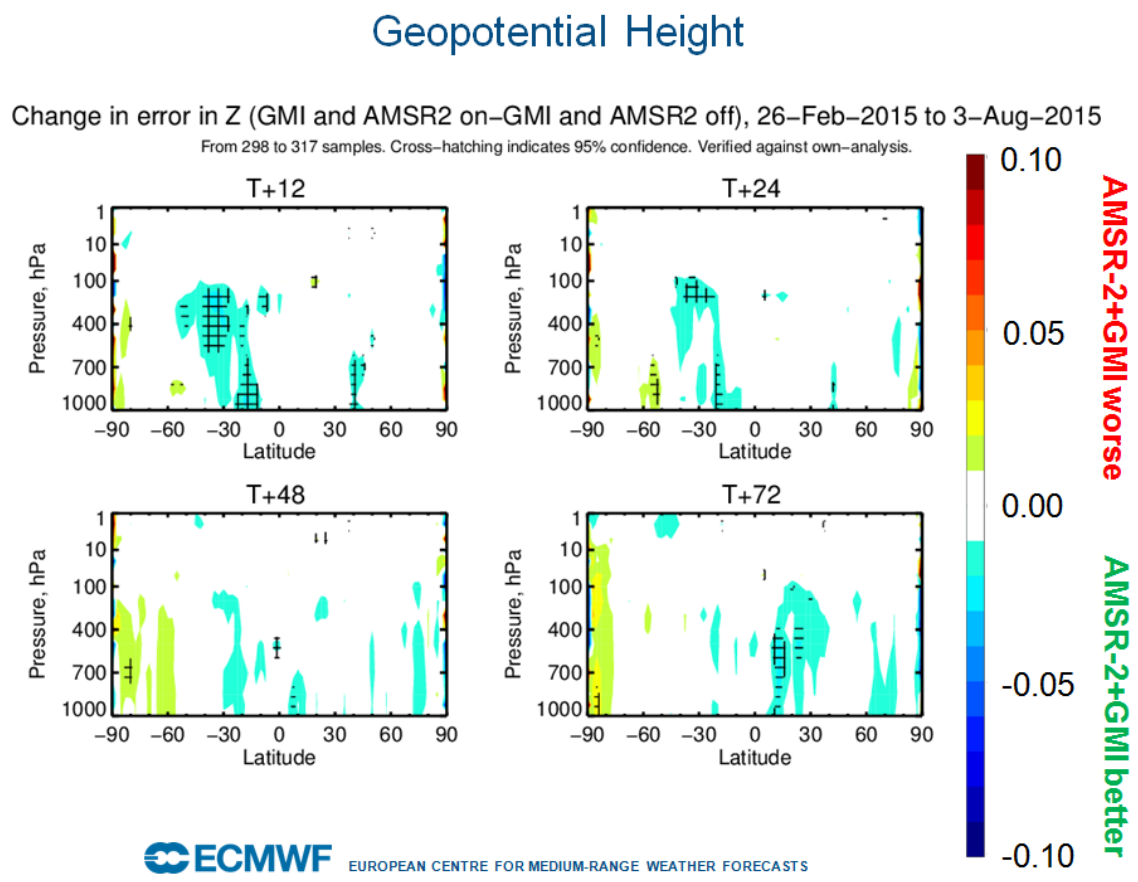
Şekil 2: *Birleştirilmiş MWRI Su Buharı ürünü*.

4.2. KULLANICI GERİ DÖNÜŞLERİ

4.2.1. GCOM-W1 AMSR-2 ve GPM GMI Mikrodalga Verileri

EUMETSAT'ta 9 Eylül 2015 tarihinde gerçekleştirilen GCOM-W1 AMSR-2 kullanıcıları çalıştay serisinin ikincisinde ECMWF ile İngiltere ve Polonya Meteoroloji teşkilatından katılımcılar AMSR-2 ve GMI verilerinin kullanımı ile elde ettikleri sonuçları paylaşmışlardır.

ECMWF 2015 yılı Şubat-Ağustos ayları arasında GMI ve AMSR-2 verilerini SHT modeli için kullanmış ve Geopotansiyel Yükseklik ürününde ilk 4 günlük tahmin hatalarının standart sapmasında küçük fakat anlamlı bir azalma elde edildiği Şekil 3'ten anlaşılmaktadır [2].



Şekil 3: *Geopatansyiyel yükseklik ürünün MW uydu verisi asimilasyonu ile değişimi (Kaynak:ECMWF).*

5. SONUÇLAR

EUMETSAT tarafından geliştirilen ve isletilen uydulara ait verilerin ve bunlardan elde edilen ürünlerin yanında dünyada ki diğer uydu isleten kurumlar ile yapılan işbirliği çerçevesinde dağıtımı yapılan veri ve ürünler ile EUMETSAT meteorolojik, cevre ve oşinagrafik uydu konusunda küresel bir aktör konumuna gelmiştir. Jason ve Copernicus projeleri hayata geçirilerek bu konularda yapılan katklılar önemli bir uluslararası boyut kazanmıştır. Üçüncü Parti Veri Servisi olarak uygun maliyet ile kullanıcılarımıza bilimsel ve teknik özellikleri çok yüksek seviyede olan uydu veri ve ürünlerinin dağıtımını yapmakta ve özellikle SHT modelleri ile Nowcasting uygulamalarına katkı sağlamaktayız.

KAYNAKLAR

[1] **Heinemann T., Dieterle S., Elliott S., Sorensen A.,** *Third Party Data Services At EUMETSAT*, EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Vienna, 2013l.

[2] **Lonitz K., Lean P., Geer A.,** *Update on the use of AMSR-2 data at ECMWF*, JAXA User Workshop, Darmstadt, 2015.

Radar Yansımaları (Reflektivite) ve Yer Ölçümlerinin Ortak İhtimal Dağılım Modeli

Ahmet Köse
İstanbul Büyükşehir Belediyesi
Afet Koordinasyon Merkezi Müdürlüğü (AKOM)
İstanbul
a.kose@ibb.gov.tr

Yavuz Selim Güçlü
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
İstanbul
gucluya@itu.edu.tr

Murat Arslan
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
İç Denetim Birimi Başkanlığı
Ankara
muarslan@mgm.gov.tr

Osman Çaylak
İstanbul Büyükşehir Belediyesi
Afet Koordinasyon Merkezi Müdürlüğü (AKOM)
İstanbul
osman.caylak @ibb.gov.tr

Selçuk Tütüncü
İstanbul Büyükşehir Belediyesi
Afet Koordinasyon Merkezi Müdürlüğü (AKOM)
İstanbul
selcuk.tutuncu@ibb.gov.tr

Fulya Baybaş
MapCodex Gis Solutions
Ankara
fulyabaybas@mapcodex.com

Zekai Şen
Su Vakfı
İstanbul
zsen@itu.edu.tr

ÖZET

Meteorolojide radar ölçümlerinin uygulamada en önemli sorunu yansıma değerlerinin gerçek yağışlara dönüştürülmesidir. Önceden yapılmış çalışmalarında yansıma ile yağış değerleri arasında çifte logaritmik eksende bir doğrusal ilişki veren kuvvet fonksiyonu yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada da en önemli sorun kuvvet fonksiyonunun ölçek ve üs parametrelerinin tespit edilmesidir. Ülkemizde bu parametreler genel olarak diğer ülkelerde belirlenmiş en uygun değerlerin kullanılması yoluna gidilmektedir. Böyle bir yaklaşım sonucunda elde edilen yağış değerlerinin güvenirliliği pek bulunmamaktadır. Bu çalışmada radar yansıma ve yer yağış ölçümlerinin her birinin ayrı ayrı ihtimal yoğunluk fonksiyonları bulunduktan sonra burada geliştirilen bir yöntemle bunların çakıştırılması sonrasında artık radar ölçümlerinden yağış verilerinin elde edilmesi sorunsuz hale gelecektir.

Anahtar Kelimeler — çakıştırma, ihtimal, İstanbul, meteoroloji, radar, yağış, yansıma.

1. GİRİŞ

Günlük hayatta en çok konuşulan ve bilimsel içeriği olan konular arasında meteoroloji olaylarının yorumlanması gelmektedir. Bu olayların mümkün ise bir dereceye kadar önceden tespit edilmesi, takip edilmesi ve bunların sonucunda da doğru tahmin edilmesi hayatın bütün faaliyetlerinde önemli rol oynamaktadır. Tahminlerin en kısa zamanda ilgili kurum, kuruluş ve halka iletilmesi insanların önceden bir tür tedbir almasına çok faydalıdır. Meteoroloji kaynaklı aşırı yağış, taşkın ve ani sel, su basmaları, kuraklık, vb. halk tarafından çok iyi tanınan olayların can ve mal kayıplarına sebebiyet vermemesi için sadece bilimsel çalışmalar değil bunun temelinde yerel meteorolojik ve iklim bilgilerine ihtiyaç vardır. İklim değişikliği, arazi kullanımı ve yeryüzünde insan faaliyetleri sonucunda meydana gelen değişimler sonucunda meteoroloji bilgilerine her geçen gün daha da fazla hassasiyetle ihtiyaç duyulmaktadır.

Radar yansıma değerleri (dbZ), (Z) yer yüzeyi yağış miktarını (R) tahmin etmekte kullanılan en önemli ürünlerden biridir. 1947'lerin başlarından itibaren [1,2] bu iki parametre arasındaki ilişkiyi birçok farklı yöntem kullanılarak tespit edilmeye çalışılmış ve bu konuda birçok bildiri ve makale yayınlanmıştır. Z–R ilişkisini tanımlamaya yönelik olarak 69 tecrübeye dayalı (ampirik) formül tanımlanmıştır [3]. Fırtına kaynaklı afet yönetimi, taşkın tahmini, erken uyarı gibi konular meteorolojik radar sistemlerinin operasyonel kullanım alanlarına girmektedir [4].

Meteorolojik radarlar özellikle yağış ölçüm istasyonlarının bulunmadığı bölgelerde olası bir taşkın tahminine yönelik olarak yüksek çözünürlüğe sahip uzaysal ve zamansal yağış verisi sağlamaları açısından önemlidir [5].

Genelleştirilmiş Z-R denklemleri kullanılarak zamansal ve uzaysal bir çalışma alanı üzerindeki Yağmur taneciğinin iki boyutlu dağılım modeli çıkarılmıştır [6]. Radar ürünlerinden yağış tahminine yönelik olarak yapılan benzer bir çalışmada [7] radar yansıma değerleri (Z) ve yer yüzeyi yağış miktarını (R) arasındaki dinamik mikro fiziksel aşamalar karakterize edilmiştir. NOAA'nın Tropikal siklonlardaki mikrodalga boyu emisyon ölçümlerinde kullanılan WP-3D uçağında ki alt gövde radarından, burun radarından ve gövde kısmında bulunan mikrodalga frekans radyometresinden eş zamanlı ölçümler yapılarak yağış tahminlerini doğrulamaya yönelik çalışma yapılmıştır [8]. Atmosferik radyasyon ölçümleri programı kapsamında yapılan bir çalışmada yağış miktarı tahmini ve yağış tipinin belirlenmesine yönelik olarak yeni ölçümler yapılmıştır [9].

Özellikle meteoroloji radarlarından en kısa ve erken şekilde alınan bilgilerin yaygın bir şekilde bir ülkede kullanılması meteoroloji kaynaklı zararlı olayların özellikle erken uyarıları için gün gittikçe önemi daha da artmaktadır. Meteoroloji radarlarının teknolojik olarak satın alınarak kurulması ekonomik bir külfet getirir ama buradan alınacak verilerin ülke şartlarına göre ayarlanmış olarak işlenmemesi sonucunda mali zararlar yığışımlı bir şekilde büyür. Özellikle otomatik meteoroloji istasyonlarından alınan (AWOS=OMGİ gibi) yersel verilerin tahminlerde kullanılması için radar verileri ile eşgüdümlü hale getirilmesi ve doğru yöntemlerle çalışılması gerekmektedir.

Bu çalışmada radar yansıma (reflektivite) ve yer istasyonlarında yapılmış eş zamanlı veri kümelerinin ayrı ayrı ihtimal yoğunluk fonksiyonlarının belirlenmesinden sonra bu iki dağılım fonksiyonlarının birbiri ile çakıştırılması ile radar verilerinin tam anlamı ile kullanılabilir hale getirilmesi hedeflenmiştir.

2. OTOMATİK GÖZLEM İSTASYONU (OMGİ)

Otomatik meteoroloji istasyonları; meteorolojik parametrelerdeki değişimlere duyarlı ve bu değişimlerin miktarını ölçen sensörlerden oluşmaktadır.

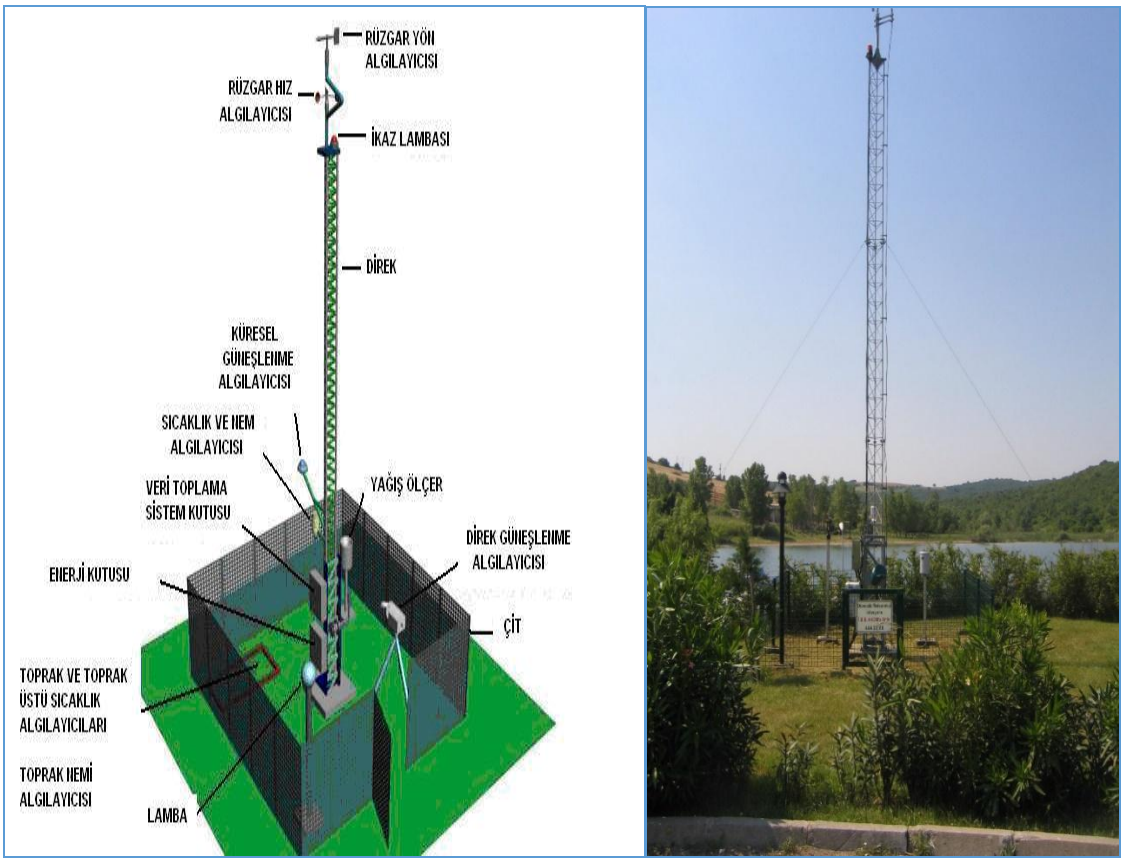
Ayrıca, bu sensörlerin ürettiği mühendislik birimlerini (volt, amper, frekans gibi) meteorolojik bilgilere ve birimlere dönüştürmek için gerekli hesaplamaları ve çevirmeleri yapan ana işlem

ünitesi, bu bilgilerin çeşitli yerlerde görüntülenmesini sağlayan görüntüleme üniteleri ile üretilen bilgi ve meteorolojik kodların ilgili merkezlere iletilmesini sağlayan haberleşme üniteleri de otomatik istasyon bünyesinde yer almaktadır.

Otomatik istasyonlar, ölçülen ve hesaplanan çeşitli meteorolojik parametrelerin belirli formatlarda meteorolojik mesajlara dönüştürülmesi işlemini yaptıkları gibi, yine bu bilgilerin belirli formatlarda saklanması, grafiklere dönüştürülmesi ve yazıcılarda kaydedilmesi işlerini de yaparlar. Böylece, herhangi bir bilgi kaybı olmaksızın, meteorolojik parametrelerin sürekli olarak ve en doğru şekilde elde edilmesi sağlanmış olur [10].

Otomatik meteoroloji gözlem istasyonları Şekil 1'de gösterilen ünitelerden meydana gelmektedir.

- Sensörler ve sensör ara yüzleri
- Veri toplama ünitesi
- Merkezi kontrol ve işlem ünitesi
- Görüntüleme ünitesi
- İletişim ara yüzleri
- Güç kaynakları



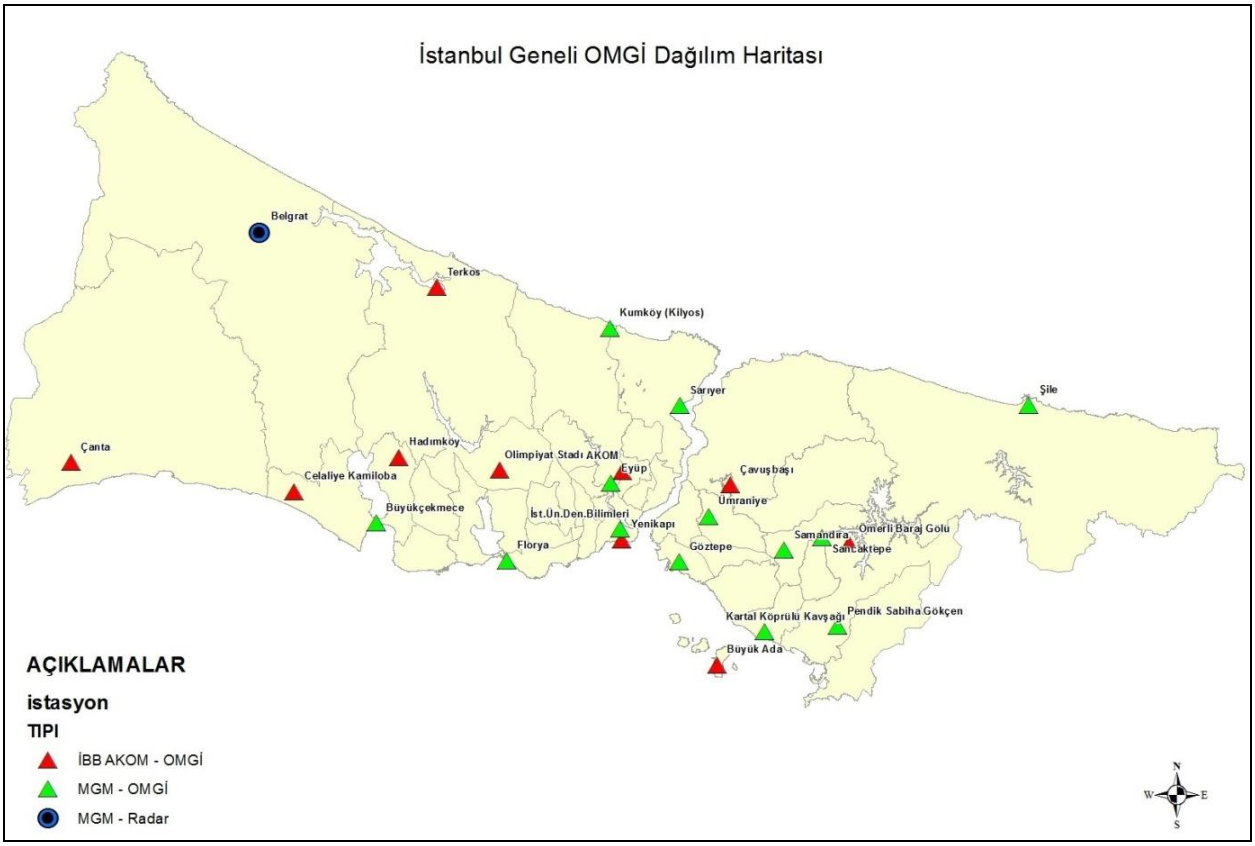
Şekil 1: Otomatik meteoroloji gözlem istasyonu.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ile İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı (İBB) yaptıkları protokolle MGM istasyonlarının bulunmadığı 10 farklı noktaya, Tablo 1 ve Şekil 2'de gösterildiği gibi Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) kurmuştur. Kurulan istasyonlarla yağışın tipi, cinsi, miktarı, sıcaklık, nem, fırtına vb. meteorolojik hadiseler ölçülmekte ve tespit edilmekte olup, İBB'ye bağlı ekipler olay yerine sevk edilmektedir. Ayrıca bu istasyonlarda ölçülen veriler MGM tarafından da hava tahmininde kullanılmaktadır.

Tablo 1: MGM ve İBB istasyon koordinatları.

	İSTASYON ADI	BOYLAM	ENLEM
MGM İSTASYONLARI	Istanbul Üniversitesi Vefa OMGİ	28.96012817	41.01578434
	Samandra Meydan OMGI	29.21435694	40.98675774
	Atatürk Havaalanı OMGİ	28.81221511	40.97206085
	Kartal OMGİ	29.15609378	40.91136936
	Kumköy Kilyos OMGİ	29.03833980	41.25038476
	Göztepe OMGİ	29.05790605	40.97142560
	Şile OMGİ	29.60016891	41.16870912
	Sarıyer Kireçburnu OMGİ	29.05012010	41.14647987

	Sabiha Gökçen OMGİ	29.28844419	40.89415767
	Florya OMGİ	28.78663768	40.97576334
	Çatalca OMGİ	28.35660682	41.34089072
İBB İSTASYONLARI	Silivri-Çanta- OMGİ	28.07840890	41.08500941
	Beykoz- Çavuşbaşı - OMGİ	29.13665380	41.07613044
	İkitelli-Olimpiyat - OMGİ	28.76618476	41.08488210
	Terkos -OMGİ	28.65865048	41.30437458
	Hadımköy - OMGİ	28.62601826	41.13753085
	Kağıthane - AKOM	28.96200698	41.08536094
	Ömerli - OMGİ	29.32986629	40.99914557
	Aksaray - OMGİ	41.00195654	28.94331301
	Kamiloba- OMGİ	28.41899204	41.04747399
	Büyükada - OMGİ	29.11762182	40.85262880

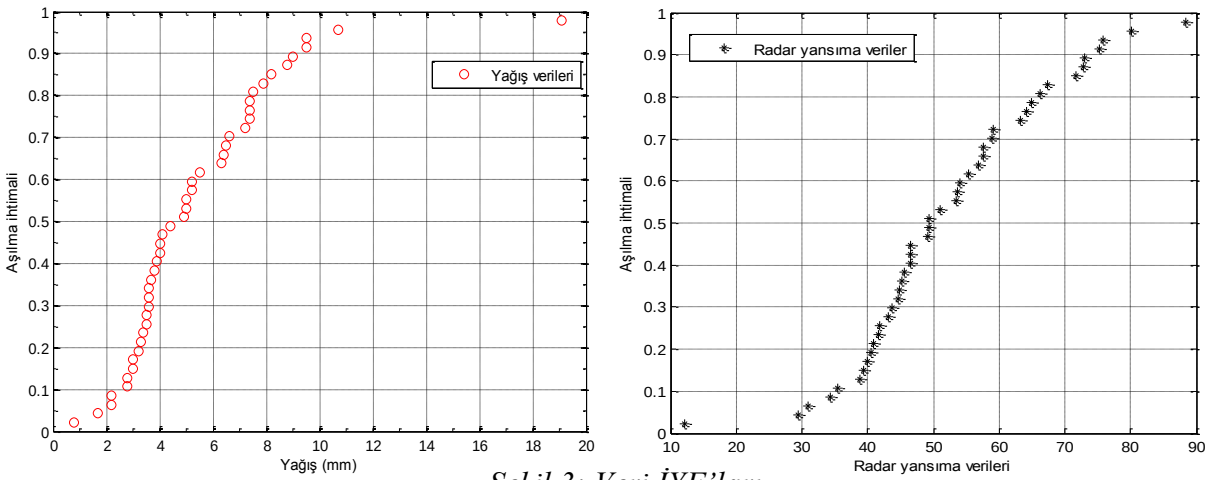


Şekil 2: İstanbul'daki MGM ve İBB'ye ait OMGİ haritası.

3. İHTİMAL DAĞILIM FONKSİYONU ÇAKIŞTIRILMASI

Yapısı bakımından belirsizlik içeren değişik meteoroloji faktörleri arasında insan hayatını en fazla etkileyen yağmur ve kar olaylarının bilimsel olarak incelenmesi ancak belirsizlik ilkelerinden ihtimal, istatistik, stokastik ve kaotik yöntemlerden biri veya birkaçının bir arada kullanılması ile mümkün olabilmektedir. Buradaki çalışmda yağış olayının iki farklı ölçümünün birbirleri ile uyumlu hale getirilmesi için ihtimal yoğunluk fonksiyonları (İYF) kullanılmıştır. Bunlardan radar yansıma verileri dolaylı olarak yağış miktarının ölçümünü içinde saklar ve yer ölçümleri ise doğrudan gerçek değerleri vermektedir. Radar yansıma değerleri içinde saklı olan yağış verilerinin ortaya çıkarılması ancak yansıma ve eş zamanlı yağış verileri ölçümlerinin bir arada bulunması ile mümkündür. Burada temsili olarak radar yansıma ve yağış verilerinin İYF'ları sırası ile f(rv) ve f(yv) ile gösterilirse, bunların bir şekilde üst üste çakıştırılması ile her ikisindeki belirsizlik davranışları aynı yapılmış olur. Bunun için yapılması gerekli olan işlemler adım adım aşağıda belirtilmiştir.

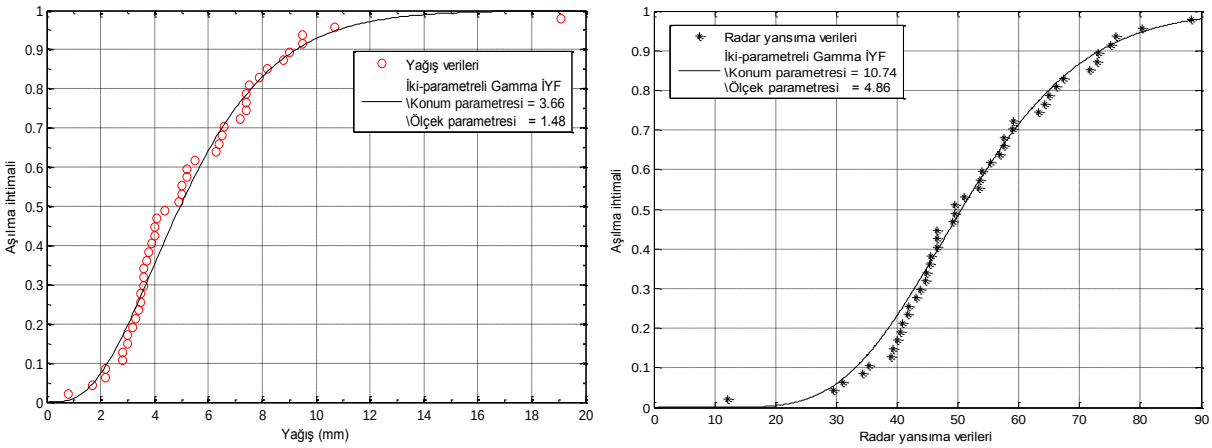
1) Eldeki radar yansıma verilerinden bunların İYF'nu, f(rv), tespit et ve aynı işlemi yağış verileri için de yaparak f(yv) yağış verileri İYF'nu bulunur. Burada misal olarak Şekil 3'deki gibi iki adet İYF elde edilir. Bu şekilde yatay eksen veri değerlerini düşey eksen ise aşılma ihtimalini gösterir. Bunun elde edilmesi için Şen [11] tarafından yazılmış kitaptan yararlanılabilir.



Şekil 3: Veri İYF'ları.

a **b**

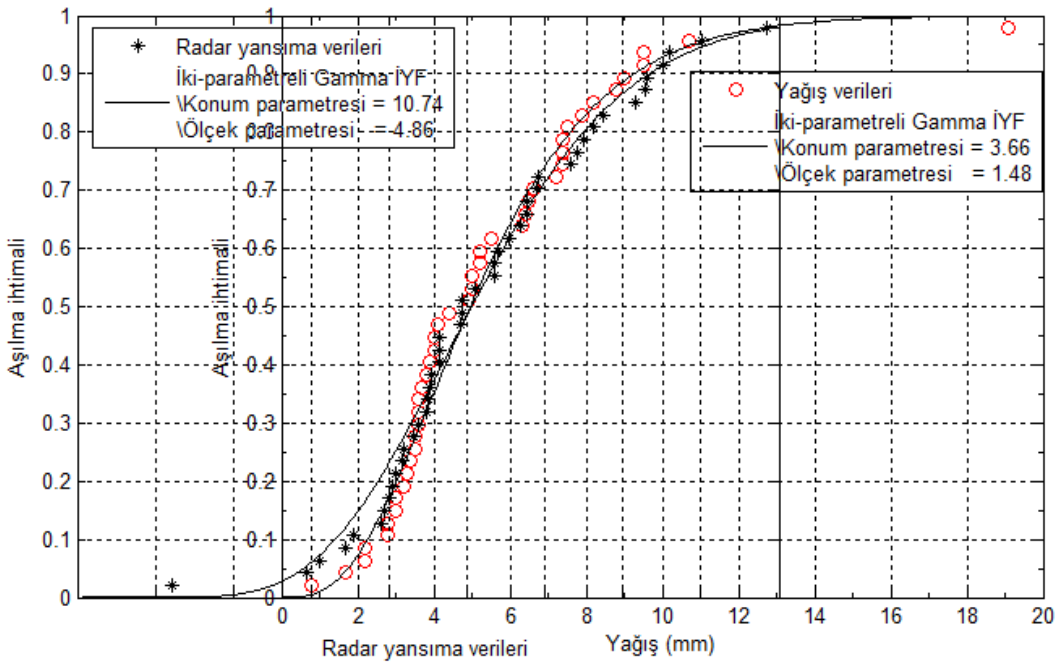
2) Şekil 3'deki her iki saçılma noktalarına ayrı ayrı en iyi uyan teorik İYF'ları tespit edilir. Bu işlem yapılırken en çok kullanılan normal (Gaussian), logaritmik-normal, iki-parametreli Gamma, Gumbel ve Pearson III dağılımlarından en uygun olanının seçilmesi tavsiye edilir. Böylece verilerle İYF'ları kendi aralarında uygun hale getirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4: Verilere en iyi uyan teorik İYF'ları.

a **b**

3) Son aşamada bu iki İYF'nun birbiri üzerine gelecek biçimde yatay eksen boyunca ötelenmesi ile çakıştırılması sonucunda Şekil 5'deki durum elde edilir.



Şekil 5: Çakıştırılmış İYF'ları.

3.1 İki Parametreli Gamma Olasılık Dağılım Fonksiyonu

Olasılık kuramı ve istatistik bilim dallarında iki parametreli gamma dağılımı sahip olduğu parametreler sayesinde normal dağılıma göre esnek ve çarpık şekiller alan bir olasılık dağılım çeşididir. Bu parametrelerden biri ölçek parametresi θ, diğeri ise şekil parametresi olan k'dır. Gamma olasılık dağılım fonksiyonu aşağıdaki Denklem 1'le ifade edilir.

$$y = f(x;k,\theta) = \begin{cases} \dfrac{x^{k-1}e^{-x/\theta}}{\theta^k \Gamma(k)} & x > 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Burada Γ gamma fonksiyonudur (Denklem 2). Denklem 2'de k pozitif tamsayı ise o zaman denklem 3 elde edilmiş olur ($k = \alpha$).

$$\Gamma(k) = \int_0^\infty y^{k-1}e^{-y}dy \quad x > 0 \quad (2)$$

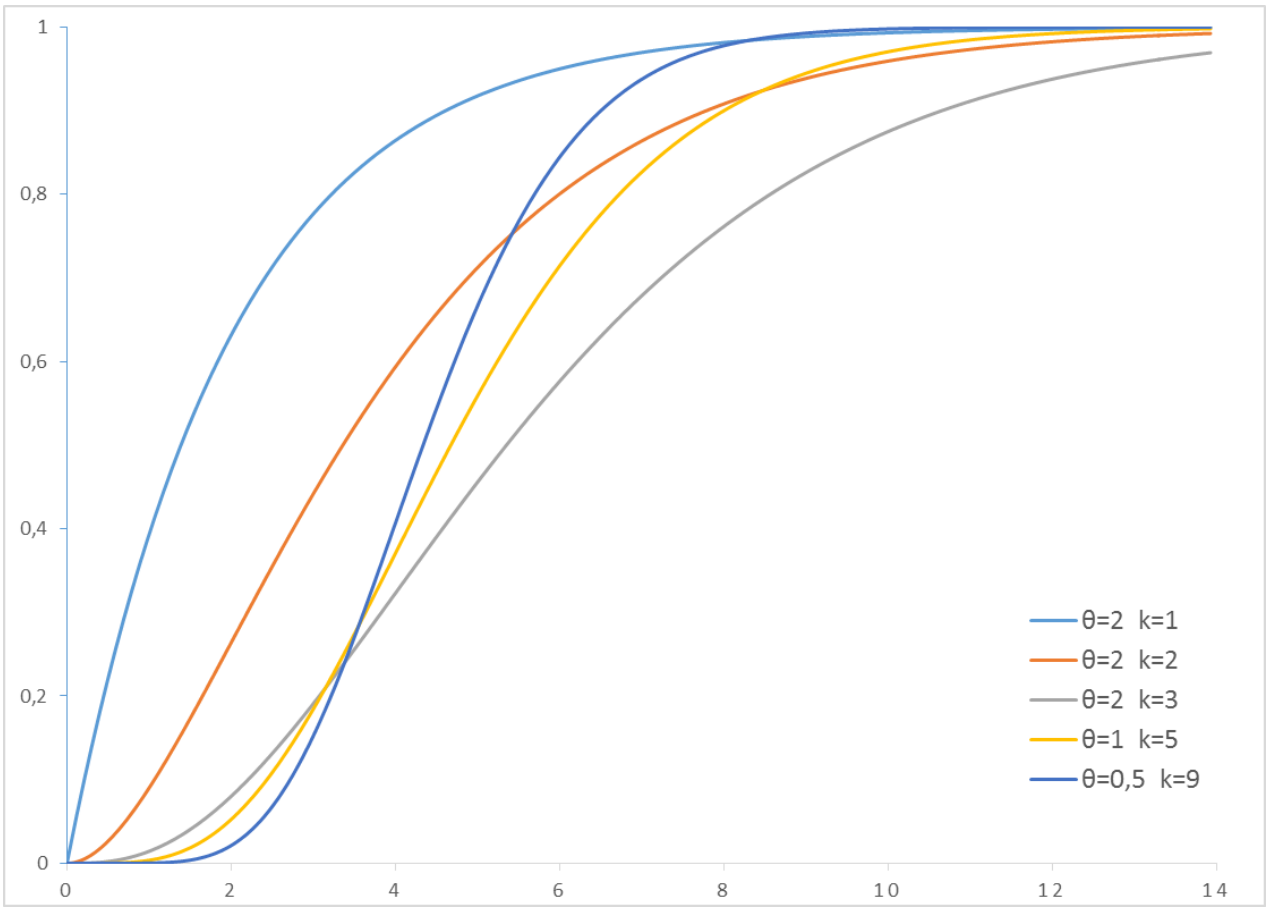
$$\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1)! \quad (3)$$

Gamma dağılım fonksiyonu esnek ve çarpık olmakla birlikte bazı özel halleriyle kendisinde bazı olasılık dağılım fonksiyonlarını barındırır. Örneğin k=1 için üstel dağılım elde edilmektedir.

Gamma yığışımlı dağılım fonksiyonu Denklem 1'in integrali ile elde edilmektedir (Denklem 4).

$$F(x;k,\theta) = \int_0^x f(u;k,\theta)du = \int_0^x \frac{u^{k-1}e^{-u/\theta}}{\theta^k \Gamma(k)} du \quad (4)$$

Denklem 4 kullanılarak çizdirilen İYF grafiği ilgili parametrelerin değerlerine göre farklı şekillerde gösterilebilmektedir (Şekil 6).



Şekil 6: Gamma dağılım fonksiyonundaki parametrelerin aldığı farklı değerlere göre ortaya çıkan eğriler.

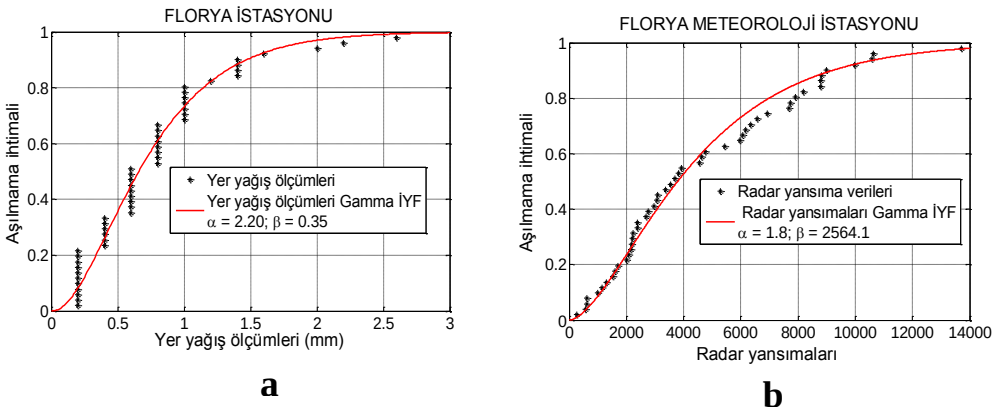
4. UYGULAMA

Önceki bölümlerde açıklanan yaklaşımların İstanbul'daki Florya meteoroloji istasyonunda eş zamanlı olarak kayıtları bulunan radar yansıma ve yer yağış ölçümlerine uygulanmıştır. Her iki verinin sayısal değerleri Tablo 2'de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

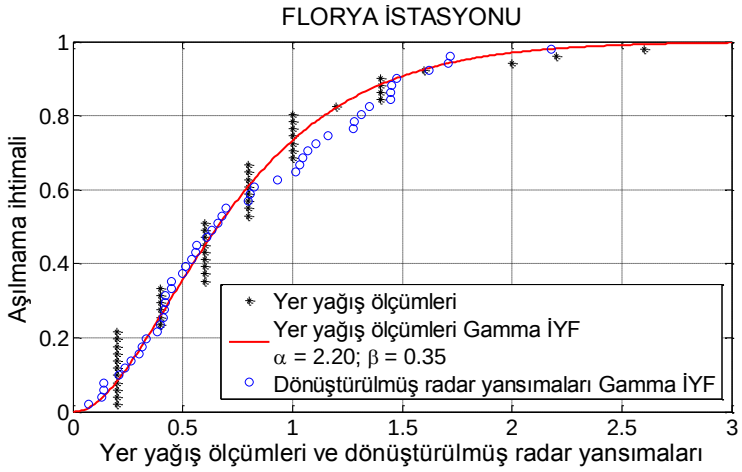
Tablo 2: Radar yansıma ve yer yağış ölçümleri

Tarih saat	Yansıma verisi	Hesaplanmış Veri (mm)	Yer verisi (mm)	İYF'na göre Hesaplanmış veri (mm)
1	4	5	8	9
14.04.2012 15:00	2773	0.2773	0.2	0.512
14.04.2012 15:06	7680	0.768	0.2	1.277
14.04.2012 15:12	1005	0.1005	0.6	0.212
14.04.2012 15:18	1303	0.1303	0.6	0.265
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
14.04.2012 19:36	4623	0.4623	0.2	0.806
14.04.2012 19:42	3918	0.3918	0.2	0.695
14.04.2012 19:48	2965	0.2965	0.6	0.543
14.04.2012 19:54	2231	0.2231	0.4	0.423
Ortalama	0.772	0.780		
St. Sap.	0.542	0.537		

Önceki bölümde açıklanan adımların bu çizelgedeki ikinci ve dördüncü sütunlardaki radar yansıma ve yer yağış ölçümlerine uygulanması sonucunda elde edilen grafikler Şekil 7 ve 8'da gösterilmiştir. Ortaya çıkan Gamma İYF'na göre yapılan yağış miktarları da aynı çizelgenin son sütununda verilmiştir. Yer yağış verilerinin ortalama ve standart sapma miktarları üçüncü ve sonuncu sütunlardaki ortalamalarla kıyaslanması sonucunda burada sunulan yönteme göre radar verilerinin daha tutarlı olduğu anlaşılır. Aynı sütunlardaki standart sapmaların kıyaslanması da bunu göstermektedir.

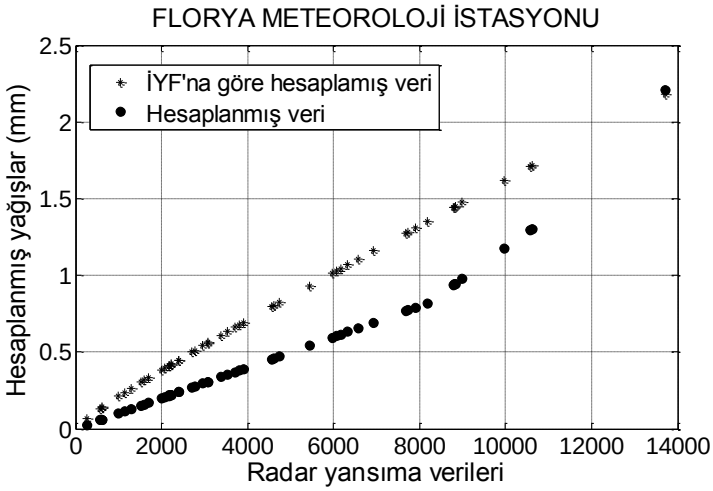


Şekil 7: Gamma İYF a) Yer yağış ölçümleri, b) Radar yansımaları ölçümleri



Şekil 8: Yer ölçüm ve dönüştürülmüş radar yansımaları yağışları.

Tablo 2'in üçüncü sütunundaki hesaplamaların literatürde bulunan klasik regresyon yöntemi ile yapıldığı kabul edilirse burada sunular İYF yaklaşımının daha sağlıklı sonuç verdiği Şekil 9'dan da anlaşılmaktadır.



Şekil 9: Radar yansıma ve hesaplama yöntemleri verileri.

5. SONUÇLAR

Meteoroloji tahmin sonucu bilgilerinin her an güncellenebilmesi için değişik cihazlarla yapılan ölçümlerin eşgüdümlü hale getirilmesi daha sonrada yapılacak taşkın, kuraklık, buzlanma, vb. olayların tehlikelerinin en aza indirilmesi çalışmalarında önemi çok fazladır. Bu cihazlardan ikisinden alınan ölçümlerin (radar yansıma ve yerel yağış ölçümleri) eşgüdümlenmesi daha

sonradan yapılacak değişik sosyal faaliyetlerle bilimsel çalışmaların başarıya ulaşmasında rol oynarlar. Bu çalışmada İstanbul radarından alınan yansıma verilerinin Florya istasyonunda yapılan yağış ölçümleri ile uyumlu hale getirilerek radar yansıma verilerinden yağış miktarlarının hesaplanması için ihtimal yoğunluk fonksiyonları (İYF) çakıştırma yöntemi teklif edilerek gerekli işlemler açıklanmıştır.

KAYNAKLAR

[1] **Marshall, J. S. and Palmer, W. McK.,** "The Distribution of Raindrops with Size," J. Meteor., Vol. 5, 1948, pp. 165-166.

[2] **Smith, J.A. and Krajewski, W.F.,** 1993. A modeling study of rainfall rate – reflectivity relationships. Water Resour. Res., 29, 2505–2514

[3] **Battan, L.J.,** 1973. Radar observation of the atmosphere. The University of Chicago Press, Chicago, 324 pp.

[4] **Collier, C.G.,** 1989. Applications of weather radar systems: a guide to uses of radar data in meteorology and hydrology. Ellis Horwood, Chichester, UK. 294 pp.

[5] **Ayman Mohammed Hashem Albar, Abdulrahman Khalaf AL-Khalaf, Heshmat Abdel-Basset Mohamed,** 2015 Radar Rainfall Estimation of a Severe Thunderstorm over Jeddah. Atmospheric and Climate Sciences 05, 302-316.

[6] **Toshiaki Kozu, Toshio Iguchi, Toyoshi Shimomai, Nobuhisa Kashiwagi,** 2010 Raindrop Size Distribution Modeling from a Statistical Rain Parameter Relation and Its Application to the TRMM Precipitation Radar Rain Retrieval Algorithm. Journal of Applied Meteorology and Climatology 48:4, 716-724.

[7] **Olivier P. Prat, Ana P. Barros,** 2010. Exploring the Transient Behavior of Z–R Relationships: Implications for Radar Rainfall Estimation. Journal of Applied Meteorology and Climatology 48:10, 2127-2143.

[8] **Haiyan Jiang, Peter G. Black, Edward J. Zipser, Frank D. Marks Jr., Eric W. Uhlhorn,** 2010 Validation of Rain-Rate Estimation in Hurricanes from the Stepped Frequency Microwave Radiometer: Algorithm Correction and Error Analysis.Journal of the Atmospheric Sciences 63:1, 252-267.

[9] **Min Deng, Pavlos Kollias, Zhe Feng, Chidong Zhang, Charles N. Long, Heike Kalesse, Arunchandra Chandra, Vickal V. Kumar, Alain Protat**, 2014. Stratiform and

Convective Precipitation Observed by Multiple Radars during the DYNAMO/AMIE Experiment. Journal of Applied Meteorology and Climatology 53:11, 2503-2523. Online publication date: 1-Nov-2014.

[10] http://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojikaletler.aspx?a=j, Son Kontrol: 22.10.2015.

[11] **Şen, Z.,** 2009. Kuraklık afet ve modern hesaplama yöntemleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

İSTANBUL BOĞAZI KARADENİZ ÇIKIŞINDA KURULAN HF (HIGH FREQUENCY) DENİZ RADARI'NIN, METEOROLOJİK AMAÇLI ÖLÇÜM ŞAMANDIRASI (MAS) İLE VERİFİKASYONU

Cem DALGÜN, Pınar ESKİOĞLU, Yüksel YAĞAN
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Tahminler Dairesi Başkanlığı
cdalgun@mgm.gov.tr, peskioglu@mgm.gov.tr, , yyagan@mgm.gov.tr

ÖZET

İstanbul Boğazı'nın Karadeniz çıkışında kurulan HF (High Frequency, Yüksek Frekanslı) Deniz Radarı, sinyal ve işaretleri üç farklı kalite algoritmasına göre sınıflandırmaktadır. Birinci seviyede, sadece gürültü sinyalleri elimine edilmektedir. İkinci seviyede elektromanyetik dalga ve deniz dalga parametreleri bakımından meteorolojik durum dikkate alınmaktadır. En üst seviyede ise, elektromanyetik dalga, deniz dalga parametreleri ve meteorolojik durum çok daha ayrıntılı olacak şekilde, bütün olasılıklar göz ardı edilmeden veri ayıklama işlemi yapılmaktadır. İki ve üçüncü seviyede, zaman içerisinde değişen dalga ve meteorolojik durum da dikkate alınmaktadır. Veri sayısı birinci seviyeden üçüncü seviyeye doğru önemli ölçüde azalma göstermektedir.Çalışmada, HF Deniz Radarı verileri ile yine aynı bölgede tesis edilen Meteorolojik Amaçlı Ölçüm Şamandırası (MAS) verilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. MAS ile denizde doğrudan ölçüm yapıldığı için MAS verileri doğru ana kaynak verileri olarak kabul edilmiştir. HF Deniz Radarı verileri olarak, hem tüm ölçüm değerleri hem de gürültü sinyallerinin elimine edildiği birinci seviye ölçüm değerleri kullanılmıştır. Özet olarak; ilgili HF Deniz Radarı verilerinin MAS verilerine göre verifikasyonu yapılmıştır. Çalışmanın periyodu 11 Mart 2015 – 09 Mayıs 2015 tarihleri arasıdır ve beş temel verifikasyon parametresi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler — Verifikasyon Parametreleri, HF (High Frequency, Yüksek Frekanslı) Deniz Radarı, Meteorolojik Amaçlı Ölçüm Şamandırası (MAS).

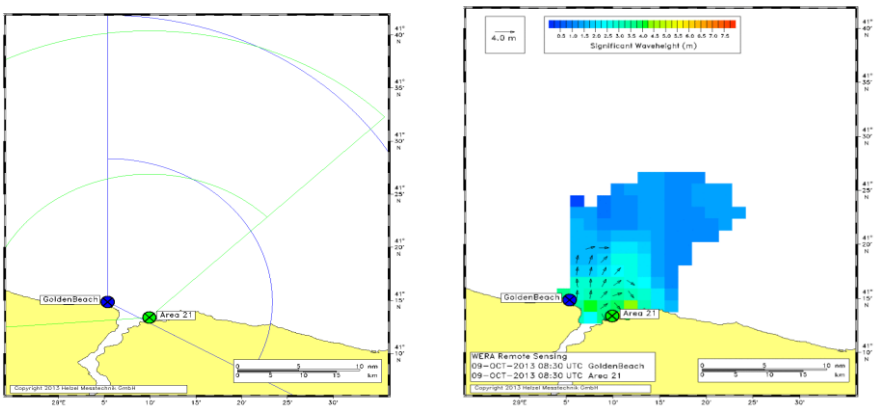
1. GİRİŞ

Deniz durumunun bilinmesi ve ileriye yönelik tahmini için denizlere ait ölçüm bilgileri (akıntı, dalga, rüzgâr) bu sahada çalışanların temel taleplerini oluşturmaktadır. Bu nedenle, uzun mesafelerde denizlere ait akıntı bilgilerinin ve deniz dalgalarının güvenilir ve ekonomik görüntülenmesi oldukça önemli ve arzulanan bir durumdur. Denizcilik alanında bu önemli ihtiyacı karşılamaya yardımcı olan uzaktan algılama araçlarından biri yüksek frekans (HF) deniz radarıdır. HF Deniz Radarları deniz üzerinde ufuk ötesine kadar ölçme yapabilen radarlardır. Deniz şamandırası gibi ölçme sistemlerinden farklı olarak tek bir noktaya ait ölçüm değil yüzlerce kilometre karelik alanların ölçümlerini grid noktaları bazında alansal harita olarak verebilmektedir. HF Deniz Radarları, elektromanyetik dalganın deniz yüzeyine tutunarak yüzey dalgası biçiminde yayılması ve geri saçılması prensibine dayanan sistemlerdir. Bu yolla, ufuk ötesinden alınan sinyallerde deniz yüzeyi ile ilgili bilgiler algılanabilmektedir. Radarın ölçeceği deniz meteorolojik parametreler "akıntı hızı ve yönü", "dalga yüksekliği ve yönü" ve "deniz üstü rüzgâr yönü"dür.

Ulaştırma, havacılık, denizcilik, tarım, inşaat, enerji, turizm başta olmak üzere birçok sektöre hizmet vermekle sorumlu olan Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)denizlerden veri elde edilmesi çalışmaları kapsamında Aralık 2013'te boğaz trafiğinin en yoğun yerlerinden birisi olan "İstanbul Boğazı Karadeniz Çıkışına 2 adet HF Deniz Radarı Sistemi" kurmuş ve işletmeye almıştır.

HF Deniz Radarı çıktılarının operasyonel kullanımına geçilmeden önce şamandıra ve model çıktılarıyla karşılaştırılması ve ondan sonra kullanılması amacıyla Mart 2015'te İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışına HF Deniz Radarları sinyallerinin kesiştiği en optimum noktaya meteorolojik amaçlı bir şamandıra atılmış ve işletmeye alınmıştır.

Bu çalışma Şamandıra (MAS) ve HF Deniz Radarları'nın aynı anda aktif olduğu 11 Mart 2015 – 09 Mayıs 2015 tarihleri arasındaki 2 aylık bir periyod için Dalga Yüksekliği parametresi üzerinden yapılmıştır.



Şekil 1:Her iki radarın kapsama alanı ve kesişme bölgesi ve HF Deniz Radarlarına ait Birleştirilmiş Belirgin Dalga Yüksekliği ve Yönü Haritası

2. VERİFİKASYON PARAMETRELERİ

HF Deniz Radarı ve MAS verilerinin karşılaştırılması amacıyla 5 adet verifikasyon parametresi kullanılmıştır. Bu yöntemlerin tamamı, aynı zamanda tahmin ve gözlem bazında elde edilmiş iki ayrı veri setinin istatistiksel olarak karşılaştırılması esasına dayanmaktadır. Çalışmada HF Deniz Radarı verileri tahmin verileri, MAS verileri de gözlem verileri olarak değerlendirilmiştir. Söz konusu parametreler şunlardır: Mean Error (ME, Ortalama Hata), Mean Absolute Error (MAE, Mutlak Ortalama Hata), Standart Deviation of Error (SDE, Hataların Standart Sapması), Root Mean Square Error (RMSE, Ortalama Karekök Hata Ölçüsü) ve Correlation (COR, Korelasyon).

2.1 Ortalama Hata (ME)

Gözlem ve tahmin verilerinin ortalamalarının birbirinden farkıdır. Uzun periyotlu tahmin değerlerinin verifikasyonu için ME parametresi başarılıdır. ME aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır. Formüldeki "f" tahmin değerlerini, O gözlem değerlerini, n ise gözlem-tahmin veri sayısını ifade etmektedir. ME'nin optimum değeri 0'dır.

$$ME = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n}(f_i - O_i) \qquad (1)$$

2.2 Mutlak Ortalama Hata (MAE)

Gözlem ve tahmin verilerinin ortalamalarının birbirinden farkının mutlak değeridir. İşareti pozitiftir. MAE, ME gibi uzun periyotlu tahminlerin verifikasyonunda sıklıkla kullanılmaktadır. İşaret daima pozitif olduğu için sonuç değerinin büyüklüğü oldukça anlamlıdır. Böylece uzun periyotlu model ve tahmin verilerinin arasındaki farkın büyüklüğü hesaplanır. Söz konusu değer "Mutlak Sapma" olarak adlandırılır. Formüldeki "f" tahmin değerlerini, O gözlem değerlerini, n ise gözlem-tahmin veri sayısını ifade etmektedir. MAE'nin optimum değeri 0'dır.

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n}\left|f_i - O_i\right| \qquad (2)$$

2.3 Hataların Standart Sapması (SDE)

Gözlem ve tahmin verilerinin ortalama hata (ME) ile birlikte değerlendirilerek standart sapmasının hesaplanmasıdır. Hesaplama işlemi yapılırken tahmin ve gözlem farkı bir dizi, ME ise diğer dizi olarak değerlendirilir. Sonuçta elde edilen değer tahmin ve gözlem farkının ortalamasına göre ME değerinin yayılma ölçüsüdür. Böylece ME değerinin tahmin ve gözlem bazında nasıl bir sapma gösterdiği net bir şekilde elde edilmiş olur. Formüldeki "f" tahmin değerlerini, O gözlem değerlerini, n gözlem-tahmin veri sayısını ME ise Ortalama Hatayı ifade etmektedir. SDE ME' ün dağılımını göstermesi bakımından önemli bir parametredir ve optimum değeri 0'dır.

$$SDE = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(f_i - O_i - ME)^2\right)^{0.5} \qquad (3)$$

2.4 Ortalama Karekök Hata Ölçüsü (RMSE)

Gözlem ve tahmin verileri arasındaki farkın karesinin karekökü esasına dayanır. Çok önemli bir hata parametresidir. RMSE matematiksel olarak standart sapmaya çok benzer ancak formülde gözlem verilerinin ortalaması kullanılmaz. Bunun yerine tahmin değerine karşılık gelen gözlem verisi doğrudan kullanılmaktadır. Böylece RMSE tahmin değerlerinin gözlemden ne kadar sapma gösterdiğinin belirgin bir ölçüsü olarak hesaplanır. Formüldeki "f" tahmin değerlerini, O gözlem değerlerini, n ise gözlem-tahmin veri sayısını ifade etmektedir. RMSE önemli bir hata parametresidir ve optimum değeri 0'dır.

$$\mathrm{RMSE} = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(f_i - O_i)^2\right)^{0.5} \qquad (4)$$

2.5 Korelasyon (COR)

Objektif yöntemlerle gözlem ve tahmin arasındaki bağıntının hesaplanması işlemidir. COR gözlem ve tahmin verilerinin arasındaki ilişkiyi gösterdiği gibi ilişkinin gücünü ve yönünü de ifade eder. Böylece gözlem ve tahminin birbiriyle ne kadar örtüştüğü doğrudan hesaplanmış olur. Formüldeki "f" tahmin değerlerini, O gözlem değerlerini, tahmin verilerinin ortalamasını, gözlem verilerinin ortalamasını n ise gözlem-tahmin veri sayısını ifade etmektedir. SD (f) ve SD (O) sırasıyla tahmin ve gözlem verilerinin standart sapmasını ifade etmektedir. Optimum değeri 1'dir

$$\mathrm{COR} = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n}(f_i - \bar{f}).(o_i - \bar{o})}{SD(f).SD(o)} \qquad (5)$$

COR formülündeki parametrelerin hesabı şu şekildedir:

$$\bar{f} = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n} f_i \qquad (5a) \qquad\qquad \bar{o} = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n} o_i \qquad (5b)$$

$$\mathrm{SD(f)} = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n}(f_i - \bar{f})^2\right)^{0.5} \qquad (5c) \qquad SD(o) = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n}(o_i - \bar{o})^2\right)^{0.5} \qquad (5d)$$

Yukarıda verifikasyon parametrelerinin matematiksel tanımlamaları yapılmıştır. Burada, matematiksel olarak MAE, SDE, RMSE 0'dan ∞'a kadar, ME -∞'dan ∞'a kadar COR ise -1'den 1'e kadar değerler alabilir. Bu değerler her bir meteorolojik parametre için oldukça önemlidir. Örneğin, yüzey sıcaklığının kabul edilebilirlik sınırının ± 2°C olması durumunda söz konusu değerler yeniden ± 2°C'ye göre düzenlenmelidir. Bu durumda ± 2°C aralığı sıcaklık için geçerli sayılacaktır.

Verifikasyon parametrelerinin optimum değerleri de yukarıda bahsedilmiştir. Bu değerler verifikasyon parametrelerinin, gözlem ve tahmin değerlendirmesi sonucunda alması gereken ideal değerleridir. Örneğin, korelasyon için hesaplanmış olan 1 değeri gözlem ile tahmin arasındaki uyumun mükemmele yakın olduğunu ifade eder. Bununla birlikte, ortalama hatadaki 0 değeri ise gözlem değerlerinin belirlenmiş zaman içerisindeki ortalamasıyla tahmin değerlerinin

ortalamalarının birbirinin aynısı olduğunu ifade eder. Optimum değerlerin sapma oranı ve uzun dönemli hesaplamalar sonucunda elde edilen sapma aralığı çok önemlidir. İlgili meteorolojik parametrenin gözlem ve tahmin arasındaki sapmasının kabul edilebilirliği bu şekilde hesaplanabilir.

3. HF DENİZ RADARI VERİLERİNİN MAS VERİLERİ İLE VERİFİKASYONU

HF Deniz Radarı verilerinin MAS verileri ile verifikasyonu dört farklı senaryoya göre yapılmıştır. Söz konusu senaryolar, HF Deniz Radarı'nın elde ettiği verileri sinyal ve gürültü temelli işleme algoritmaları temeli ile deniz dalgasının yüksekliği arttıkça HF Deniz Radarı'nın ölçüm performansının artması esasına dayanmaktadır. Bu algoritmalar şunlardır:

Senaryo1: HF Deniz Radarı ve MAS tarafından ölçülen verilerin bire bir verifikasyonu (HF ölçümlerinde gürültü sinyali dahil).

Senaryo2: HF Deniz Radarı ve MAS tarafından ölçülen verilerin verifikasyonu (HF ölçümlerinde gürültü sinyal çıkartılmış).

Senaryo3: MAS'ın 1 m'yi aşan verilerine karşılık gelen HF Deniz Radarı ölçümlerinin verifikasyonu (HF ölçümlerinde gürültü sinyali dahil).

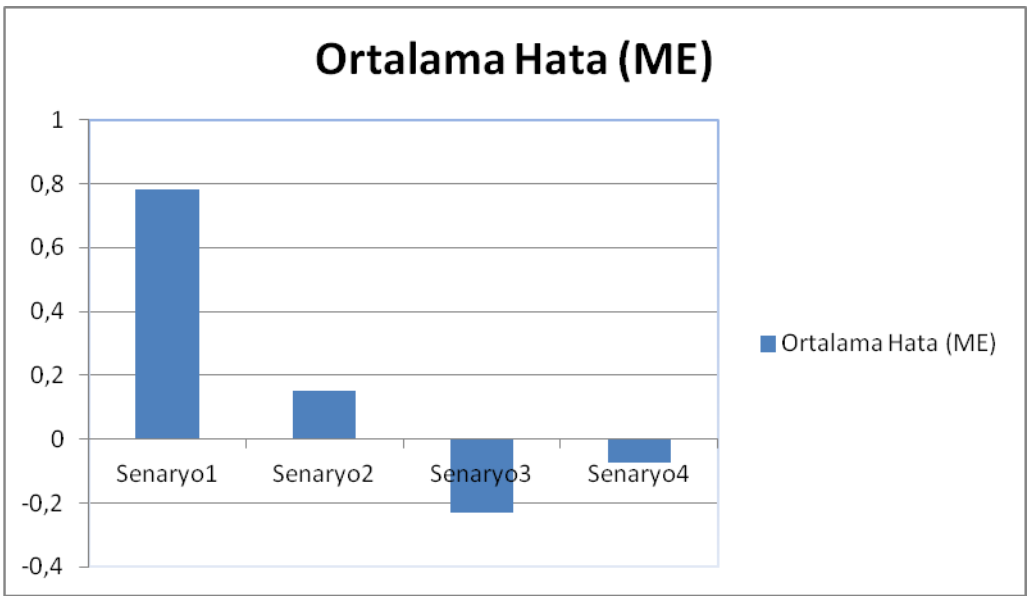
Senaryo4: MAS'ın 1 m'yi aşan verilerine karşılık gelen HF Deniz Radarı ölçümlerinin verifikasyonu (HF ölçümlerinde gürültü sinyali çıkartılmış).

Senaryolar doğrultusunda, verifikasyon parametreleri hesaplanmış ve HF Deniz Radarı'nın MAS ile verifikasyon işlemleri yapılmıştır.

3.1 Senaryolara Göre Hesaplanmış Verifikasyon Parametrelerinin Grafiksel Gösterimi ve Ortalama Değerleri

Periyot boyunca hesaplanmış verifikasyon parametrelerinin sayısal değerleri ve grafiksel gösterimleri aşağıdadır.

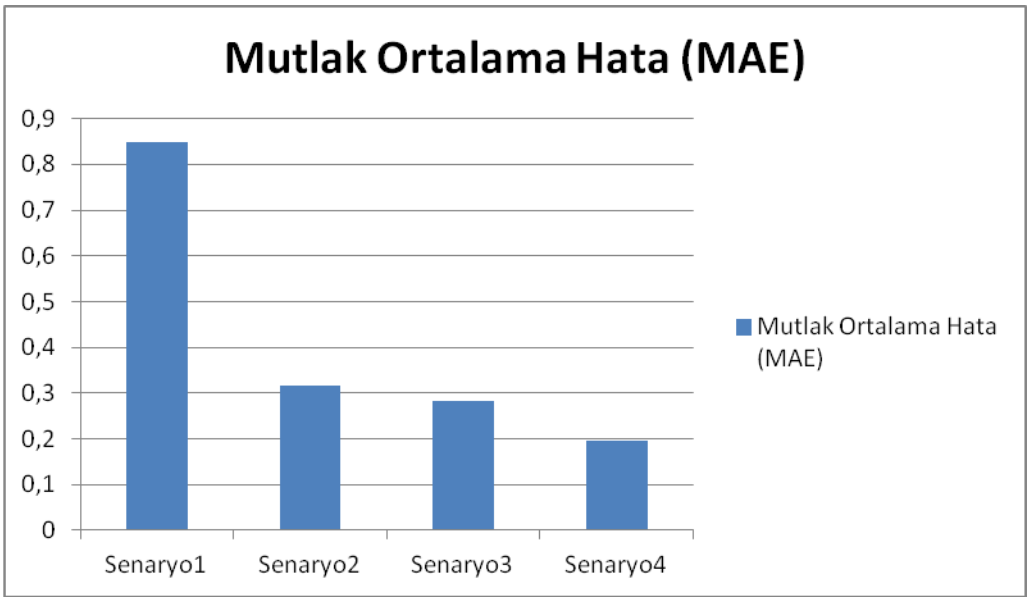
Ortalama Hata (ME)



Senaryo1	0,781373
Senaryo2	0,153074
Senaryo3	-0,23185
Senaryo4	-0,0744

Ortalama Hata (ME) için, sırasıyla, Senaryo 4, Senaryo 2 ve Senaryo 3'ün optimum değer olan sıfıra yakın olduğu görülmektedir. Senaryo 1'de ise 0,8'e yakın ortalama değer hesaplanmıştır. Bu duruma gürültü sinyalleri neden olmaktadır.

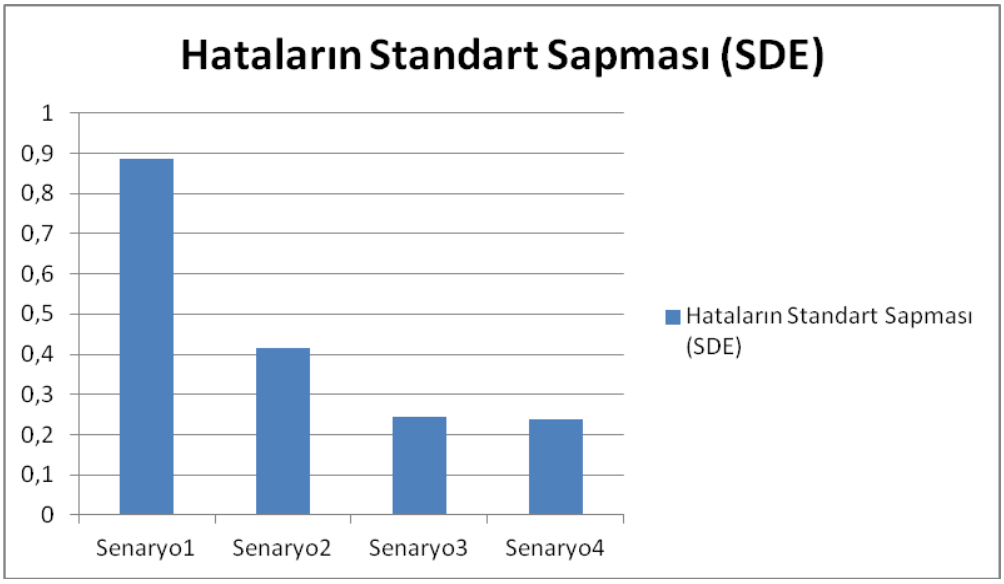
Mutlak Ortalama Hata (MAE)



Senaryo1	0,847407
Senaryo2	0,315719
Senaryo3	0,280993
Senaryo4	0,195864

Mutlak Ortalama Hata (MAE) için, sırasıyla, Senaryo 4, Senaryo 3 ve Senaryo 2'nin optimum değer olan sıfıra yakın olduğu görülmektedir. Senaryo 2 ve Senaryo 3'ün sayısal olarak biri birine oldukça yakın olması dikkat çekicidir. Senaryo 1'de ise 0,8'i aşan ortalama değer hesaplanmıştır. Bu duruma gürültü sinyalleri neden olmaktadır.

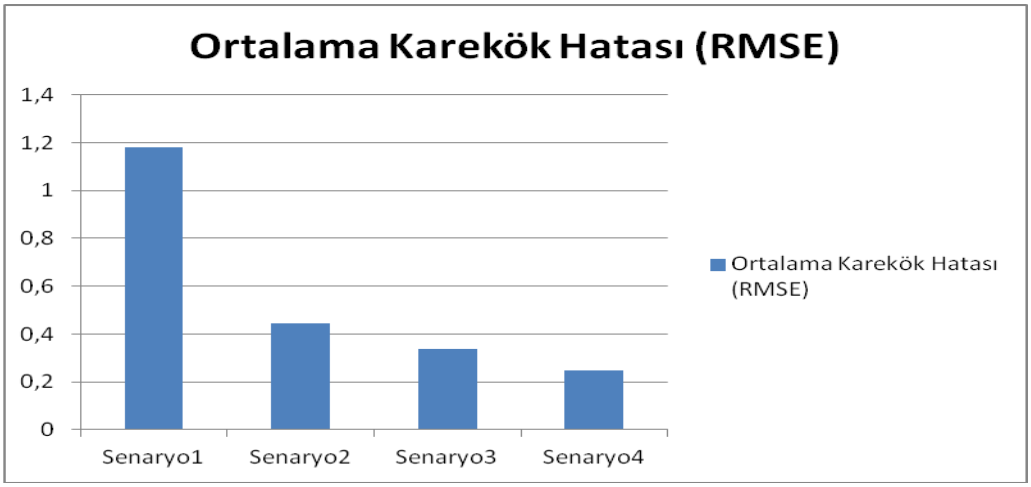
Hataların Standart Sapması (SDE)



Senaryo1	0,886217
Senaryo2	0,416689
Senaryo3	0,245869
Senaryo4	0,237504

Hataların Standart Sapması (SDE) için, Senaryo 4, Senaryo 3 ve Senaryo 2'nin optimum değer olan sıfıra yakın olduğu görülmektedir. Senaryo 2 ve Senaryo 3'ün sayısal olarak biri birinden farklı olması dikkat çekicidir. Ancak Senaryo 2 için hesaplanan değer 0,4 civarındadır. Bu değer ise çok önemli büyüklüğü ifade etmemektedir. Senaryo 1'de ise 0,8'i aşan ortalama değer hesaplanmıştır. Bu duruma gürültü sinyalleri neden olmaktadır.

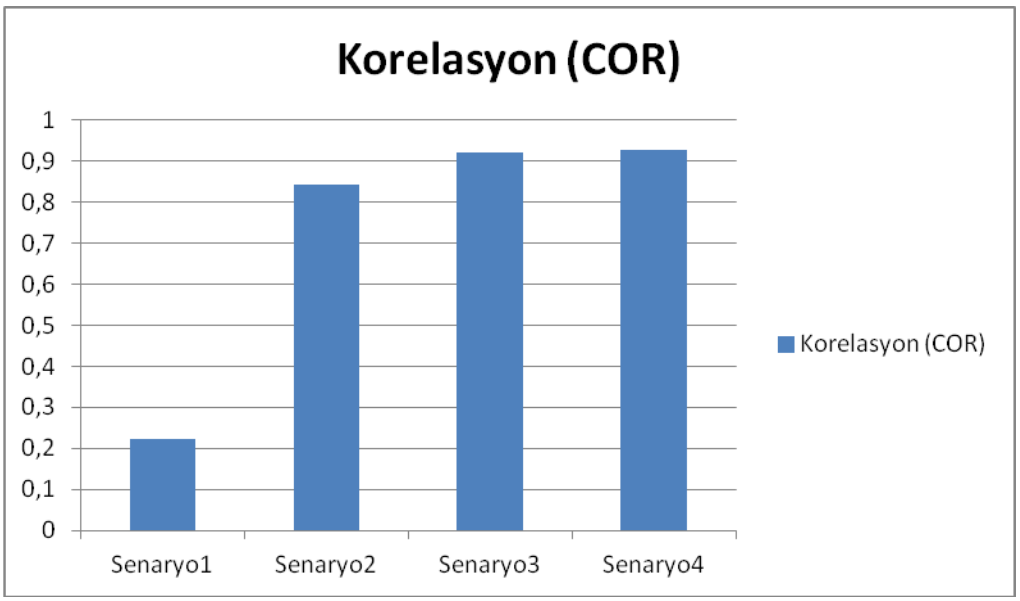
Ortalama Karekök Hata Ölçüsü (RMSE)



Senaryo1	1,181493
Senaryo2	0,443916
Senaryo3	0,33794
Senaryo4	0,248885

Ortalama Karekök Hata Ölçüsü (RMSE) için en önemli durum Senaryo1'in 1,2 gibi önemli bir değer almasıdır. Bu değere en yakın olan değer 0,4 ile Senaryo 2 değeridir. Ancak söz konusu Senaryo 2 değeri de Senaryo 1 değerinin 1/3'ü kadardır. Gürültü sinyallerinin durumu burada ön plana çıkmıştır. Sırasıyla, Senaryo 4, Senaryo 3 ve Senaryo 2 optimum değer olan sıfıra yakındır. Bununla birlikte Senaryo 2 ve Senaryo 3 arasında önemli sayısal farklılığın bulunmaması da dikkat çekicidir.

Korelasyon (COR)



Senaryo1	0,223374

Senaryo2	0,841625
Senaryo3	0,919434
Senaryo4	0,927616

Korelasyon (COR) için, Senaryo 2, Senaryo 3 ve Senaryo 4'ün sayısal olarak biri birine çok yakın olması dikkat çekmiştir. Senaryo 3 ve Senaryo 4 neredeyse biri birine eşittir. Bunun yanında, 0,84 gibi yüksek korelasyon değeriyle Senaryo 2 oldukça dikkat çekmiştir.

4. SONUÇLAR

Periyot boyunca, HF Deniz Radarı verilerinin MAS verileri ile verifikasyonu dört farklı senaryoya göre yapılmıştır. Buna göre, elde edilen verifikasyon parametrelerinin değerlendirilmesiyle aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Senaryo1'e göre Ortalama Hata (ME) en fazla 0,78 m değerini almıştır. Bu da gürültü sinyallerinin de olduğu HF Deniz Radarı ölçümlerinin gerçek ölçümlere göre en fazla 1 m civarında hata yapabileceğini göstermektedir.
- Mutlak Hata (MAE) değerlendirmesinde de Senaryo1'e göre hesaplanan değer 0,84 m civarındadır. HF Deniz Radarı gerçek ölçümlere göre bağıl olarak en fazla 1 m civarında hata yapabilmektedir.
- Gürültü sinyallerinin olduğu Senaryo1 için özellikle Ortalama Hata (ME) ve Mutlak Hata (MAE) değerlerinin 1m civarında olması HF Deniz Radarı verilerinin genel ortalamada 1 m civarında hata yapabildiğinin genel göstergesidir. Bu durum, Hataların Standart Sapması (SDE) ve Ortalama Karekök Hatası (RMSE) ile teyit edilmiştir. Teyit edilen, Hataların Standart Sapması (SDE) ve Ortalama Karekök Hatası (RMSE) diğer verifikasyon parametrelerine oranla daha kompleks ve daha duyarlıdır. Benzer sonuçların alınmış olması oldukça anlamlıdır.
- Bütün verifikasyon parametrelerinde, gürültü sinyallerinin olmadığı Senaryo2 ve 1m'yi aşan gerçek dalga durumunda gürültü sinyallerinin olmadığı Senaryo4'te oldukça iyi ve anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Korelasyon (COR) parametresinde, Senaryo2 için 0,84 değerinin, Senaryo4 için de 0,92 değerinin hesaplanmış olması HF Deniz Radarı'nın gürültü sinyalleri olmadan gayet başarılı ölçümler yaptığının önemli göstergesidir.
- 1 m'yi aşan durumlarda gürültü sinyallerinin de olduğu Senaryo3'e göre hesaplanan verifikasyon parametreleri de tatminkar ve anlamlıdır. Örneğin, Korelasyon (COR) 0,91 elde edilmiştir ve neredeyse Senaryo4 ile aynı değerdedir. Bu da, HF Deniz Radarı'nın 1 m'yi aşan dalga yüksekliklerinde gürültü sinyalleri olsa bile, gerçeğe yakın ve sağlıklı ölçümler yapabildiğini göstermektedir.
- Bütün dalga yüksekliklerinde gürültü sinyallerinin olmadığı Senaryo2 ile 1 m'yi aşan dalga yüksekliklerinde gürültü sinyallerinin olmadığı Senaryo4'e göre hesaplanan verifikasyon parametreleri arasında önemli fark yoktur. Bu da, HF Deniz Radarı'nın gürültü sinyalleri olmadığı durumlarda düşük dalga yüksekliklerinde de sağlıklı ölçüm yapabildiğinin göstergesidir.
- Deniz yüzeyinde, rüzgâr kaynaklı olan bozulma ve dalga hesaplamaları için çok detaylı araştırma ve geliştirme çalışmalarında gerçek dalganın 1 m'yi aştığı durumlarda gürültü sinyallerinin olmadığı Senaryo4'e göre elde edilen HF Deniz Radarı verilerinin kullanılması uygundur. Söz konusu veriler oldukça hassas ve güvenilirdir.
- Her türlü denizcilik faaliyeti, Sinoptik Ölçekli deniz ve dalga durumu, tahmini ve analizi için, bütün dalga yüksekliklerinde, gürültü sinyallerinin olmadığı Senaryo2'ye göre elde

edilen HF Deniz Radarı verilerinin kullanılması uygundur. Özellikle, meteorolojik temelde, dalga tahmin ve analizi için söz konusu veriler güvenilirdir.

KAYNAKLAR

[1] Brown Barbara, Bullock Randy, Fowler Tressa L., Pocernich Matt, 2009 : User Relevant Verification for Wind Forecasts.

[2] John, LEUNG Yin Kong 2009: Objective verification of weather forecast in Hong Kong.

[3] Hansen Erik and Olufsen Søren E. 2011: Application and verification of ECMWF products 2011, Danish Meteorological Institute.

[4] Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) 2012: Application and verification of ECMWF products 2012.

[5] Nurmi Pertti and Sigbritt Näsman, 2009: SAL in Hydrological Catchments. 4th International Verification Methods Workshop, Helsinki, Finland, 8-10 June 2009.

[6] Thomas Helzel, WERA, Remote Ocean Sensing, 2010

[7] http://www.hpc.ncep.noaa.gov/html/modeltxt.html

[8] http://space.fmi.fi/Verification2009/?page=presentations

Samsun İlinde Yaşanan Meteorolojik Kökenli Afetlerin Yönetiminde Radar Görüntülerinin Kullanılması

Aytek Ersan, Emre Çoşkunlu, Erkin Tekin,
Levent Uçarlı, Kıvanç Çalışkan, Erkan Koparmal
İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü
İstiklal Mah. 1124. Cad. No:15
Samsun
aytek.ersan@afad.gov.tr

ÖZET

Bu çalışmada Samsun ilinde 9 Temmuz 2012, 7 Ağustos 2012 ve 7-8 Ağustos 2013 tarihlerinde yaşanan aşırı yağışlar sonucu meydana gelen ani sel, su baskını, taşkın ve heyelan afetlerinin Samsun Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü Afet ve Acil Durum Yönetim Merkezince (AADYM) yürütülen operasyonel organizasyonu ve bu organizasyon sırasında kullanılan meteorolojik radar görüntüleri ile coğrafi bilgi sistemi (CBS) uygulamalarından bahsedilmiştir. AADYM'nin meteorolojik kökenli afetlere ilişkin faaliyetleri; Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü'nden alınan uyarıların değerlendirilmesine müteakip, Mülki İdari Amir başkanlığında ivedi bilgilendirilen kamu kurum ve kuruluş temsilcilerinin hazır bulunduğu koordinasyonun sağlanmasıyla başlamaktadır. AADYM Haber Merkezince (Alo AFAD 122) alınan ihbarlar, geliştirilen CBS tabanlı uygulama ekranlarına işlenmekte ve olaylar niteliğine göre sınıflanmaktadır. Yağışın devam ettiği/edebileceği lokasyonlar 2 ve 3 boyutlu haritalar üzerinden yağış şiddeti verileri ile birlikte takip edilerek; ani sel, su baskını, taşkın ve heyelan ihtimalinin yüksek olduğu yerleşim birimleri için önceden uyarı ve/veya ivedi tahliye kararlarının verilmesi sağlanmaktadır. Bu işleyiş, afet sürecinde görev alacak tüm kurum ve kuruluşların kendi görev ve sorumlulukları kapsamında; ilgili kaynakların yerinde, verimli ve hızlı kullanımını mümkün kılmaktadır. Tüm çalışmalar gelecekte yaşanması muhtemel afet olayları sırasında yürütülecek operasyonlar için güvenilir bir koordinasyon örneğidir.

Anahtar Kelimeler: Afet yönetimi, CBS, meteorolojik radar görüntüleri, Samsun, yağış.

1. GİRİŞ

Türkiye'nin artık afete nasıl müdahale eden bir ülke olarak değil, afete nasıl hazırlanan bir ülke olarak anılması için gerekli çalışmalar 2009 yılında başlatılmıştır. 17/06/2009 tarih ve 5902 sayılı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkındaki Kanunla Türkiye Acil Durum Yönetimi Genel Müdürlüğü, İçişleri Bakanlığı Sivil Savunma Genel Müdürlüğü ve Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü lağvedilmiş; Başbakanlığa bağlı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı ile 81 İl Valiliğine bağlı İl Afet ve Acil Durum Müdürlükleri kurulmuştur. Amaç; etkin planlama, etkin müdahale ve etkin iyileştirmenin sağlanmasıdır.

İlin afet planlaması ve afet risk çalışmalarının koordinasyonu ve yönetimi 5902 sayılı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanunda belirtildiği üzere İl Müdürlüğünün yetki ve sorumluluğundadır. Söz konusu yetki ve sorumluluk kapsamında afet öncesinde planlama, olası afet esnasında ise etkin müdahalenin sağlanması için çalışmalar başlatılmış; 9 Temmuz 2012, 7 Ağustos 2012 ve 7-8 Ağustos 2013 tarihlerinde Samsun'un muhtelif yerleşim birimlerinde (Şekil 1) yaşanan ani sel, su baskını, taşkın ve heyelan olaylarıyla da etkin müdahale ve afet yönetimi aşamaları sorgulanmıştır.

1.1 Samsun Yağış Verileri

Meteorolojik kökenli olaylara bağlı olarak yaşanan ani sel, su baskını, taşkın ve heyelan gibi beşeri ortam sağlığını doğrudan etkileyen afetlerin yönetimi öncesinde afetten etkilenebilecek bölgelerin meteorolojik karakteri bilinmelidir.

Samsun ili genel olarak ılıman bir iklim sürer. 0 C°'nin altında gün sayısı 15-20 arasındadır. Sıcaklık genelde pozitif değerlerdir (Şekil 2). Yağış normali 660 mm civarındadır (Şekil 3). Günlük toplam en yüksek yağış miktarı 238.2 kg/m^2 değeri ile 9 Kasım 1967'de görülmüştür [1].

1.2 Olay Tanımlamaları

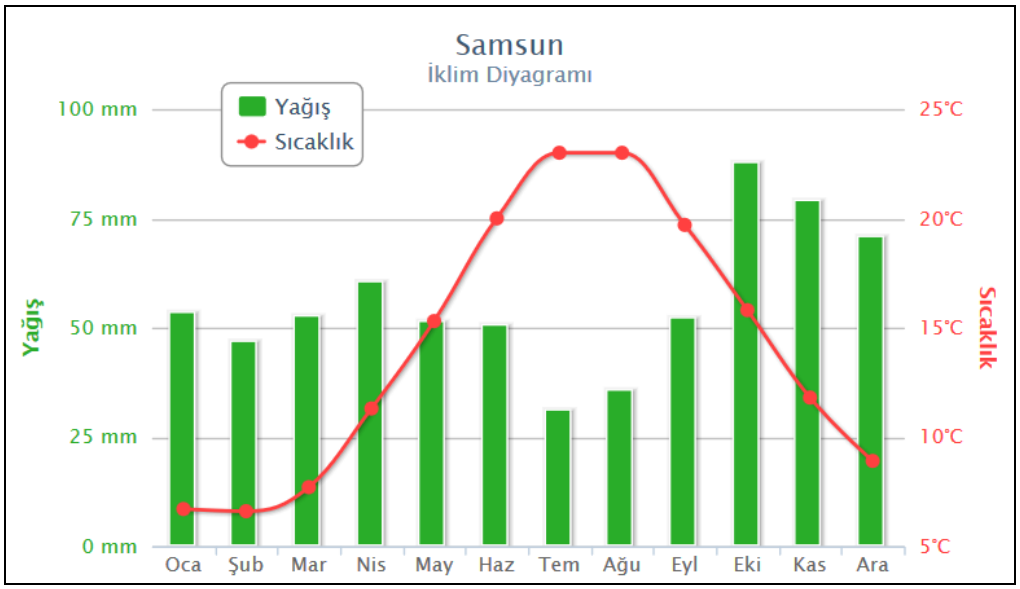
Suların bulunduğu yerde yükselerek veya başka bir yerden gelerek, genellikle kuru olan yüzeyleri kaplama olayına sel denir. Seller oluşum hızlarına göre sınıflandırılır ki burada sel-ani sel farkı ortaya çıkmaktadır. Aşırı yağışlardan sonraki birkaç saat içinde veya bir yerdeki suyun serbest kalması ile oluşan seller ani sellerdir. Ani seller, küçük akarsuların ani ve kuvvetli bir yağışa

maruz kalmasıyla oluşur ve çok hızlı bir şekilde maksimum değerine ulaşır. Sel ise genellikle daha yavaş gelişir ve haftalar boyunca etkili olabilir.

Selden sonra suyun yatağından taşarak çevredeki düzlük ve çukur alanları doldurmasına su baskını denir. Bununla birlikte, bir akarsuyun çeşitli sebeplerle yatağından taşarak çevresindeki arazilere, yerleşim yerlerine, altyapı tesislerine ve canlılara zarar vermek suretiyle etki bölgesinde normal sosyoekonomik hayatı kesintiye uğratacak ölçüde bir akış büyüklüğü oluşturması olayına da taşkın denir [2].



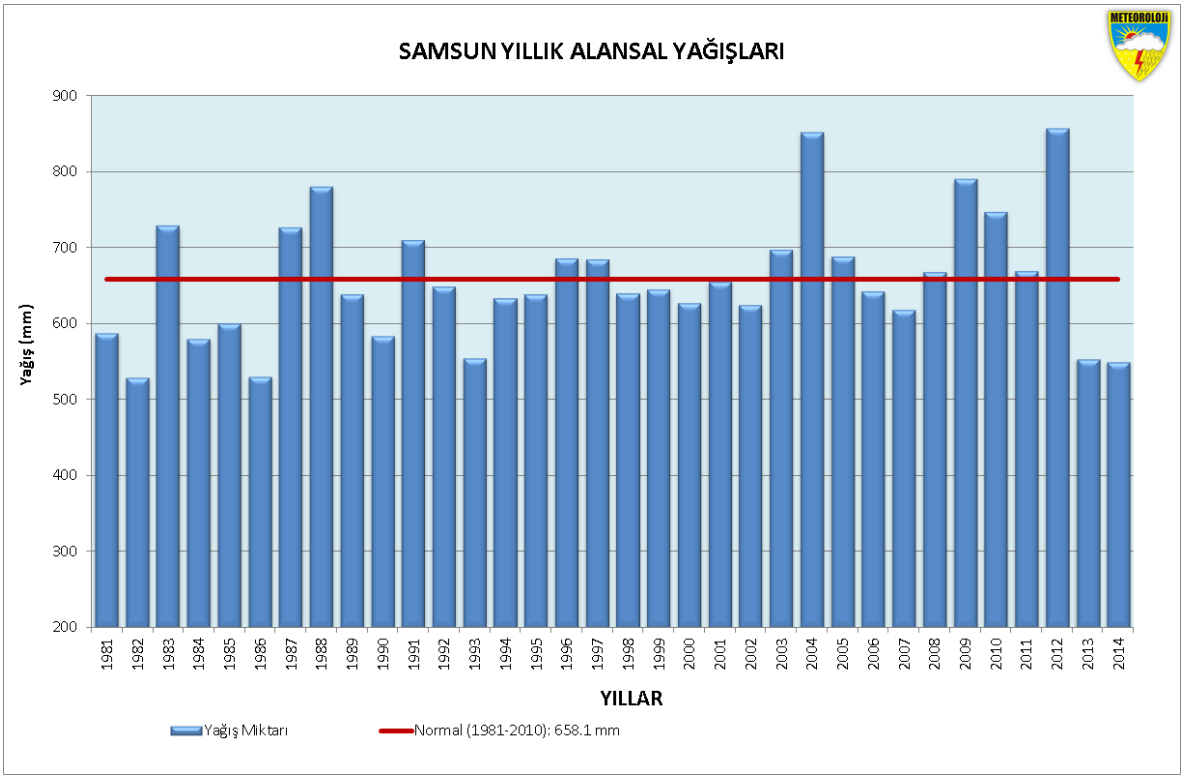
Şekil 1: *Samsun ilinin konumu [3]*



Şekil 2: Samsun ili ilkim diyagramı (1971-2000 periyodu) [4]

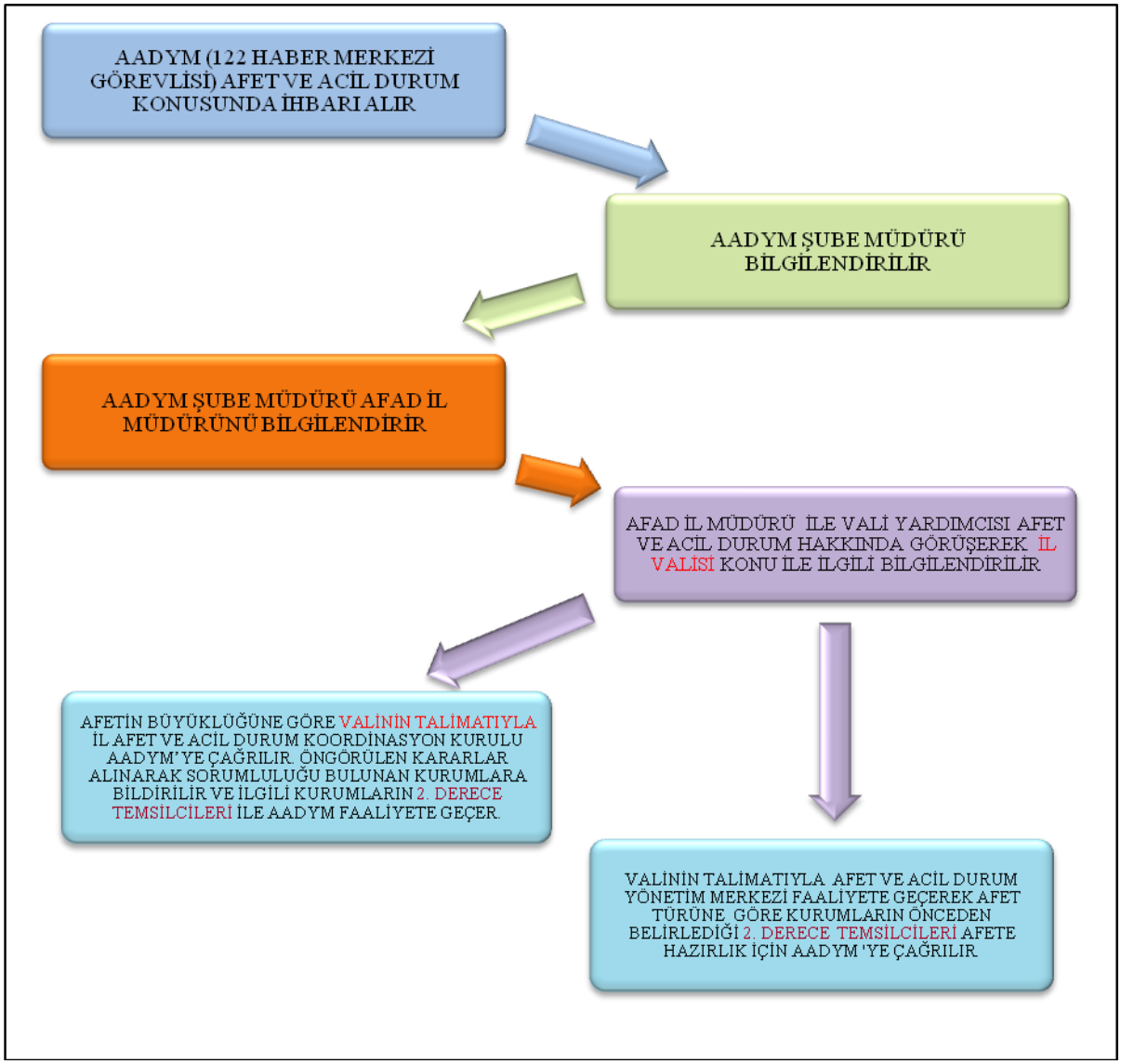
2 AFET VE ACİL DURUM YÖNETİM MERKEZİNİN FAALİYETE GEÇİRİLMESİ

Afet öncesinde 7/24 çalışma esasına dayalı görev yapan Alo AFAD 122 Haber Merkezi personeli, afet ve acil durum konusunda ihbar alır. İhbar niteliğine göre AADYM şube müdürü, AADYM şube müdürü tarafından da il müdürü bilgilendirilir. İl müdürü sorumlu vali yardımcısı ile görüşerek konu hakkında il valisini bilgilendirir. İl valisinin talimatıyla AADYM faaliyete geçer ve afetin boyutuna göre valinin talimatıyla İl Afet ve Acil Durum Koordinasyon Kurulu (İAADKK) veya kurumların önceden belirlediği 2. derece temsilcileri afet yönetimine hazırlık için AADYM'ye çağrılır (Şekil 4).



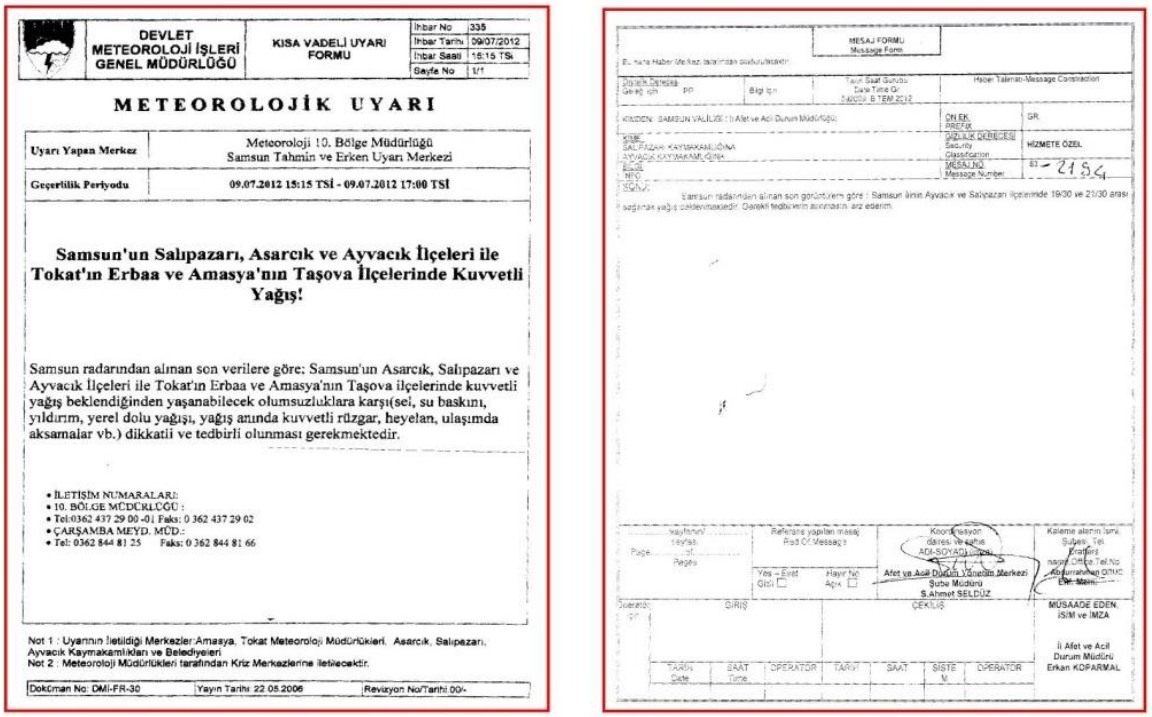
Şekil 3: Samsun yıllık yağışları [4]

Meteorolojik kökenli afetlerin yönetiminde ise yukarıda belirtilen işlem adımlarından birincisi olan ihbarların haber merkezine ulaşması beklenmeyebilir. Bu durumda doğrudan Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğünden alınan rutin uyarılar vasıtasıyla irtibat kurularak AADYM faaliyete geçirilebilir. Bu duruma 9 Temmuz 2012'de Samsun'un doğu ilçelerinde yaşanan meteorolojik kökenli afetlerin yönetilmesi öncesinde alınan uyarılar örnek gösterilebilir (Şekil 5).



Şekil 4: *Afet ve Acil Durum Yönetim Merkezi faaliyeti işlem adımları*

9 Temmuz 2012 günü saat 15:15'te İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü AADYM Haber Merkezi'ne ulaşan 335 no'lu Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü uyarısına göre; Samsun'un Salıpazarı, Asarcık ve Ayvacık ilçeleri ile Tokat'ın Erbaa ve Amasya'nın Taşova ilçelerinde kuvvetli yağış beklendiğinden yaşanabilecek olumsuzluklara (sel, su baskını, yıldırım, yerel dolu yağışı, yağış anında kuvvetli rüzgar, heyelan, ulaşımda aksamalar vb.) karşı dikkatli ve tedbirli olunması gerektiği belirtilmiştir. Bunun üzerine Ayvacık ve Salıpazarı Kaymakamlıkları ile 39 mahalle muhtarlığına ivedi olarak uyarı yapılmıştır.



DEVLET METEOROLOJİ İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

KISA VADELİ UYARI FORMU

İhbar No: 335
İhbar Tarihi: 09/07/2012
İhbar Saati: 15:15 TSİ
Sayfa No: 1/1

METEOROLOJİK UYARI

Uyarı Yapan Merkez	Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü Samsun Tahmin ve Erken Uyarı Merkezi
Geçerlilik Periyodu	09.07.2012 15:15 TSİ - 09.07.2012 17:00 TSİ

Samsun'un Salıpazarı, Asarcık ve Ayvacık İlçeleri ile Tokat'ın Erbaa ve Amasya'nın Taşova İlçelerinde Kuvvetli Yağış!

Samsun radarından alınan son verilere göre; Samsun'un Asarcık, Salıpazarı ve Ayvacık İlçeleri ile Tokat'ın Erbaa ve Amasya'nın Taşova ilçelerinde kuvvetli yağış beklendiğinden yaşanabilecek olumsuzluklara karşı(sel, su baskını, yıldırım, yerel dolu yağışı, yağış anında kuvvetli rüzgar, heyelan, ulaşımda aksamalar vb.) dikkatli ve tedbirli olunması gerekmektedir.

- İLETİŞİM NUMARALARI:
- 10. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ :
- Tel:0362 437 29 00 -01 Faks: 0 362 437 29 02
- ÇARŞAMBA MEYD. MÜD.:
- Tel: 0362 844 81 25 Faks: 0 362 844 81 66

Not 1 : Uyarının İletildiği Merkezler:Amasya, Tokat Meteoroloji Müdürlükleri, Asarcık, Salıpazarı, Ayvacık Kaymakamlıkları ve Belediyeleri.
Not 2 : Meteoroloji Müdürlükleri tarafından Kriz Merkezlerine iletilecektir.

Doküman No: DMİ-FR-30	Yayın Tarihi: 22.05.2006	Revizyon No/Tarihi:00-

MESAJ FORMU
Message Form

Öncelik Derecesi / Priority: PP | Bilgi için | Tarih Saat Grubu / Date Time Gr.: 09/07/ B TEM 2012 | Haber Teliniin-Message Confirmation

KİMDEN: SAMSUN VALİLİĞİ (İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü) | ÖN EK / PREFIX: GR

KİME: SALIPAZARI KAYMAKAMLIĞINA, AYVACIK KAYMAKAMLIĞINA | DAĞILIK DERECESİ / Security Classification: HİZMETE ÖZEL

BİLGİ: | MESAJ NO / Message Number: 83 - 2154

KONU:

Samsun radarından alınan son görüntülere göre ; Samsun ilinin Ayvacık ve Salıpazarı ilçelerinde 19/30 ve 21/30 arası sağanak yağış bekleniyor. Gerekli tedbirlerin alınmasını arz ederim.

Sayfa/Page: / Sayfalar/Pages | Referans yapılan mesaj / Ref Of Message | Koordinasyon / Makes the rights: ADI-SOYADI / Name | Kaleme alanın İsmi, Soyadı, Tel / Drafting name, Office Tel.No

Yes – Evet / Gidi | Hayır / No Apix

Afet ve Acil Durum Yönetim Merkezi
Şube Müdürü
S.Ahmet SELDÜZ

Operatör / OP: GİRİŞ | ÇIKIŞ | MÜSAADE EDEN İSİM ve İMZA

İl Afet ve Acil Durum Müdürü
Erkan KOPARMAL

TARİH / Date	SAAT / Time	OPERATÖR	TARİH	SAAT	SİSTE M	OPERATÖR

Şekil 5: 9 Temmuz 2012 tarihli Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü uyarısı (solda) ve İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü mesaj formu (sağda) [5]

2.1. Meteorolojik Radar ve CBS Ürünlerinin Kullanımı

Afet ve Acil Durum Yönetim Merkezi faaliyetinde görev alan Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü temsilcisi, radar görüntülerini yorumlayarak anlık meteorolojik değerlendirmelerini paylaşmaktadır. Anlık değerlendirmeler ile afet yönetiminin başında bulunan mülki idari amir, bölgede meydana gelen/gelebilecek olumsuzlukların giderilmesi/önlenmesi için AADYM'de bulunan kurum/kuruluş temsilcilerini gerekli işlemlerin yapılması için görevlendirmektedir.

Bununla birlikte yağışın yoğun olarak yaşandığı veya yaşanacağı bölgeler önceden sisteme aktarılan veriler üzerinden 2 ve 3 boyutlu olarak takip edilebilmektedir. Bu veriler arasında 1/25000 ölçekli topografik haritalar [6], 1/25000 ölçekli uydu görüntüleri [7], 1/5000 ölçekli ortofotolar (2013 yılı itibariyle) [7], dere toplanma havzaları (2014 yılı itibariyle), yerleşim birimi merkezleri ve idari sınırları, birincil ve alternatif ulaşım ağları, dereler ve benzeri sayılabilir.

En genel tarifiyle; Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü temsilcisinden alınan değerlendirme ile vadi, dere ve toplanma havzalarının 3 boyutlu modellerden izlenmesiyle, söz konusu havzalara kadar

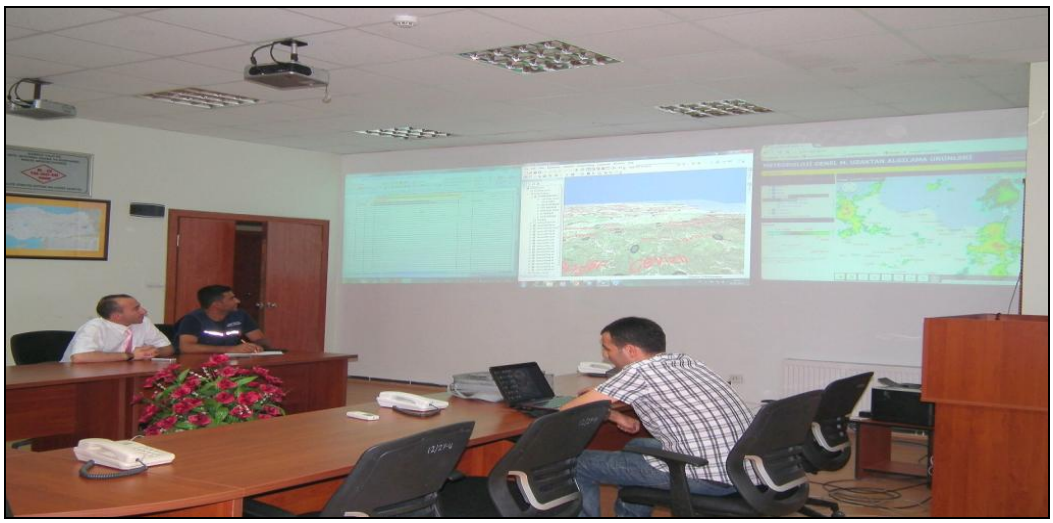
olan mevcut yerleşim birimlerinin doğrudan uyarılması ve doğrulanan ihbarların olaylara göre ilgili haritalara işlenmesi sağlanır.

AADYM'nin faaliyetlerini sonlandırması ihbarların normal seyrine dönmesiyle veya Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü'nün aşırı yağış durumunun ortadan kalktığı bilgisi üzerine gerçekleşebilir.

3 KAZANIMLAR

2013 yılına kadar AADYM'de her bir ekranda farklı radar/harita ürünleri kullanılırken (Şekil 6), günümüzde tek ekrandan yönetilen ve Müdürlüğümüz teknik personelince kullanılan CBS tabanlı yazılım ile gerek radar görüntüleri, gerekse sayısal haritalar aynı ekrandan işletilebilmektedir (Şekil 7). Meteorolojik radar ürünlerinin ve İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü yazılımlarının bir arada kullanılması sonucunda potansiyel afet bölgesinin lokasyonu kesin ve çok daha hızlı bir şekilde belirlenebilmektedir. CBS uygulamasına yönelik bu entegrasyon, genel uyarıların özele indirgenmesinde etkin ve gerçekçi bir sonuç sağlamaktadır.

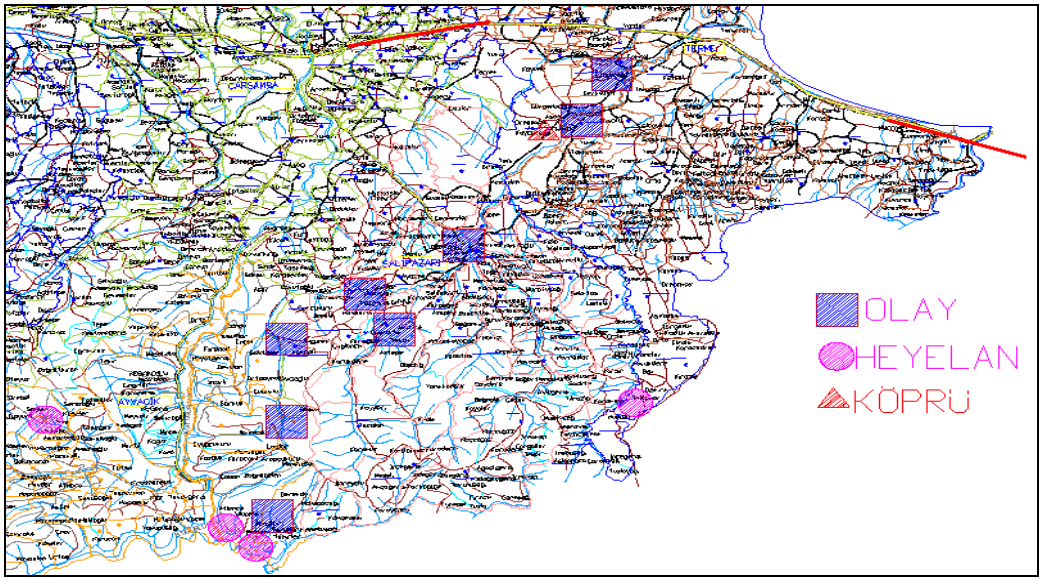
9 Temmuz 2012 tarihinde Samsun'un doğu ilçelerinde yaşanan bölgesel afet olaylarına ait olay nitelikleri günün imkanları dahilinde ancak 2 boyutlu haritalara işlenebilirken (Şekil 8), 7 Ağustos 2012 ve 7-8 Ağustos 2013 tarihlerinde Atakum'da yaşanan ani sel ve su baskını afetlerine ilişkin etki alanı, afetlerin ertesi sabahı teknik personelce sahaya inilerek su baskınlarının yoğunlaştığı ve ulaşımın güçleştiği noktalardan alınan koordinatlarla ortofotolar üzerine işlenebilmiştir (Şekil 9).



Şekil 6: 2013 yılı öncesi AADYM'de farklı ekranlardan izlenen ihbar, sayısal haritalar ve meteorolojik radar görüntüleri [5]



Şekil 7: *Farklı ekranların aynı anda kontrol edilebildiği AADYM barkovizyonu*

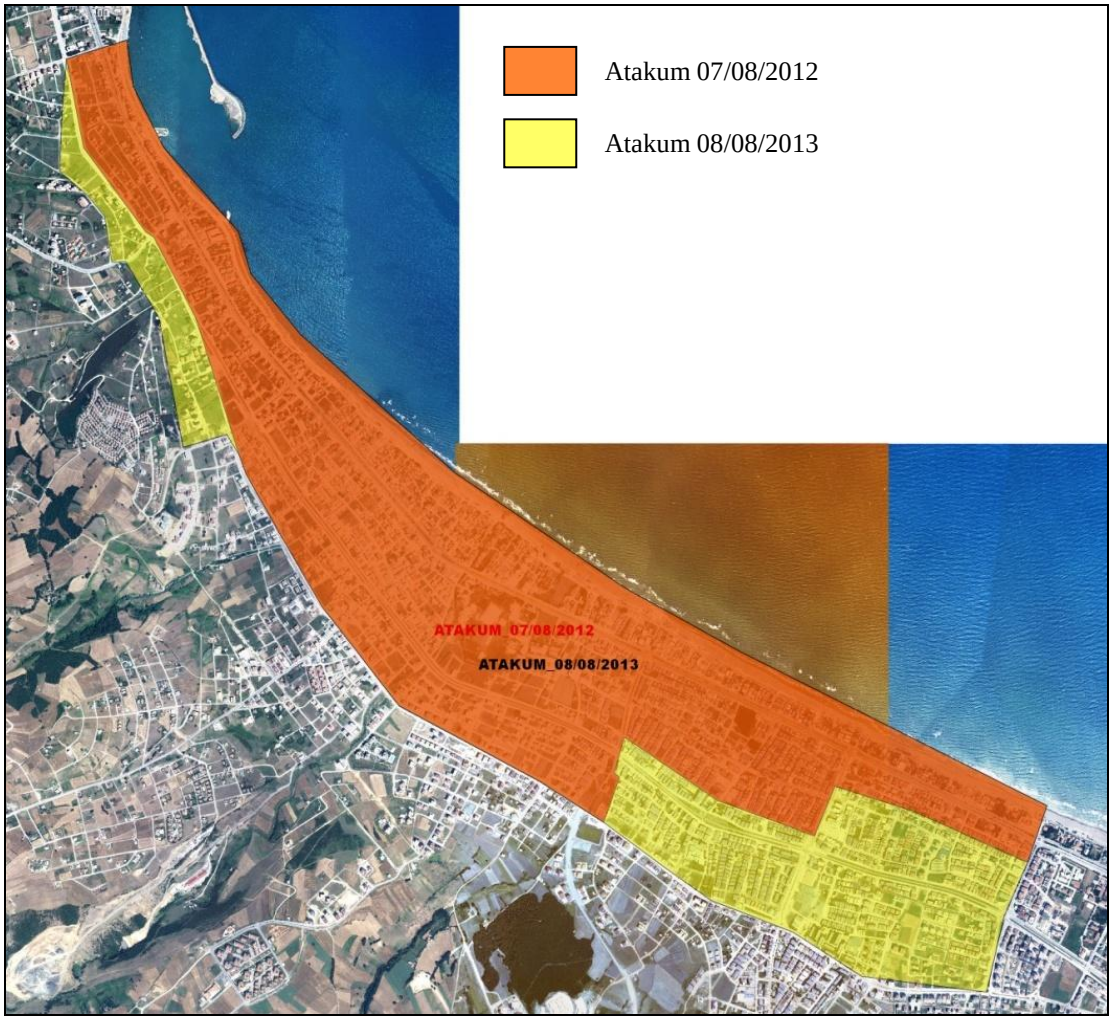


Şekil 8: *9 Temmuz 2012 tarihli bölgesel afetler sırasında Ayvacık, Çarşamba, Salıpazarı ve Terme ilçelerinde meydana gelen olayların dağılımı [5]*

Dere havzalarının CBS üzerinden 3 boyutlu olarak takip edilebilmesiyle, yağışın yüksek kotlarda vadileri beslediği dönemde, derelerin birleşerek hangi bölgede toplanacağı ve hangi yerleşim

birimlerini etkileyebileceği sorgulanabilmektedir. Bu sayede, bir bölgede yaşanacak aşırı yağış sonrası etkilenmesi muhtemel farklı bir bölge uyarılabilmektedir.

Aşırı yağışlar sırasında bilhassa kırsal yerleşim birimindeki yakınlarından haber alamayan vatandaşlara, yakınlarından birinin TC numarasını vermeleri halinde sistem üzerinden erişimi sağlanan NVİ ve TAKBİS verileri ile yakınlarının bulunduğu bölge tespit edilerek bilgilendirme yapılabilmektedir. Dahası, sistem üzerinden alınacak koordinatlar ilgili arama-kurtarma birimlerine ulaştırılarak, arama-kurtarma çalışmalarının başlatılması sağlanabilmektedir.



Şekil 9: 2012 ve 2013 yıllarında Atakum'da yaşanan afetlerin etki alanı [8]

4DEĞERLENDİRME

AADYM tarafından aktif olarak yönetilen veya takip edilen çok sayıda afet olayının sonlanmasına müteakip, ihbar niteliği bakımından Haber Merkezi başta olmak üzere afetin boyutuna göre diğer birimlerin de kendi işleyişlerine göre bazı rakamsal verileri ortaya çıkmaktadır. 9 Temmuz 2012, 7 Ağustos 2012 ve 7-8 Ağustos 2013 tarihlerinde aşırı yağışa bağlı yaşanan afet olaylarının sonrasında Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğünce teyit edilen yağış verilerinden söz konusu afet tarihlerinde hesaplanan yağışın önceki ve sonraki dönemlerden çok daha fazla olduğu görülmüştür (Tablo 1).

7 Ağustos 2013'te 204.6 kg/m^2'lik yağış, bölgede 9 Kasım 1967'de görülen 238.2 kg/m^2'lik günlük toplam en yüksek yağış miktarından sonra gelen 2. günlük toplam en yüksek yağış miktarıdır [8].

Samsun ili aylık maksimum yağış verilerinin yüksek olduğu aylarda yaşanan afetler sonrası çok sayıda konutta su baskını yaşanmış (Şekil 10), yüksek kotlarda heyelanlar gözlenmiş (Şekil 11) ve çok sayıda mahsur kalma ihbarı alınmıştır.

Tablo 1: Samsun ili aylık maksimum yağış verileri [1]

YIL/AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2011	38.0	18.9	9.4	8.1	18.8	2.3	30.1	11.2	25.6	61.0	33.2	26.7
2012	17.8	34.9	12.0	5.7	5.5	21.3	68.4	116.4	27.8	13.5	36.6	21.1
2013	13.7	7.7	27.3	29.0	7.3	13.2	5.6	204.6	7.5	31.9	10.3	15.5
2014	1.8	10.7	12.7	5.9	14.6	16.8	38.4	10.6	26.1	34.9	42.3	24.6
2015	44.8	25.1	14.7	31.0	17.2	44.6	42.0	4.3	12.6			



Şekil 10: Afetin etkileri (Atakum) [9]



Şekil 11: Afetin etkileri (Ayvacık) [5]

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Afet zararlarının ve kayıplarının azaltılması özelinde 9 Temmuz 2012, 7 Ağustos 2012 ve 7-8 Ağustos 2013 tarihlerinde yaşanan afetlerin yönetimi AADYM'nin özverili çalışmaları sonucu başarıyla sonlanmıştır.

Afet sırası ve sonrası müdahale çalışmalarına yardımcı olan bilgi sistemlerinin, kurumlar arasında imzalanan protokollerle güçlendiği görülmüştür.

Afet anında gerek Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü Tahmin ve Uyarı Merkezi tarafından değerlendirilen radar ürünleri, gerekse İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü tarafından coğrafi bilgi sistemi ürünlerinin ortak kullanımı benzer afet olayları öncesinde adı geçen kurumların iş birliği içinde çalışmasını kolaylaştırmış ve afet öncesi hazırlığın büyük ölçüde faydalı olduğunu ortaya koymuştur.

Coğrafi bilgi sistemi ürünlerinin meteorolojik radar görüntüleriyle birlikte kullanımı; buna bağlı olarak alınan anlık karar ve yerinde müdahale, kurumsal bazda ülkemizde ilk kez Samsun Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğünce uygulamaya konmuştur. Uygulamada ihtiyaç duyulan tüm verilerin veritabanına işlenmesi ve sistem üzerinden işletilmesi tamamen Samsun Valiliği öz kaynaklarıyla gerçekleştirilmiştir.

Yaşanan afetlerden edinilen tecrübe, coğrafi bilgi sistemi verilerinin meteorolojik radar görüntüleri ile müştereken kullanılması ve buna bağlı adımların ivedilikle atılması gerekliliğini ortaya koymuştur.

Tüm çalışmalar, gelecekte yaşanması muhtemel afet olayları sırasında yürütülecek operasyonlar için doğru ve güvenilir bir koordinasyon örneğidir.

KAYNAKLAR

[1] **Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü,** *Uzun Yıllar Maksimum Yağışlar*, 2015.

[2] http://aats.afad.gov.tr, *Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü,* 2015.

[3] **Google Earth**, 2015.

[4] http://www.mgm.gov.tr, *Analizler,* 2015.

[5] **Ersan A.**, **Çoşkunlu E.**, **Aysu Y.**, **Uçarlı L.** ve **Koparmal E.**, *Ayvacık, Çarşamba, Salıpazarı ve Terme İlçelerinde 9 Temmuz 2012 Tarihinde Yaşanan Bölgesel Afetlerin Yönetimi*, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30. Yıl Sempozyumu, -poster- 11-13 Ekim 2012, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Bildiri Özetleri Kitabı, s. 29-30.

[6] **Harita Genel Komutanlığı,** *1/25000 ölçekli topografik haritalar*.

[7] **AFAD Samsun**, *1/25000 ölçekli uydu görüntüleri*.

[8] **Ersan, A., Çalışkan, K., Çoşkunlu, E., Tekin, E., Uçarlı, L., Aysu, Y., Koparmal, E., Gemici, A. ve Asar, M.,** 7-*8 Ağustos 2013'te Atakum (Samsun) İlçesinde Yaşanan Ani Sel ve Su Baskını Afetlerinin Yönetiminde Meteorolojik Radar Görüntülerinin Kullanımı*, 1. Meteorolojik Uzaktan Algılama Çalıştayı, 05-07 Kasım 2013, Sera Hotel, Antalya, Bildiri Kitapçığı, s. 33-47.

[9] http://www.haberexen.com, *Atakum Sele Teslim Oldu*, 08/08/2013.

Radar Ürünlerinin Yorumlamasında Topoğrafik Etkenler

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

Burak Bozkurt
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
bbozkurt@mgm.gov.tr

ÖZET

Radar, şiddetli havanın tespiti ve takibinde kullanılan çok etkili bir gözlem sistemidir. Kısa süreli tahminlerde önemli veri sağlar ve erken uyarılarda çok yardımcı olur. Ancak, erken uyarılar yapılırken farklı türdeki radar ürünlerinin doğru bir şekilde incelenmesi ve yorumlanması gerekir. Çünkü, bir radar görüntüsündeki ekoların tamamı yağış veya bulut partiküllerinden kaynaklı olmayabilir. Meteorolojik olmayan bu ekolar Clutter (İstenmeyen Eko) olarak adlandırılır. Radar sinyallerinin; topoğrafik yükselti, deniz yüzeyi, kuş, böcek, uçak, bina, ağaç gibi istenmeyen hedeflerden geri dönüşlerinden elde edilen bu ekolar, yoğun yağış alanı gibi algılanarak tahmincileri yanıltabilir. Bundan başka, radar sinyalinin bir topoğrafik yükselti ile blokesi nedeniyle de gerçek yağış alanları görülemeyebilir. Radarın konumu, kapsadığı bölgenin topoğrafik yapısı, donanım ve kalibrasyonu gibi özelliklerden kaynaklı olarak radar ürünlerinin yorumlamasında karşılaşılan bu gibi etkenlerin farkında olunması, ürünleri kullanan tahminciler için yararlı olacaktır. Bu çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü radarlarından çeşitli örnekler verilerek, radar ürünlerini yorumlarken bilinmesi ve dikkat edilmesi gereken bazı önemli hususlar hakkında tahmincilerin bilgilendirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler — radar; sinyal; eko; bloke; clutter.

1. GİRİŞ

Bir radarın tespit ettiği ekoların tamamı yağmur, dolu, kar, vb. hidrometeorlardan veya bulut partiküllerinden kaynaklanmaz. Meteorolojik olmayan bu tür ekolar;

- Dünya yüzeyi ve üzerindeki sabit nesnelerden,
- Kısa süreli beliren geçici nesnelerden (gemiler, uçaklar, kuşlar, böcekler, vb.),
- Radarın tekniği ve donanımındaki sorunlardan kaynaklı olabilir.

Meteorolojik olmayan ekolar "Clutter" (İstenmeyen Eko) olarak adlandırılır. Radar sinyallerinin yüksek yeryüzü şekilleri, deniz yüzeyi, ağaç, bina, kule, uçak, kuş, böcek, vb. gibi nesnelere çarpması durumunda meydana gelir. Bu ekolar genellikle, radar ışınının düşük yükseklikte olduğu radar sahasına yakın yerlerde meydana gelir ve görüntülerde daima durağan (hareketsiz) kalmaları ile meteorolojik ekolardan ayırt edilebilirler. Sea Clutter denen deniz ekoları ise, deniz yüzeyindeki dalga hareketlerinden dolayı tamamen hareketsiz olmasa da oldukça durağan bir yapıdadır. Yer ekoları ve deniz ekoları yoğun yağış alanları gibi yorumlamaya sebebiyet verebilir. O nedenle meteorolojik kaynaklı radar ekolarından ayırt edilmesi çok önemlidir.

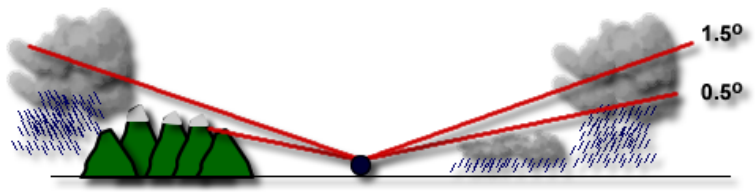
Bunun aksine, radar sinyalinin bir topoğrafik yükselti ile blokesi nedeniyle de gerçek yağış alanları görülemeyebilir. Işın blokesi, gerçekte yağışlı olan bir bölgenin yağışsız olduğu şeklinde yorumlanmasına sebebiyet verebilir.

Bu çalışmada, radar görüntülerinde sıklıkla görülen ışın blokesi ve istenmeyen ekolar hakkında açıklamalar yapılmıştır.

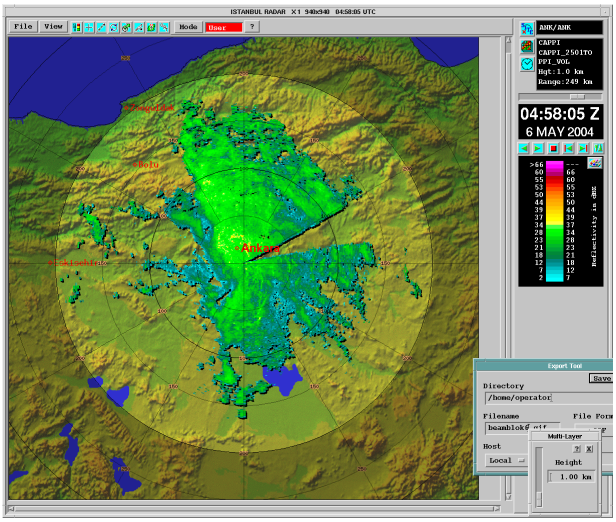
2. RADAR KAPSAMA SAHASINDAKİ BLOKAJLI BÖLGELER

2.1. Işın Blokesi (Beam Blockage)

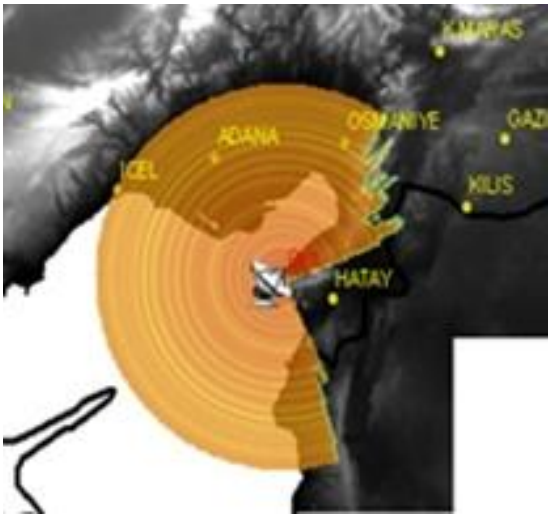
Işın blokesi, radar ışınının özellikle radar yakınlarında mevcut bir yapı veya topoğrafik yükselti nedeniyle kesilmesi sorunudur (Şekil 2-3). Bu durumda bu noktanın ötesinden verinin tamamı ya da bir kısmı alınamaz (Şekil 1). Radar ışını yükseltilse dahi ötedeki gerçek yağış tespit edilemez.



Şekil 1: Radar ışınının topoğrafik yükselti nedeniyle blokaja uğraması.



Şekil 2: Ankara radarı doğusunda bir yapı (kule) nedeniyle oluşan ışın blokesi.

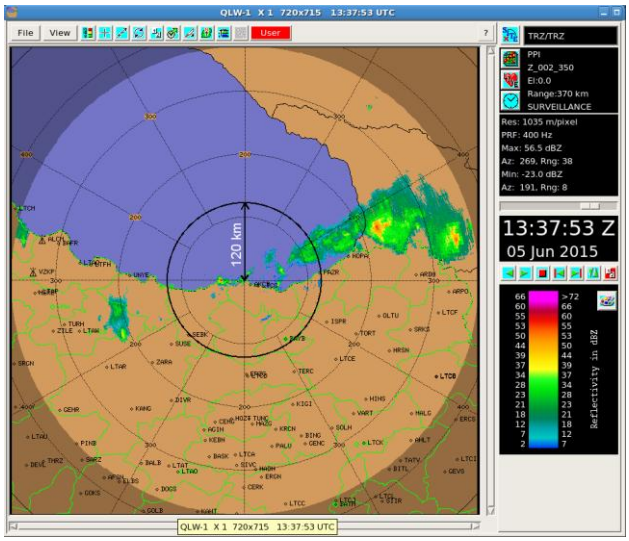


Şekil 3: Hatay radarı doğusunda topoğrafik yükseltiler (Amanos sıradağları) nedeniyle geniş bir alanda oluşan ışın blokesi.

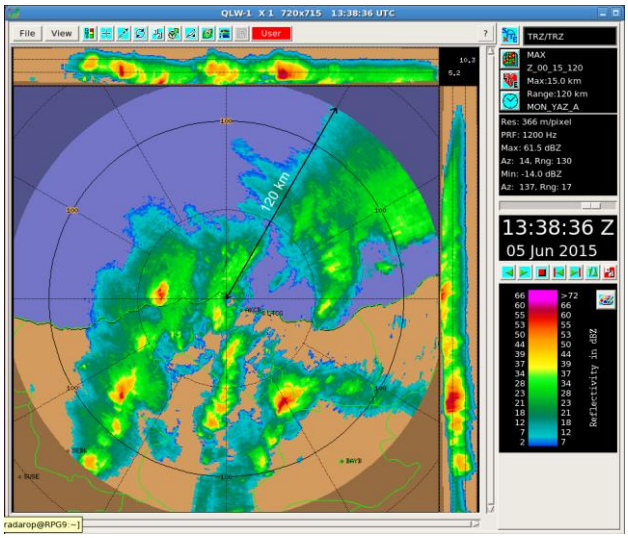
2.2. Işın Blokesine Örnek

Radar görüntülerinde ışın blokesinin farkına varılabilmesi için, radarı gözlemleyen bir tahmincinin, radarın kapsadığı bölgenin topoğrafik yapısı hakkında bilgi sahibi olması önemlidir. Bununla birlikte, bir radarın kapsama bölgesinde ışın blokesi mevcut ise, o radarın hangi tür ürünlerinin nasıl kullanılması gerektiği de önemlidir. Bu konunun daha iyi açıklanabilmesi ve anlaşılabilmesi açısından, 5 Haziran 2015 tarihinde doğu Karadeniz bölgesinde meydana gelen yağışlara ait Trabzon radarından elde edilen görüntüler incelenmiştir.

Trabzon radarının 370 km menzilli, 0° yükseklik açılı, 13:38 Z zamanlı üretilmiş PPI reflektivite ürününe bakıldığında (Şekil 4), sadece batıda kıyıya yakın deniz üzerinde ve doğu kuzeydoğu yönünde bir yağış olduğu görülmektedir. PPI ürünü, en çabuk üretilen (antenin 360° azimuttaki bir tam tur dönüşü sonucunda) en yaygın kullanılan klasik radar üründür. Genelde 0°, 0.2°, 0.5°, 1° yükseklik açılarındaki seviyelerde üretilir. Fakat, aynı zamanlı MAX reflektivite ürününe bakılırsa (Şekil 5), 120 km menzil alanı içerisinde kuvvetli oraj hücrelerinin olduğu görülebilmektedir. Bu kuvvetli yağış ekoları, PPI görüntüsünde ne yazık ki görünmemektedir.



Şekil 4: 370 km menzilli PPI görüntüsü.

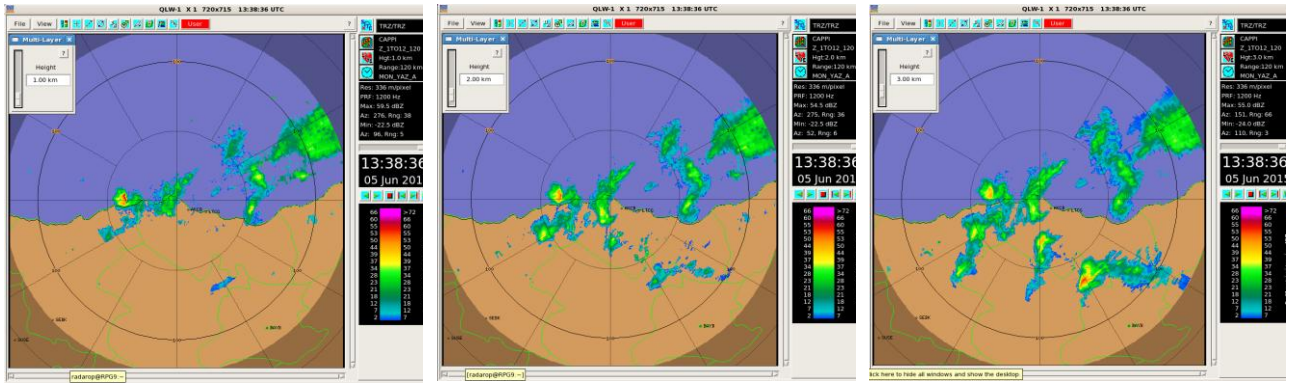


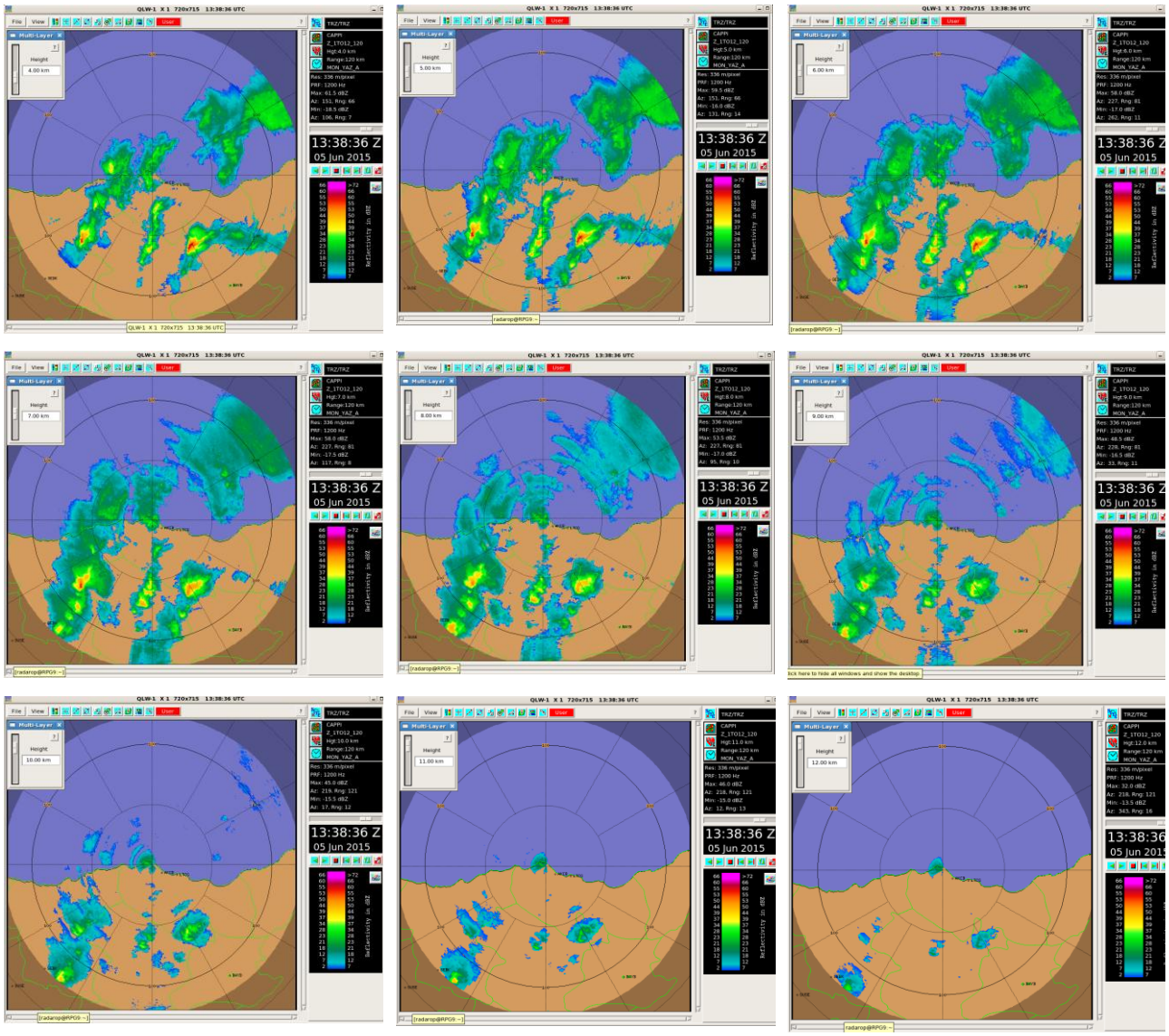
Şekil 5: 120 km menzilli MAX görüntüsü.

Bunun nedenleri şu şekilde açıklanabilir;

1. Şekil 4'deki PPI ürününde, radar sinyalinin atmosferde yolculuğu boyunca tek bir seviyeyi (0°) göz önünde bulundurarak veri elde etmesi. Bu seviyenin alt ve üst bölgelerinden veri almaz.

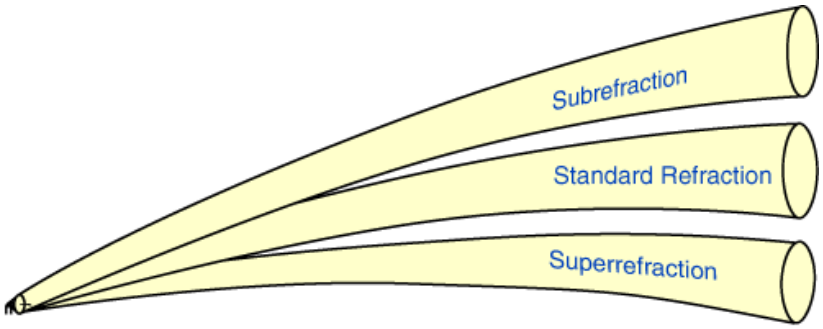
2. Akçaabat'ta kurulu olan Trabzon radarının güneyinde kıyıya paralel olarak uzanan ve yüksekliği 3500 m'yi bulan Doğu Karadeniz Dağları'nın bir bölümü (Kalkanlı ve Soğanlı Dağları) nedeniyle oluşan ışın blokesinden dolayı dağların öte tarafındaki yağış PPI görüntüsünde tespit edilememekte, ancak hacim tarama verisi ile dağların öte tarafındaki üst seviyelere ait yağış ekoları MAX ve CAPPI ürünlerinde tespit edilebilmektedir. Güney bölgeler yağışlı olduğu halde PPI görüntüsünde yağış görünmemesi bu sebepten dolayıdır. Burada önemli bir noktaya da dikkat çekmek gerekir. PPI ürününde radar sinyalleri güney bölgelerde Doğu Karadeniz Dağları'ndan clutter almakta, ancak bu clutter ekoları da radar yazılımında clutter filtreleme algoritması tarafından elimine edildiğinden görünmemektedir. Güney bölgelerdeki yağış ekoları, MAX ürünü haricinde yine hacim taramasından üretilen CAPPI ürününde de seviye seviye tespit edilmiştir (Şekil 6). CAPPI ürünü de tahminciler için çok faydalı bir üründür. CAPPI'de atmosfer içinden yatay kesitler alınarak bulutluluk ve yağış durumu seviye seviye gösterilir.





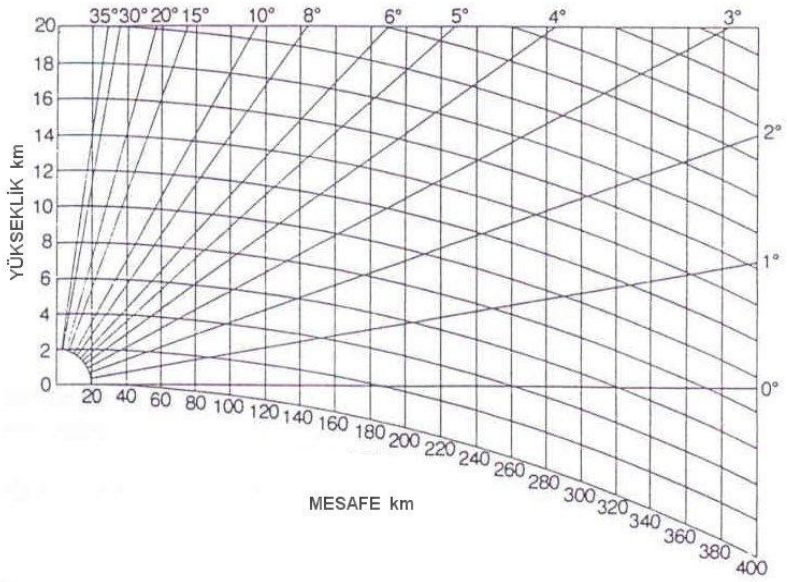
Şekil 6: 120 km menzilli CAPPI görüntüleri (1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12 km seviyelerde).

3. Uzun menzilde gözetleme yapılmasına olanak sağlasa da PPI ürünlerinde, radar sinyalinin atmosferde tek bir seviyede yolculuğu nedeniyle eko tespiti çoğu zaman güvenilir olmamaktadır. Şekil 4 ve Şekil 5 karşılaştırıldığında bu açıkça ortadadır. Bunun nedeni ise, dünyamızın küresel yapıda olması ve atmosferdeki kırılma şartlarına bağlı olarak ortaya çıkan anormal yayılmadır (Şekil 7).



Şekil 7: Radar sinyalinin yayılması.

Standard Refraction (Normal Kırılma): Normal kırılma şartlarına haiz atmosferde, radardan yayınlanan sinyaller hemen hemen doğrusal olarak yayılır, ancak dünyanın küreselliğinden dolayı mesafe aldıkça yükseklik kazanır. Radara yakın menzil içerisinde yağışı görebiliyorken mesafe aldıkça yağış ekoları görülemeyebilir. Normal kırılma şartlarına haiz bir atmosfer için mesafe-yükseklik-açı diyagramı Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8: Belirli bir açıda gönderilen radar sinyalinin mesafe aldıkça yükselmesini gösteren diyagram (standart kırılma şartlarındaki atmosferde)(Sauvageot, 1994).

Subrefraction (Yukarı Doğru Kırılma): Atmosferin kararsız olması durumunda radar sinyalleri yukarı doğru kırılarak yol alır ve bu nedenle hedefi göremeyebilir.

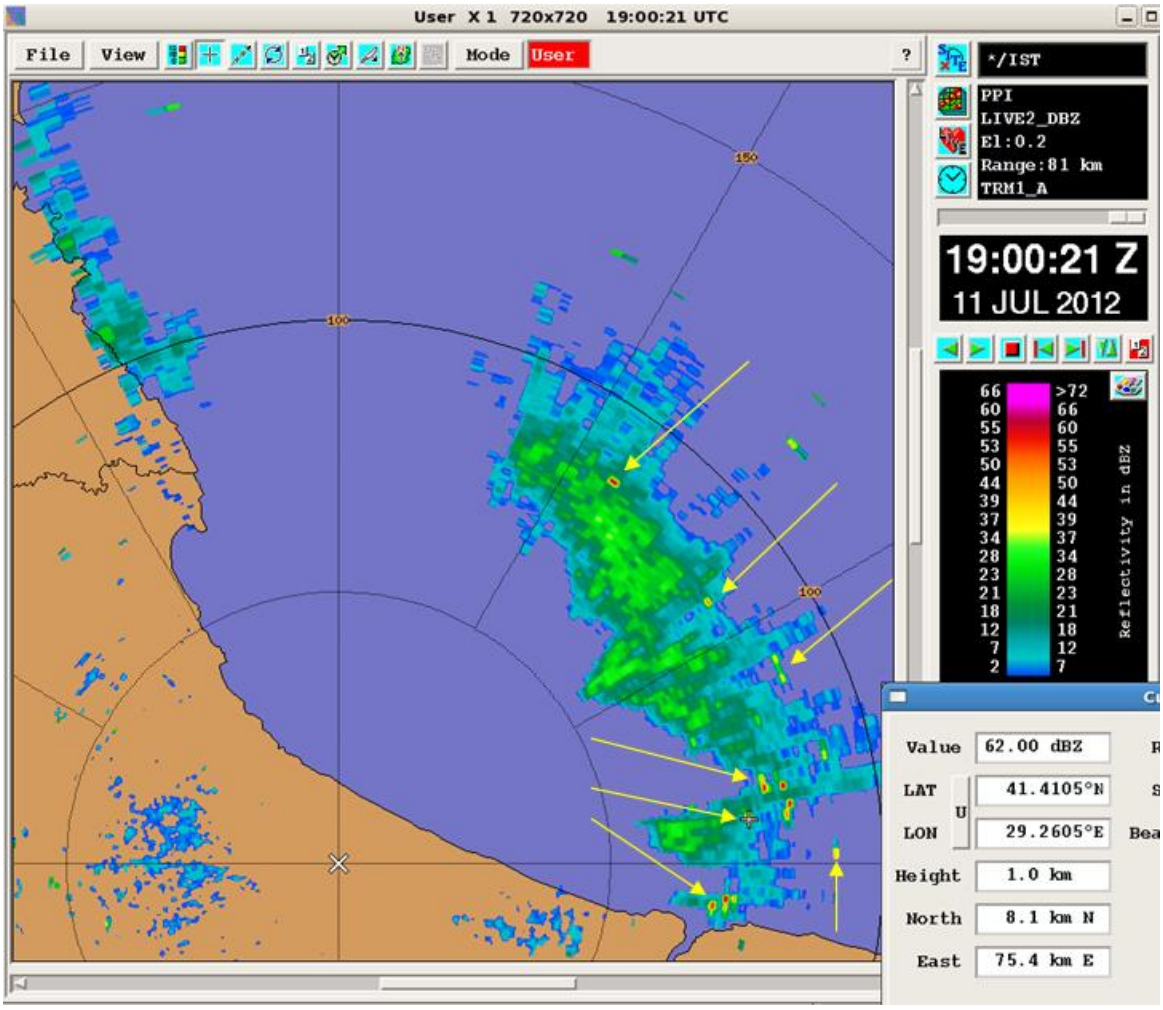
Superrefraction (Aşağı Doğru Kırılma): Atmosferde sıcaklık enverziyonu olduğu durumlar, atmosferin kararlı tabakalaşmasını temsil eder. Atmosferin kararlı olması durumunda ise radar

sinyalleri yere doğru yönelir. Radara geri dönen sinyaller yoğun yağış gibi algılanmaya sebebiyet verebilen ground clutter ekosu üretir (Deniz yüzeyinde Sea Clutter). Bu durumda hareketsiz olan bu meteorolojik olmayan ekoların ayırt edilmesi en basit yolla görüntülerin animasyonu ile mümkündür.

3. DENİZ ÜZERİNDEKİ EKO KARIŞIKLIĞI

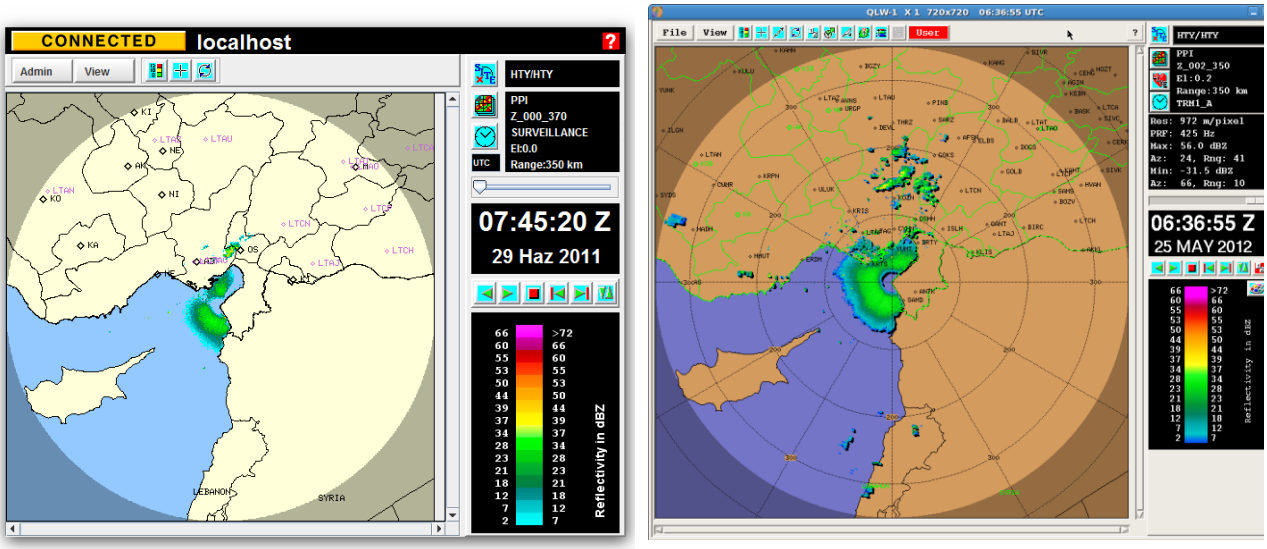
3.1. Sea Clutter (Deniz Ekosu)

Atmosferik kırınım ve kıyı bölgelerdeki iklim koşulları nedeniyle kuvvetli deniz dalgaları, radar sinyallerini radara geri yansıtabilirler. Deniz ekoları orta ya da yüksek reflektiviteye sahip olabilir ve PPI görüntülerinde uzun menzillerde dahi görülebilirler. Deniz ekoları bazen o bölgelerden geçen gemiler nedeniyle daha karmaşık bir hale gelebilir (Şekil 9).

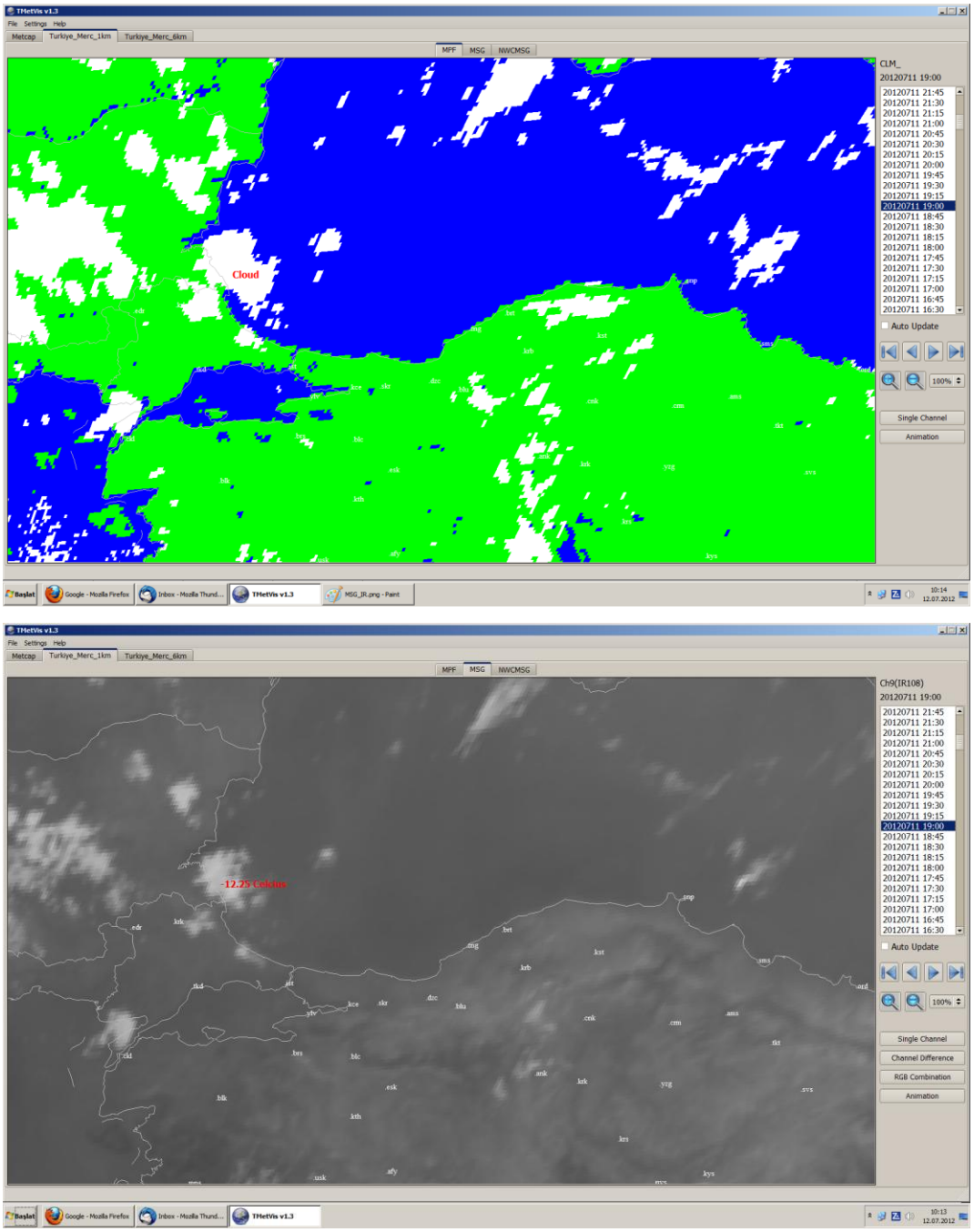


Şekil 9: İstanbul radarı PPI görüntüsünde, anormal yayılma nedeniyle sea clutter ekosu oluştuğu görülmekte. Gemilerden yüksek reflektivite değerleri alınmıştır (62 dBZ).

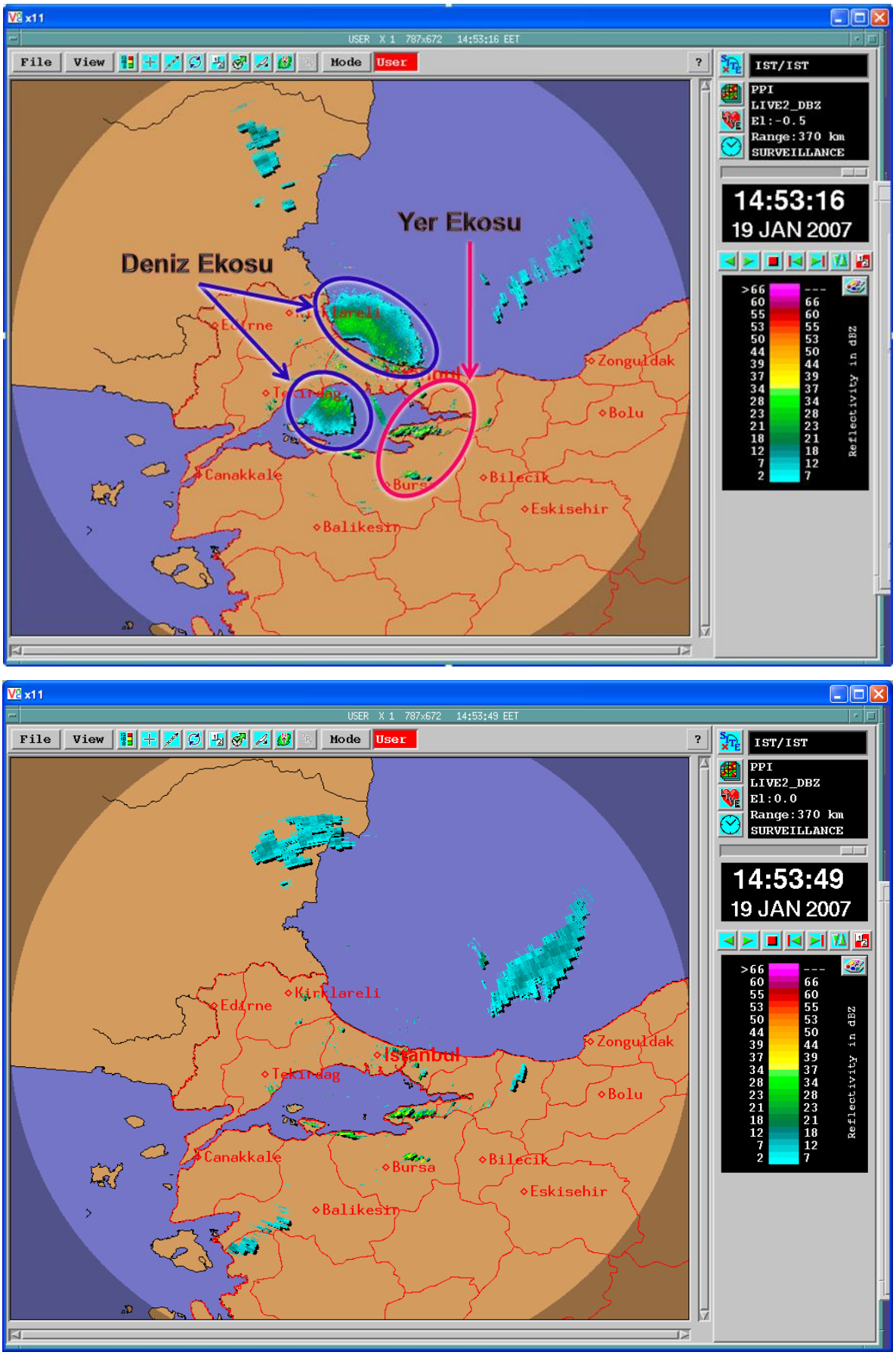
Deniz ekosu, özellikle deniz kıyısına yakın ve alçak seviyelerde konuşlandırılmış olan radarlarda sıklıkla meydana gelen bir durumdur. Şekil 10'da Hatay radarı PPI görüntülerinde İskenderun Körfezi ve Akdeniz üzerinde oluşan deniz ekosu görülmektedir. Her ne kadar radar yazılımında deniz ekosunu filtreleyen algoritmalar çalıştırılsa da (Şekil 12), anormal yayılma nedeniyle bazen bu oluşumların önüne geçilememektedir. MGM radarlarından en alçak seviyede kurulu olan Hatay (312 m) ve İstanbul (378 m) radarlarında deniz ekosu oluşumları daha yaygın meydana gelmektedir. Deniz ekosunun varlığını doğrulamak için radar ürünlerinin eşzamanlı olarak uydu ürünleriyle karşılaştırılması büyük önem taşır (Şekil 11). Ayrıca, CAPPI ürününde seviyelere bakıldığında üst seviyelerde eko olmaması deniz ekosunun varlığını gösterir. Atmosferde kuvvetli enverziyon durumu, yine o bölgede deniz ekosu oluşma ihtimalini artırır.



Şekil 10: Hatay radarında deniz ekoları.



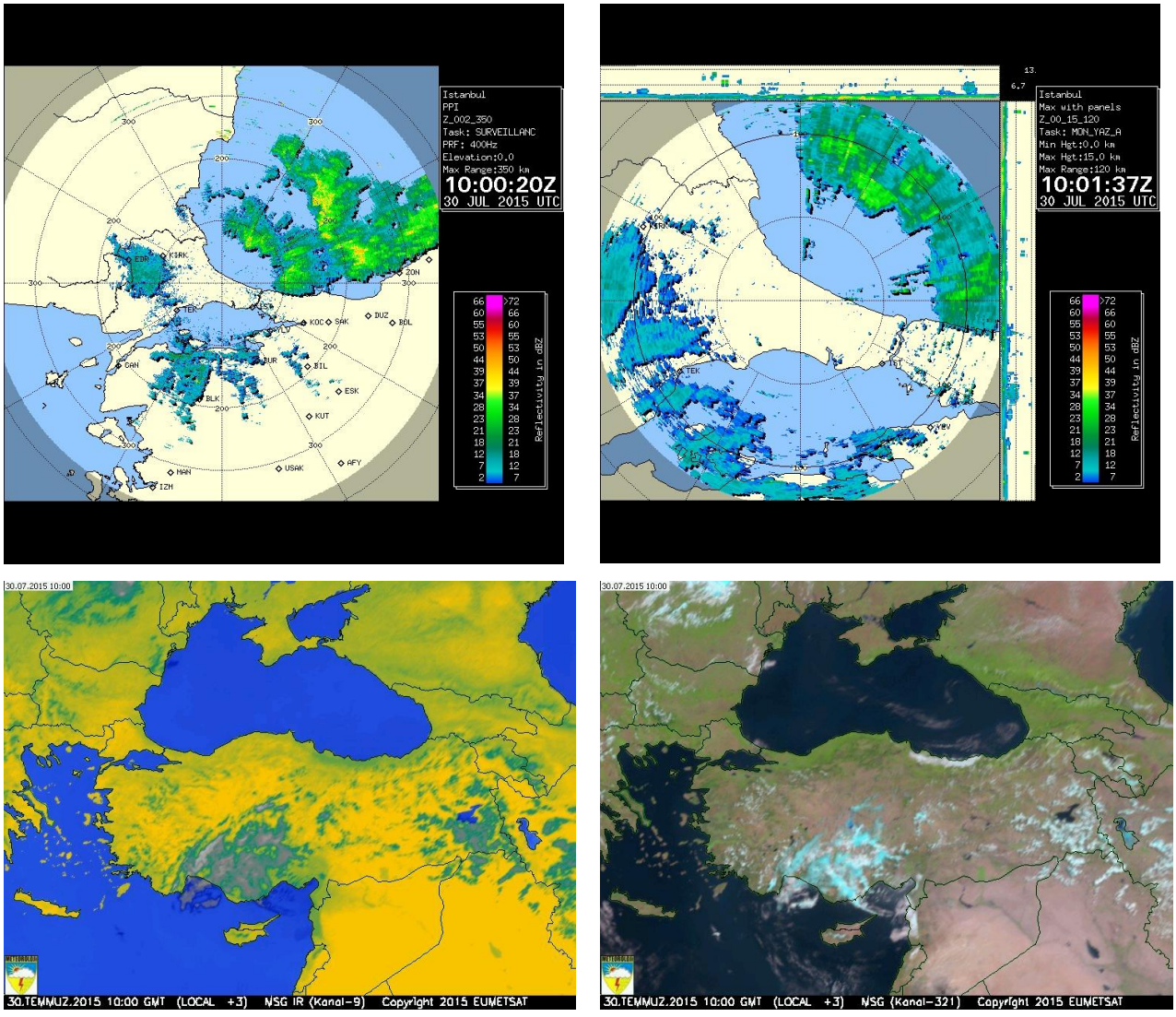
*Şekil 11: Uydu görüntülerinde, o bölgede bulutluluk olmadığı görülmekte*dir.



Şekil 12: İstanbul radarı PPI ürününde beliren deniz ekoları, radar yazılımı tarafından filtrelenerek temizlenmiştir.

3.2. Deniz Ekosuna Örnek

Yanılgıya sebep olabilecek kadar şiddetli bir deniz ekosu oluşumu, 30 Temmuz 2015 tarihinde İstanbul radarında gözlenmiştir. İstanbul'da gün boyunca hava açık olmasına rağmen radar görüntülerinde sanki deniz üzerinde kuvvetli yağış varmış gibi görünen deniz ekoları tespit edilmiştir. Radar ekranında eğer sadece PPI görüntüsüne bakılırsa kuvvetli yağış olduğu zannedilebilir. Ancak, radar görüntüsünün animasyonuna ve eş zamanlı uydu verilerine bakmak, bu yağışın gerçekte olmadığını kanıtlayarak tahmincileri yanılgıdan kurtarmıştır (Şekil 13).



Şekil 13: İstanbul radarı PPI ve MAX ürünlerinde beliren deniz ekoları. Eş zamanlı uydu görüntülerinde radar kapsama sahasında havanın açık olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Şiddetli hava olaylarının takibinde ve erken uyarıda çok faydalı bir gözlem sistemi olan meteoroloji radarlarının elde ettiği ürünlerin doğru analiz edilmesi gerekir. Çünkü, radarın kapsadığı bölgenin topoğrafik yapısı, atmosferik şartları, radarın donanım ve kalibrasyonu, bu ürünler üzerinde etkili olmaktadır. Radar ürünlerini kullanan hava tahmincileri, ışın blokesi nedeniyle yağışlı alanların kaçırılması ya da farkına varılamaması gibi durumlar veya tam tersi istenmeyen ekolar nedeniyle yağış olmadığı halde yoğun yağış şeklinde yarumlamaya sebebiyet veren durumlarla karşı karşıya kalmaktadır. Radar ürünlerinin en iyi şekilde kullanılabilmesi açısından kullanıcıların, topoğrafik şartları göz önünde bulundurması, hangi radar ürünlerine ne şekilde bakılacağını bilmesi, animasyon, kesit, vs. gibi radar görüntüleme pencerisinin özelliklerini iyi kullanması ve uydu ürünleri gibi diğer ürünlere de başvurması büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

[1] **Rinehart R. E.,** *Radar for Meteorologists,* Rinehart Publications, (81-96, 137-154), Grand Forks, 1997.

[2] **Çöleri M., Yayvan M., Deniz A., Turgut Ü., Eryılmaz A., Geçer C., Güser A.,** *Hava Analiz ve Tahmin Tekniği,* MGM Yayınları, Yayın No:2006-1, (113-127, 178-208, 209-230), Ankara, 2007.

[3] **IRIS Product & Display Manual,** Version 8.12.0, (2-1, 5-1), Vaisala Oyj, Vantaa, 2008.

[4] **Rossi P.,** *Detection of Sea Clutter Trough Dual Polarization Information, FMI, Helsinki, 2011.*

SODAR Verilerinin İstatiksel İncelemesi

İsmail SEZEN
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Atatürk Havalimanı Meteoroloji Müdürlüğü
İstanbul
isezen@mgm.gov.tr

Emrah Tuncay ÖZDEMİR
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Atatürk Havalimanı Meteoroloji Müdürlüğü
İstanbul
etozdemir@gmail.com

Ali DENİZ
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi
İstanbul
denizali@itu.edu.tr

ÖZET

SODAR (Sonic Detection And Ranging) atmosferik türbülans yardımıyla ses dalgalarının saçılmasını ve buna bağlı düşey rüzgâr profilini ölçebilen meteorolojik cihazlardır. Geleneksel uzaktan algılama sistemlerinin ölçmekte zorlandığı, yerden 1km'ye kadar değişken yüksekliklerdeki yatay/düşey rüzgâr hızını/yönünü ölçebilir ve uygun ek cihazlar mevcutsa atmosferin aşağı katmanlarındaki termodinamik yapı hakkında bize bilgi verir. Bu çalışmada, SODAR 'ın ölçüm yöntemi diğer uzaktan algılama cihazlarıyla karşılaştırılmış; yaklaşık 1 yıllık ve 10dk aralıklarla çeşitli yüksekliklerde ölçülmüş SODAR rüzgâr verisi incelenerek farklı ölçüm seviyeleri ve aralıkları için verilerin ayrıntılı istatistiksel analizi yapılmıştır. Farklı hava koşullarında sistemin operasyonel verimliliği değerlendirilerek, eksik verilerin atmosferik koşullar ile ilişkisi incelenmiş, operasyonel koşullarda eksiklerin nasıl tamamlanabileceği ve sistemin havalimanlarında kullanılması durumunda muhtemel nowcasting uygulamalarına faydaları ile avantaj/dezavantajları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler — SODAR, Rüzgâr, istatistik, analiz, havalimanı.

1. GİRİŞ

Son 30 yılda doppler SODAR (SOnic Detection And Ranging) 'larının kullanımı, aşağı seviye düşey rüzgâr ve sıcaklık profillerinin ortaya çıkarılmasında büyük rol oynamıştır [1]. Yenilenebilir enerji sektöründe rüzgâr çiftliklerindeki hub yüksekliğindeki rüzgâr hızı ölçümleri, türbinlerin rüzgâr hızı üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve çiftlik için rüzgâr tahminlerinin iyileştirilmesi noktasında nispeten ucuz ve faydalı bir cihaz olmuştur [2,3]. SODAR 'a ayrıca takılacak olan bir yukarı seviye sıcaklık ölçme parçası sayesinde değişen yükseklik seviyelerindeki sıcaklık değerleri de elde edilebilmekte ve atmosferin alt katmanlarındaki düşey sıcaklık profili ile buna bağlı atmosferik sınır tabaka (AST) araştırmaları da yapılabilmektedir. AST, o andaki türbülans, sıcaklık, nem gibi meteorolojik faktörlere de bağlı olarak mekan ve zamansal olarak değişiklik gösterir [4]. Sakin bir gecede ortalama 10m civarında olabilirken, ortalama bir güneşli günde 200 ila 300 m'ye kadar çıkabilir. Tropikal bölgelerde ise teorik olarak 2000 m'ye kadar çıkabilmektedir [5].

SODAR, atmosfer içerisine farklı yönlerde gönderilen ses işaretlerinin atmosfer içerisinde rüzgâr tarafından doppler kaymasına uğratılarak meydana gelen yansımalarının algılanması ve bunların çözümlenmesine dayalı bir uzaktan algılama sistemidir. Yansıyan ses dalgalarının hızındaki değişim sesin yansıdığı hava kütlesinin sıcaklığı ile yakından ilişkilidir ve SODAR ile birlikte RASS (Radio Acustic Sounding System) cihazı da kurulu ise, rüzgâr ile birlikte seviyelere ait zahiri sıcaklık da ölçülebilmektedir. En az 3 ayrı ışın şeklinde gönderilen ses dalgalarının yansımalarının ölçülmesiyle düşey eksende önceden belirlenmiş eşit aralıklı yüksekliklerdeki yatay ve düşey rüzgâr hızları ile yatay rüzgâr yönü elde edilir. Bir diğer deyişle, SODAR üzerindeki düşey eksende belli seviyelerdeki rüzgârın x, y ve z eksenlerindeki hız vektörleri ölçülür. En düşük ölçüm yüksekliği ve ölçüm seviyeleri SODAR 'ın özelliklerine bağlı olarak değiştirilebilir. Böylece daha sık aralıklarla alt seviyelere ait rüzgâr hızları ya da daha seyrek aralıklarla yukarı seviyelerdeki rüzgâr hızları da ölçülebilir.

Bu çalışmada, 3.85 KHz merkezi frekansa sahip, aktif anten boyutu 40x40cm, minimum ölçüm yüksekliği 15m, ortalama maksimum ölçüm yüksekliği 700m olan PA0 modeli REMTECH marka bir SODAR cihazı kullanılmıştır. Finansal nedenlerden dolayı, SODAR 'a RASS ekipmanı satın alınamamış ve bu nedenle sadece 3 boyutlu seviye rüzgârları ölçülebilmektedir. SODAR, yakın civarındaki ağaç, direk ya da duvar gibi engellerden etkilenebilmektedir. Ayrıca atmosferden yansıyan ses sinyalinin eko yapmaması için cihazın doğrudan yere vidalar ile düz olacak şekilde tespit edilmesi ve ekoya neden olabilecek metal kutu gibi cisimlerin üzerine kurulmaması gerekmektedir. SODAR ses dalgaları ile çalışan bir cihaz olduğundan, yakın

civardaki havalandırma ya da rüzgâr türbini gibi kaynaklardan gelebilecek seslerden etkilenmeye meyillidir. Bu nedenle cihazın özelliklerine de bağlı olarak bu tür ses kaynaklarına belli bir mesafede kurulması gerekir. Tüm bu dezavantajlara rağmen, cihazdan elde edilen sinyaller uygun filtreler ve istatiksel analizler yardımıyla gürültüden arındırılabilir ve rüzgâr hızının doğruluğu arttırılabilir ya da eğer verinin kalitesi yeterli seviyede değilse veri iptal edilebilir. Ayrıca, cihazdan çıkan sese doğrudan maruz kalmak duyma bozukluğuna ve kulaklarda hasara yol açabilir. Yüksek ve tiz ses sebebiyle cihazın insanların yaşamadığı ya da çevreye en az rahatsızlık verecek bölgelere kurulması icap etmektedir.

2. VERİ VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan SODAR, 41.0998N - 29.0247E konumuna, İstanbul Teknik Üniversitesi rasat parkına kurulmuştur (Şekil 1 ve Şekil 2). Sistem, Nisan 2014 ayında çalıştırılmaya başlanmıştır ve kesintili de olsa halen çalışmaya devam etmektedir.



Şekil 1: *Çalışma alanının konumu.*

SODAR verileri, çalıştırma ve hava koşulları sebebiyle kesintiye uğrayabilmektedir. Çalıştırma koşulları, elektrik kesintisi gibi sebepleri kapsamaktadır. Diğer tür kesintilerde, cihaz hava koşulları sebebiyle ölçüm yapamaz. Örneğin, sisli ya da alçak bulutların yoğun olduğu durumlarda SODAR 'ın ölçüm yüksekliği büyük oranda etkilenir. Yoğun kar yağışı durumlarında da hiç veri alınamadığı dönemler olmuştur. Bu, temelde SODAR cihazının çalışma

prensibi ile alakalıdır. SODAR gibi ses ile çalışan cihazlar havanın açık olduğu ve atmosferde yağmur, kar ya da bulut olmadığı durumlarda daha iyi sonuçlar verir. Bunun aksine, LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) gibi cihazlar ise, veri ölçümü için atmosfer içerisinde partiküllere ihtiyaç duyarlar. LIDAR ile ölçülen veri bize bulutlar ya da atmosferdeki aerosoller hakkında bilgi verir. Bunlardan faydalanarak rüzgâr hızı gibi yan ürünler elde etmek de mümkündür.



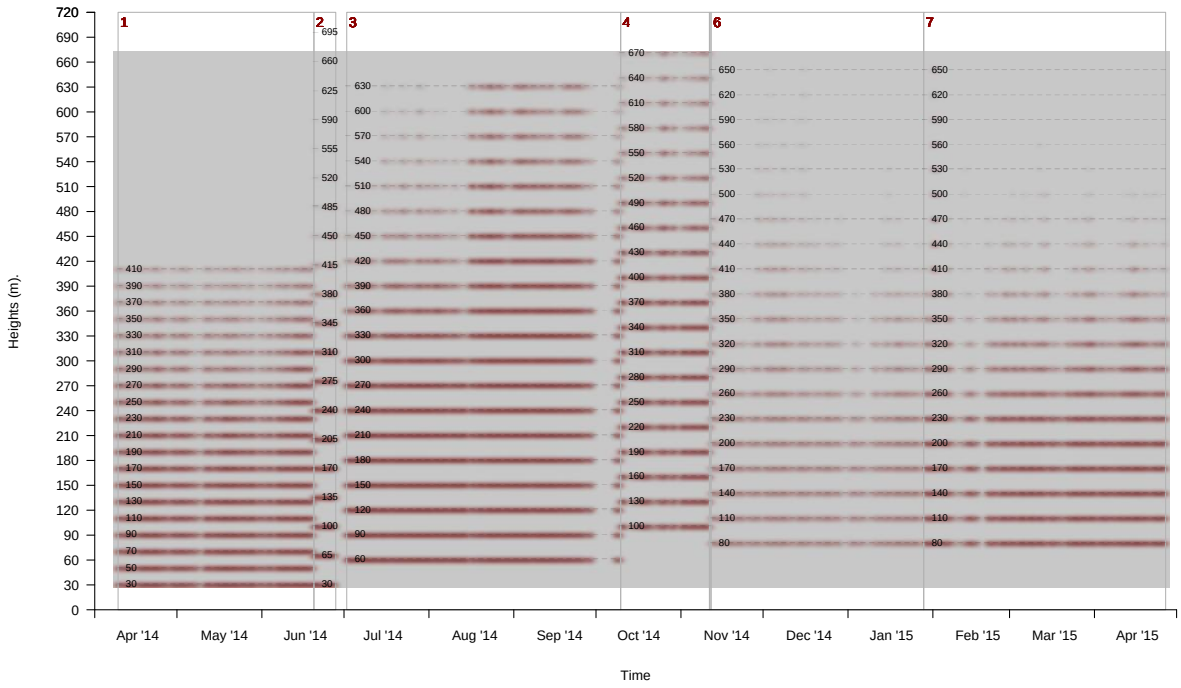
Şekil 2: *SODAR.*

Cihaz, her bir ölçümünü, yatay rüzgâr hızı ve yönü ile düşey rüzgâr hızı olarak günlük bir veri dosyasına cm/sn biriminde kaydetmektedir. Çalışma esnasında tüm rüzgâr hızları m/sn birimine dönüştürülmüştür. Tablo 1, SODAR ile yapılmış farklı ölçüm profillerini göstermektedir. SODAR ile yapılan ölçümlerin tarihleri, ölçümün yapıldığı minimum yükseklikler, ölçüm aralıkları ve bu ölçümlerin sürelerini göstermektedir. SODAR cihaz civarındaki cisimlerden kaynaklı gürültü değerlerini azaltmak, en iyi ölçüm verisini elde etmek ve rüzgârın farklı yüksekliklerdeki davranışını incelemek için farklı dönemlerde farkı yükseklik seviyelerinden veri alacak biçimde çalıştırılmıştır. Tablo 1'de T rüzgâr hızının ortalamasının alındığı dakika cinsinden ölçüm periyodunu, en düşük ölçüm seviyesinin yüksekliğini, Δh ölçüm aralığını ve nL ise ölçümlerin alındığı seviye sayısını göstermektedir.

Tablo 1: Yatay Rüzgâr hızlarına ait ölçüm periodu T (dakika), minimum ölçüm yüksekliği (m.), ölçüm aralığı Δh (m.), seviye sayısı nL ve ölçüm süreleri tablosu.

	T	H_{min}	Δh	nL	Başlangıç Zamanı	Bitiş Zamanı	Ölçüm Süresi
1	10	30	20	20	2014-0409 11:50	2014-06-19 23:50	71 gün 12 saat
2	10	30	35	20	2014-06-20 00:00	2014-06-27 23:50	7 gün 23 saat
3	10	60	30	20	2014-07-02 00:00	2014-10-09 23:50	99 gün 23 saat
4	10	100	30	20	2014-10-10 00:00	2014-11-11 10:00	32 gün 9 saat
5	30	100	30	20	2014-11-11 10:30	2014-11-11 23:30	13 saat
6	30	80	30	20	2014-11-12 00:00	2015-01-28 15:30	77 gün 15 saat
7	10	80	30	20	2015-01-28 15:40	2015-04-26 23:50	88 gün 8 saat

Tablo 1'deki her satırda listelenmiş olan farklı ölçüm parametrelerine göre seviyelerden alınan veriler Şekil 7'de gösterilmiştir. 1. ölçüm profilinde 30m'den başlayarak 20'şer metre aralıklarla 410m'ye kadar ölçüm yapılmıştır. 3. ölçüm profilinde ise 60m'den başlayarak 30m aralıklarla 630m'ye kadar ölçüm yapılmıştır. En yüksek ölçüm seviyesine 3 ve 4. profillerde ulaşılmıştır. Ayrıca bu profiller verinin en çok ve sağlıklı olduğu ölçüm profilleridir.



Şekil 7: Yüksekliğe göre veri yoğunlukları (Her bir ölçüm profiline göre verilerin yükseklik ile dağılımını ve birbirlerine göre yoğunluğunu göstermektedir.)

Tablo 2 ve Tablo 3, sırasıyla yatay ve düşey rüzgâr hızları için her bir ölçüm profilindeki toplam veri sayısını ( ), ölçülemeyen veri sayısını ( ), ölçülemeyen verinin yüzdesini ( ) ve ayrıca verinin profil içerisindeki yoğunluk yüzdesini (**(%)**) göstermektedir. **(%)** 1 ile 10

seviyeler arasındaki veri yoğunluğunu, **(%)** ise 11 ile 20 seviyeleri arasındaki veri yoğunluğudur. Bu tablolar en sağlıklı verilerin hangi dönemlerde ölçüldüğünü göstermesi açısından önemlidir. **(%)** oranı düşük, **(%)** 'ların ise hepsinin nispeten yüksek olduğu profiller en iyi verinin olduğu profillerdir.

Tablo 2: Yatay, u, v, rüzgâr hızları ile yön ölçümlerine ait NA sayıları ve veri yoğunlukları.

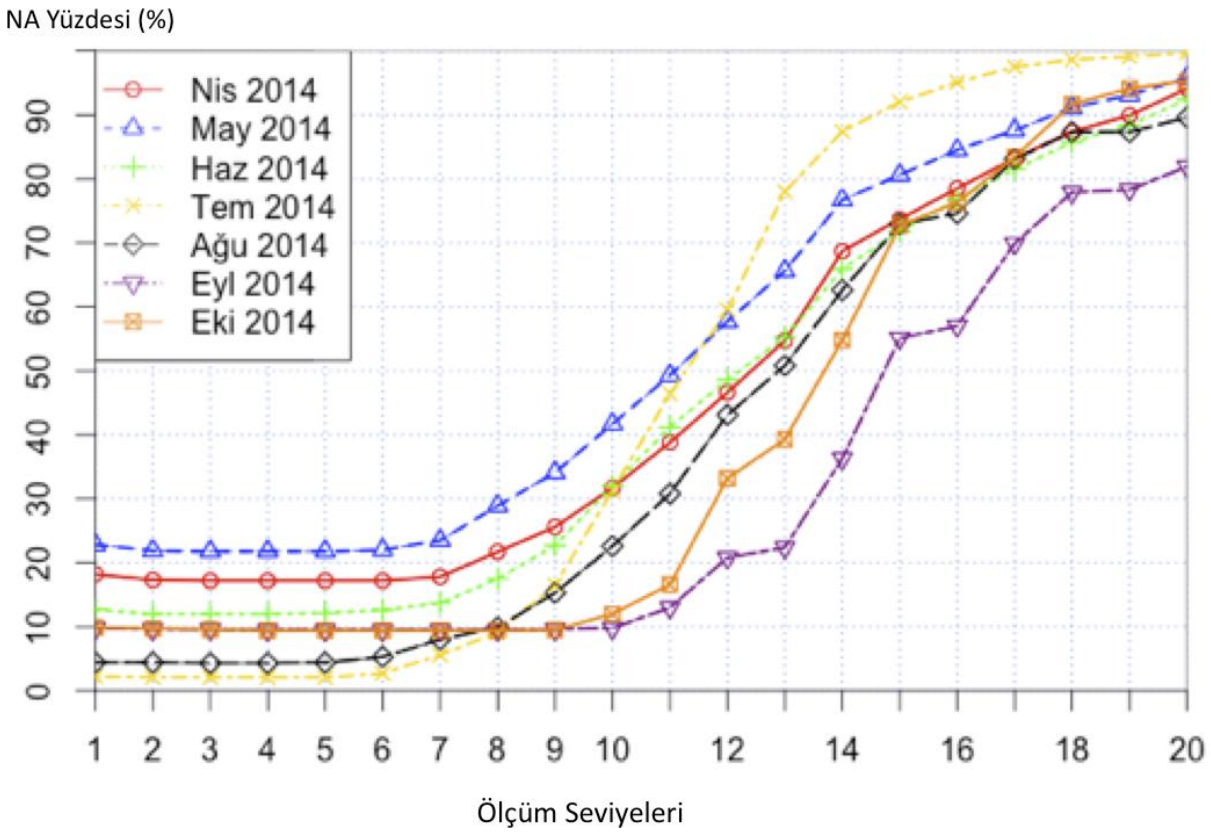
	T	H_{min}	Δh	nL	nX	nNA	(%)	(%)	(%)	(%)
1	10	30	20	20	1089	1887	18.52	53.35	78.28	31.84
2	10	30	35	20	1150	67	5.83	45.45	85.20	9.51
3	10	60	30	20	12971	672	5.18	61.65	91.64	35.96
4	10	100	30	20	3901	855	21.92	53.89	77.47	34.20
5	30	100	30	20	27	3	11.11	35.74	67.78	5.72
6	30	80	30	20	3719	1074	28.88	28.93	54.87	4.73
7	10	80	30	20	12653	3573	28.24	27.13	52.82	2.67

6. profilde ölçüm periyodu 30 dk 'dır. Yaklaşık 77 ölçüm yapılmış olmasına rağmen ölçüm periyodu 30dk olduğundan Şekil 7'de bu dönem daha seyrek ve soluk görünmektedir. 13 saatlik ölçüm süresine sahip 5 numaralı profil süresi kısa olduğu için Şekil 7'de görünmemektedir. 6 ile 7 numaralı profillerde üst seviyelerde yoğunluk oranı %4.7 ve %2.7 'dir ve bu dönemlerde 11 ile 20 arası seviyelerden neredeyse hiç veri alınamamıştır.

Tablo 3: Düşey rüzgâr ( ) hızına ait NA sayıları ve veri yoğunlukları.

	T	H_{min}	Δh	nL	nX	nNA	(%)	(%)	(%)	(%)
1	10	30	20	20	1089	1887	18.52	53.35	78.28	31.84
2	10	30	35	20	1150	67	5.83	45.45	85.20	9.51
3	10	60	30	20	12971	672	5.18	61.65	91.64	35.96
4	10	100	30	20	3901	855	21.92	53.89	77.47	34.20
5	30	100	30	20	27	3	11.11	35.74	67.78	5.72
6	30	80	30	20	3719	1074	28.88	28.93	54.87	4.73
7	10	80	30	20	12653	3573	28.24	27.13	52.82	2.67

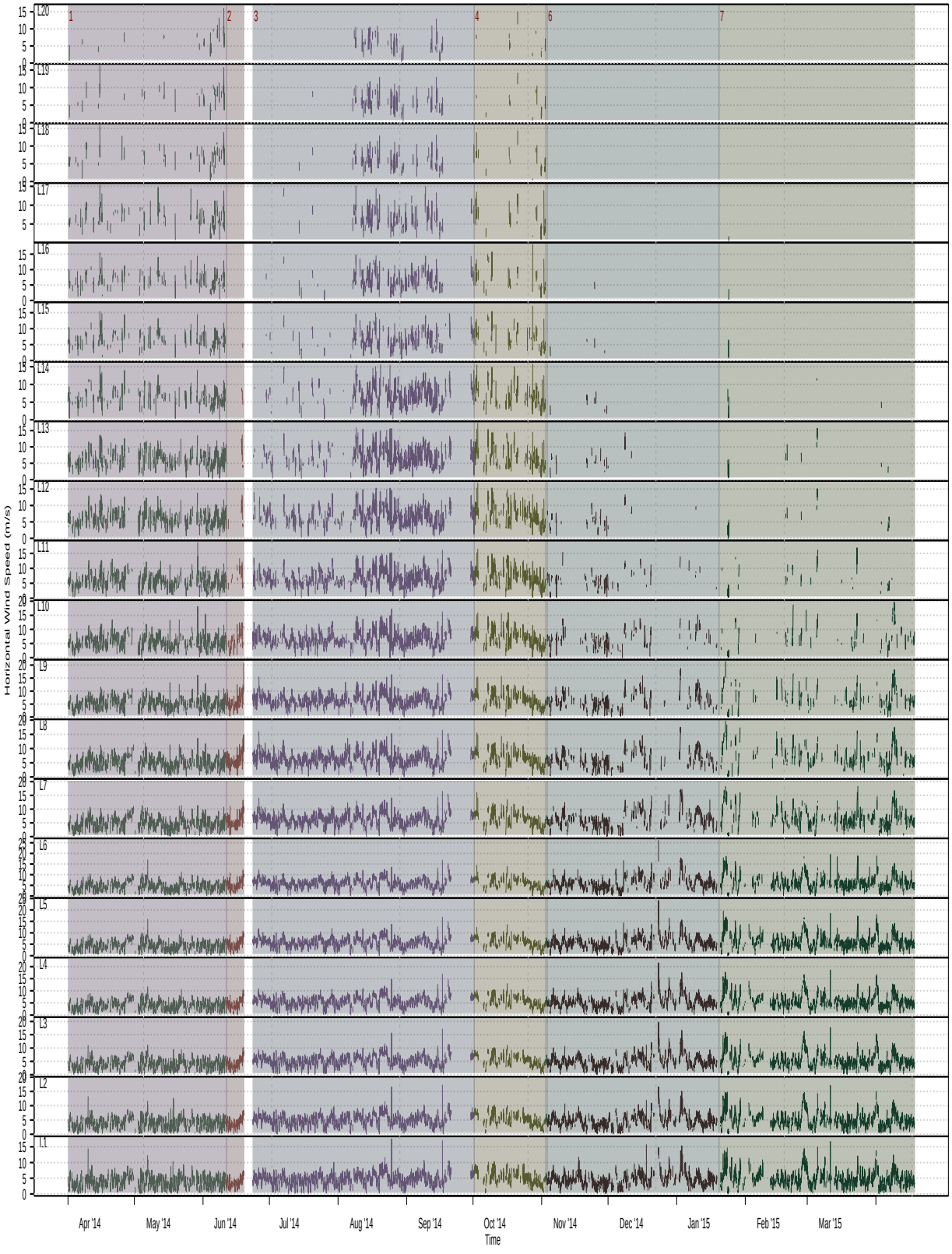
Şekil 4, Nisan-Ekim 2014 ayları arasındaki aylık toplam NA yüzdelerini göstermektedir. Tablo 2 ve 3 de göz önüne alındığında, veri mevcudiyeti ilk 10 seviye için oldukça iyi iken, 11 ile 20 seviyeler arasında veri mevcudiyeti hızlı bir biçimde azalmaktadır. Yukarı seviyelere çıkıldıkça veri eksikliği, ölçüm profillerini değiştirsek dahi ortaya çıkan bir davranıştır. Nisan, Mayıs, Haziran, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında yukarı seviyelerden nispeten daha çok veri alınabilirken, kış aylarında daha az veri alınmıştır (Şekil 7). Bu bulutluluk ve yağış sebebiyle ortaya çıkan bir durumdur.



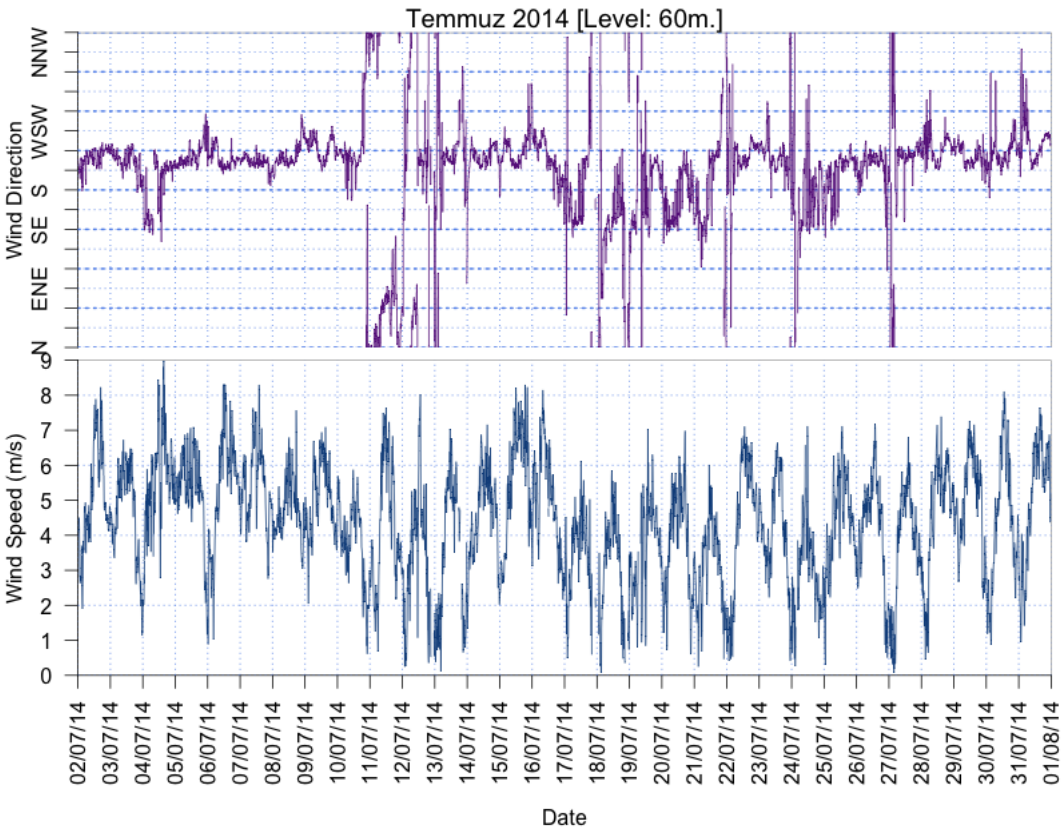
Şekil 4: Aylara göre her bir seviye için NA yüzdeleri

Şekil 5'de ölçüm profilleri farklı renklerde gösterilmek üzere yatay rüzgâr hızının saatlik ortalama zaman serisi çizdirilmiştir. Şekil 7 ve 5 birlikte incelendiğinde verilerin mevcudiyeti daha net görülebilir. Şekil 5'de veri alınabilen alt seviyelere bakılırsa, her bir seviyenin alt ve üst seviyesi ile sağladığı yüksek korelasyon barizdir. Bu nedenle analiz bölümünde seviyeler arası korelasyon katsayıları da hesaplanmış ve yükseklikle nasıl değiştiği incelenmiştir. Ölçüm seviyelerinin birbirine yakın olması sebebiyle ortaya çıkan bu yüksek korelasyondan dolayı, alt seviyelerdeki bilinen veriler kullanılarak yukarı seviyelerdeki bilinmeyen eksik verilerin istatistiksel olarak büyük yaklaşıklık ile hesaplanması mümkündür.

Şekil 6, Temmuz 2014 ayı için 60m'de ölçülmüş yatay rüzgâr hızı ve yönünü gösteren örnek bir zaman serisi grafiğidir. Grafikten rüzgârın temmuz ayı boyunca güneyli estiği ve günlük bir döngüye sahip olduğu rahatlıkla görülebilmektedir. Bu grafik, geçmişte kullandığımız anemogram örnek alınarak hazırlanmıştır. Her ne kadar veri dijital ve kesikli olsa da, kısa ölçüm periyodu yardımıyla sürekli bir şekilde rüzgâr yön değişimini grafik üzerinde görmek mümkündür.



Şekil 5*: 20 seviyeye ait yatay rüzgâr hızı saatlik ortalama zaman serisi (Farklı renkler ile gösterilmiş zaman serileri farklı ölçüm periyodu ya da yükseklik aralıklarını göstermektedir)*



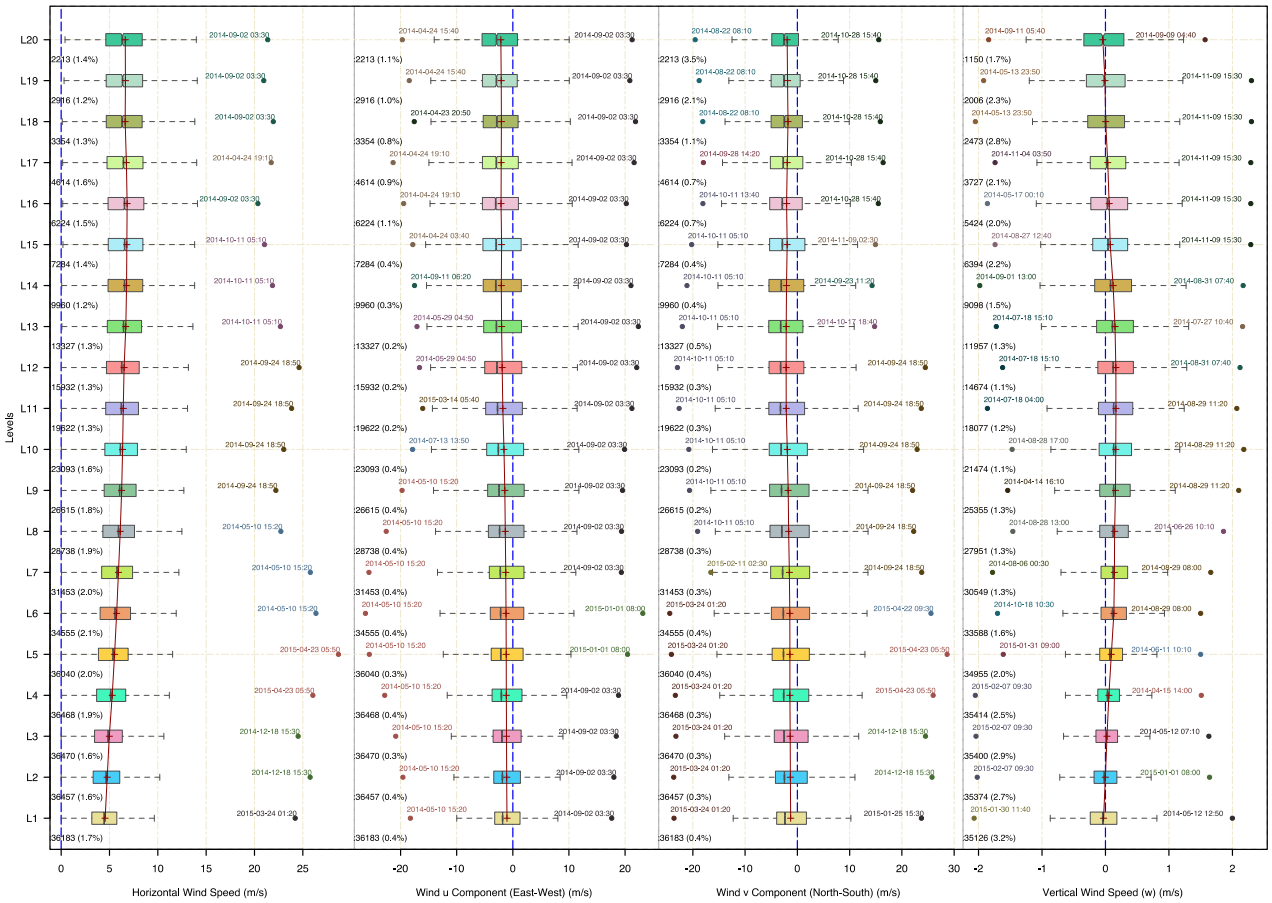
Şekil 6*: Temmuz 2014 ayı için 60m'deki yatay rüzgâr hızı ve yönü zaman serisi örneği.*

3. ANALİZ

Bu bölümde, SODAR 'dan elde edilmiş veriler istatistiksel olarak incelenmiştir. Giriş bölümünde de vurgulandığı üzere, ölçümler gerek SODAR çalıştırma koşulları, atmosfer koşulları ya da cihazdan kaynaklı nedenlerle aksamaya uğrayabilmektedir. Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis) ve Çok Değişkenli Analiz (Multivariate Analysis) gibi yöntemler eksiksiz veri örneklerine ihtiyaç duyduğundan SODAR rüzgâr verilerindeki eksiklerin en uygun şekilde giderilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Ayrıca bu bölümde açınsayıcı veri analizi vasıtasıyla verinin dağılımını bozma ihtimali olan aykırı değerler de incelenmiş ve bu değerlerin ayıklanması için objektif bir yol aranmıştır.

Burada amaç, atmosfer koşulları ve cihazın çalışmasından kaynaklı eksik verilerin en uygun şekilde tamamlanması için yükseklik ile değişen rüzgâr hızı ve yön verilerinin doğasının ortaya çıkarılmasıdır. SODAR 20 eşit aralıklı seviye için yatay ve düşey rüzgâr hızı ile rüzgâr yön verisini ölçmektedir. Yatay rüzgâr hızı sıfır ile pozitif değerler arasında dağılırken, düşey rüzgâr hızı negatif veya pozitif değerler alabilmektedir. Rüzgâr yönü ise, derece cinsinden ölçülmüş 0 ila 360 derece arasında değişmektedir. Rüzgâr yönü dairesel bir yörüngede 0-360 arasında

değiştiğinden ve rüzgâr hızı da yön verisine sıkı sıkıya bağlı olduğundan, yatay rüzgâr hızı u ve v bileşenlerine ayrılmış ve ayrıca incelenmiştir.



Şekil 7*: Her bir seviye için bütün veriler üzerinden rüzgârın her bir bileşenine ait kutu grafiği (Her bir kutu grafiğinin sol altında veri sayısı yanında aykırı değerlerin oranı görünmektedir. 1.5 quantile değerini aşan aykırı değerlerden ekstrem olanlar gösterilmiştir.)*

Şekil 7, ölçüm profilleri arasındaki yükseklik ya da zaman farklılıkları göz ardı edilerek her bir ölçüm seviyesi ve rüzgârın her bir bileşeni için hazırlanmış kutu grafiklerini göstermektedir. Ayrıca kutu grafiklerinin sol altında grafiği oluşturmak için kullanılmış veri sayısı ve aykırı değerlerin % oranı ile kutu grafiğinin sağında ve solunda her bir seviye ve rüzgâr hız bileşeni için 1.5 quantile değerini aşan aykırı değerlerden ekstrem olanlar tarihleri ile birlikte gösterilmiştir. Aynı gün içerisinde meydana gelmiş aykırı değerler aynı renk tonu ile gösterilmiştir. Böylece grafiği hazırlamak için kullanılan verinin tarihleri içerisindeki sürede ekstrem aykırı değerin tekil bir olaydan mı yoksa doğal olaylardan mı meydana geldiği daha rahat anlaşılabilmektedir. Ayrıca, ortalama düşey profilin şeklini takip eden aykırı değerler, hatalı bir veriden ziyade o gün

meydana gelmiş meteorolojik bir hadiseden kaynaklanma ihtimalini göstermektedir. Şekil 7'deki grafik, incelenerek bir kaç hatalı değer ayıklandıktan sonra yeniden çizdirilmiş grafiktir.

Şekil 7'de yatay rüzgâr hızının düşey profili bilinen logaritmik profili takip etmektedir. Bütün seviyelerde verinin aritmetik ortalaması ile medyan değeri büyük yaklaşıklık ile aynıdır. L1'deki rüzgâr hızı yaklaşık 5 m/s ve L20'deki ortalama rüzgâr hızı 6.5 m/s 'dir. Ayrıca L1 kutu grafiğinin 36184 adet veriden oluşturulmuşken, L20'deki kutu grafiğinin 2213 adet veriden oluşturulduğuna dikkat etmek gerekir. Zira veri sayısı kutu grafiğinin şeklini ve dolayısıyla dağılımın tipini değiştirmektedir. Seviyelere göre rüzgâr hızının hangi dağılımlara uyduğuna lineer regresyon analizinde daha ayrıntılı olarak bakılmıştır.

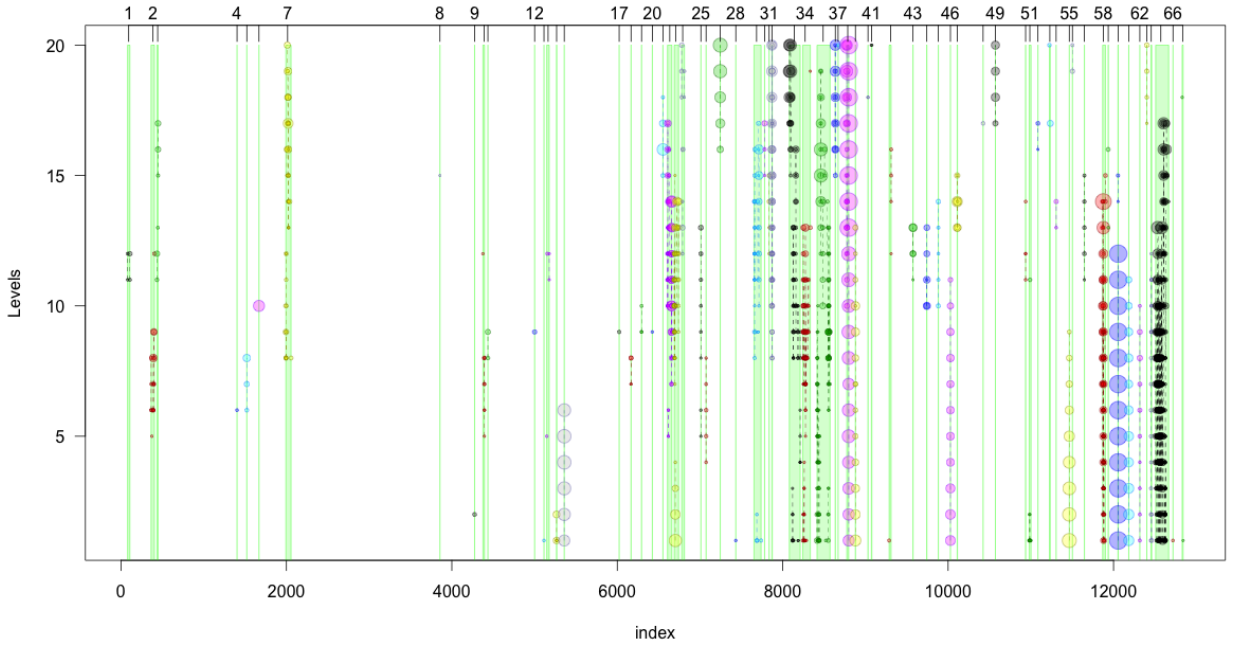
Şekil 7, rüzgârın u ve v bileşenlerinin düşey profili incelendiğinde u bileşeninin doğu yönünde ve v bileşeninin ise güney yönde seyrettiği görülmektedir. Düşey profiller yine logaritmik profile yakındır. Lakin her iki bileşende de verinin ortalama değerleri ortanca değerinden daha yüksektir. Her iki bileşenin düşey profilinde ekstrem aykırı değerlerin çoğunlukla 10 Mayıs 2014, 24 Nisan 2014, 02 Eylül 2014 tarihlerinde meydana gelmiş olması bu günleri meteorolojik olarak incelenmesi açısından kaydet değer bir işarettir. Bu günlerin incelenmesi sonraki çalışmalara bırakılmıştır.

Düşey rüzgâr hızı w'nin düşey profili incelendiğinde ise L1 seviyesinde düşey hız negatif (aşağı yönlü) iken, L3 ve L17 seviyeleri arasında düşey hız pozitif yani yukarı yönlüdür. Bu seviyelerde 29 Ağustos 2014 tarihinde meydana gelmiş ekstrem aykırı değerler mevcuttur. L11 ve L20 arasında ise 09 Kasım 2014 tarihleri arasında meydana gelmiş 2. bir ekstrem olaylar zinciri mevcuttur. 07 Şubat 2015 ise düşey rüzgâr hızının negatif (aşağı yönlü) olduğu ekstrem tarihdir. Bu günler de yine meteorolojik açıdan incelenmeye müsait günlerdir.

Şekil 8, 1 yıllık yatay rüzgar hızı verisi üzerinden hesaplanmış her bir seviye için 1.5 quantile değerini aşan aykırı değerlerin zaman serisini göstermektedir. Bilindiği üzere, aykırı değerler herhangi bir hatalı ölçümden kaynaklı olabileceği gibi, meteorolojik bir etken kaynaklı da olabilir. Düşey eksen ölçüm alınan seviyeleri, alt yatay eksen de başlangıçtan bu yana kaçıncı ölçüm olduğunu göstermektedir. Ölçüm sayısı çok olduğundan alt yatay eksende tarih ve saat yerine sıra numarası kullanılmıştır. Üst yatay eksen, birbirine yakın aykırı değerlerin otomatik olarak gruplanması sonucu oluşturulmuş grup numaralarını göstermektedir. Burada, birbirine yakın olan ölçüm anlarında mevcut aykırı değerler göz önüne alınarak gruplama yapılmıştır. Aykırı değerler, daire şeklinde işaretlenmiştir ve aykırı değerin büyüklüğü dairelerin yarıçapı ile orantılıdır. Her bir sütundaki daireler aynı renk ile boyanmıştır.

Şekil 8'de bir küme genişliği ne kadar büyükse (ne kadar çok birbirine yakın aykırı değer içeriyorsa) ve küme içerisindeki aykırı değerleri gösteren dairelerin çapı nispeten ne kadar küçük

ise, bu gruplar meteorolojik değerlendirme açısından uygun zamanlardır. Böyle bir durum, grubun kapsadığı zaman diliminde ve bütün ölçüm seviyelerinde meteorolojik olarak rüzgar hızının artmasına neden olmuş bir hadisenin vuku bulduğuna delalettir. Bunun aksine, aykırı değer dairelerinin çapı ne kadar büyük ve tek bir sütun halinde yalnız bulunuyorlarsa, bu anlar bir şekilde hatalı ölçüm ihtimalinin yüksek olduğu anları göstermektedir.



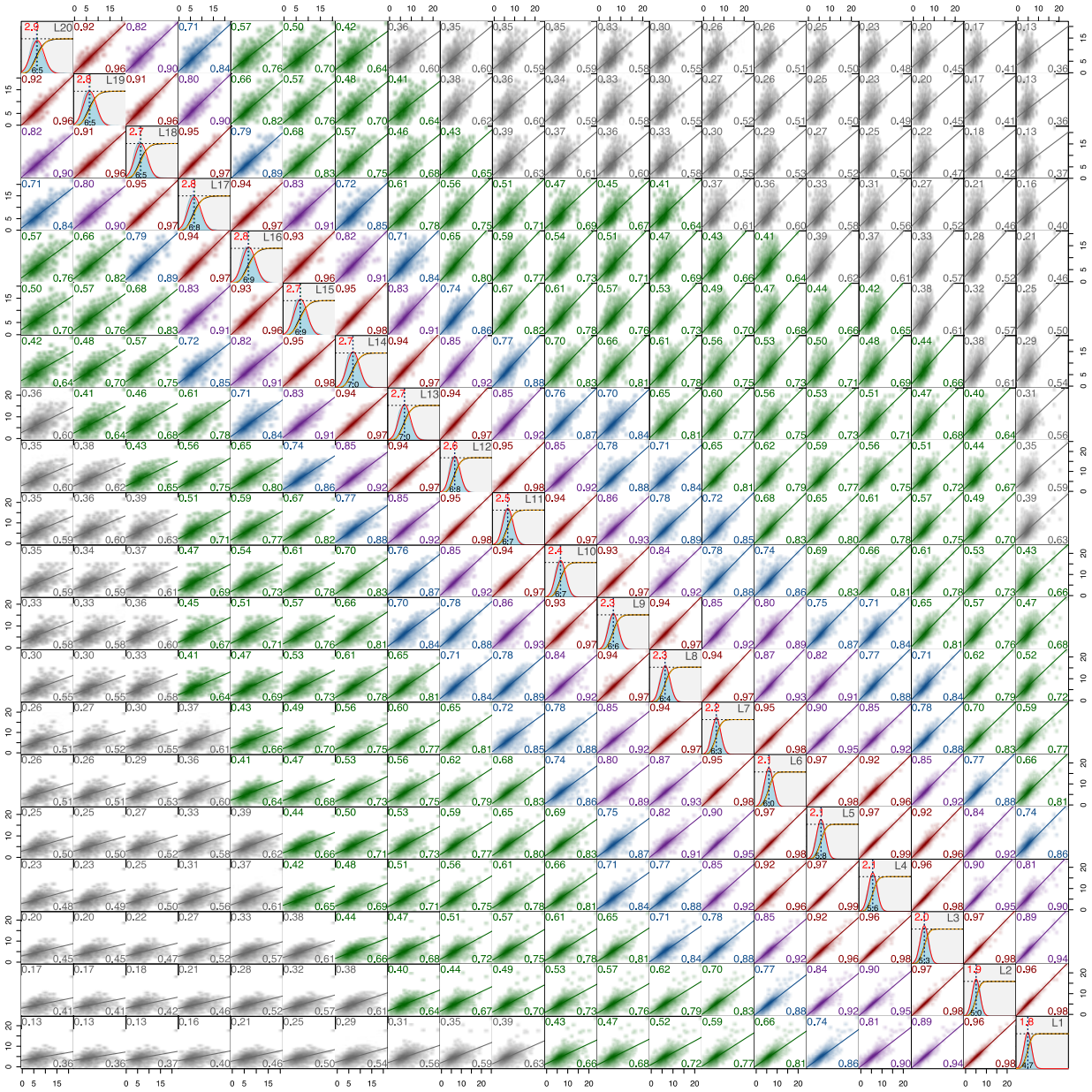
Şekil 8*: Her bir seviye için tüm veri üzerinden hesaplanmış 1.5 Quantile değerini aşan aykırı değerler ve veri üzerindeki konumları (Aykırı değerleri gösteren dairelerin boyutları aykırı değerin büyüklüğü ile orantılıdır).*

Şekil 8'deki gibi bir yöntem, yine rüzgar ölçüm seviyelerinin birbirine yakın olması nedeniyle veriler arasında yüksek korelasyon olması gerektiği gerçeğine bağlıdır. Böylece bu grafik üzerinde hatalı veriler rahatlıkla görülebilmekte ve veri üzerinde kolayca veri kalitesi analizi yapılabilmektedir. Şekil 8 bize yaklaşık 13000 veri içerisinde en kötü ihtimal ile 67 adet ölçümün göz atmaya değer olduğunu söylemektedir. Bu büyük miktarda veri içerisinde hatalı değerleri bulma ve düzeltme konusunda oldukça verimli bir yöntemdir. Örneğin, ilk bakışta 38 ve 60. kümelerdeki verilerin tek başına durdukları ve o anda rüzgar hızlarının önceki ve sonraki rüzgar hızlarına oranla aşırı derecede civarındakilerden farklı olduğu rahatlıkla gözlenebilmektedir. 6. Gruptaki tek ve nispeten büyük pembe daire yine o noktada ani bir rüzgar hızı artışına işarettir ve bir insan tarafından hatalı olup olmadığı kontrol edilmelidir.

Lineer model analizi, her ne kadar basit gibi görünse de, hiç umulmadık zamanlarda karmaşık sistemleri açıklama yeteneği sayesinde bugün hala gözde istatiksel yöntemlerden birisidir. Veri bölümünde, en kaliteli verinin sırasıyla #3, #4 ve #1 numaralı profillerde olduğunu bulmuştuk

(Tablo 2 ve Tablo 3). Aşağıdaki lineer model hesaplamalarında #3 numaralı profildeki veriler kullanılmıştır.

Şekil 9, 20x20 kutudan oluşmaktadır ve sol üst köşe ile sağ alt köşeyi birleştiren köşegen diyagonal olarak adlandırılır. Şekil 9'da diyagonal üzerinde verinin olasılık dağılım fonksiyonları (mavi renkli alan), aynı medyan ve ortalama değere sahip normal dağılım fonksiyonu (kırmızı renkli eğri), verinin ve normal dağılımın kümülatif dağılım fonksiyon eğrileri görülmektedir.



Şekil 9*: #3 numaralı profil için yatay rüzgar hızlarının bütün seviyeler ile karşılıklı uygulanmış tek değişkenli lineer regresyon analizi sonuçları (Diyagonaldeki karelerde verinin olasılık yoğunluk (PDF) ve kümülatif yoğunluk (CDF) fonksiyonları, normal dağılımın PDF ve CDF 'leri, sol üst köşede standart sapma değeri ve PDF 'in altında verinin ortalama değeri görülmektedir. Diyagonalin altında ve üstünde karşılaştırılan seviyenin saçılma grafiği ve lineer*

regresyon doğrusu, karenin sol üst kösesinde R değeri ve sağ alt köşesinde de verinin korelasyon katsayısı görülmektedir).

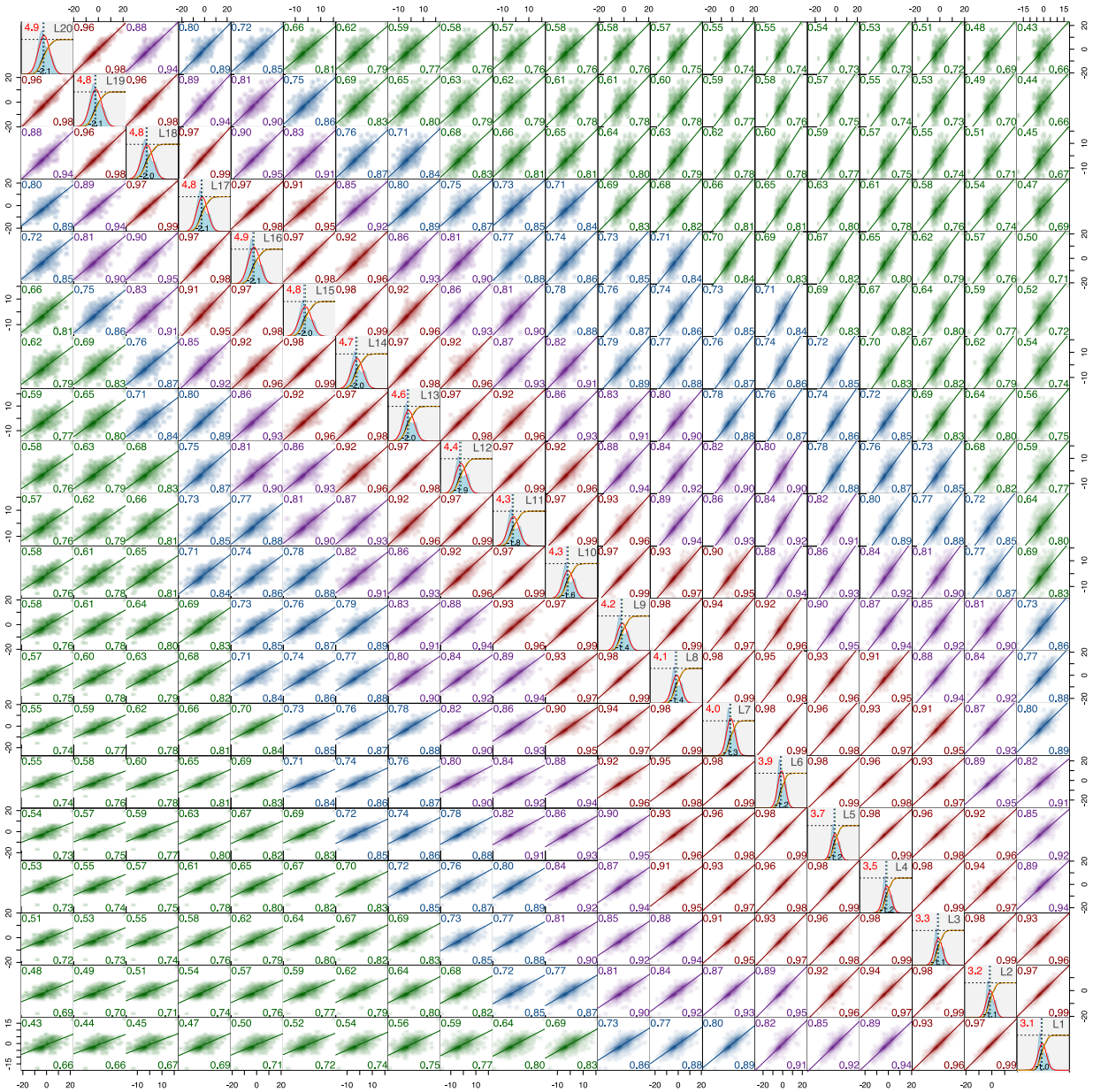
Diyagonaldeki karelerin sol üstünde verinin standart sapması, mavi renkli alanın altında ise verinin ortalama değeri görülmektedir.

Diyagonalin (köşegen) alt ve üstünde kalan karelerde diyagonaldeki her bir seviye verisinin birbiri ile olan saçılma grafikleri ve saçılma noktaları üzerindeki lineer regresyon doğrusu görülmektedir. Bu karelerin sol üstünde değeri ve sağ altında da karşılaştırılan seviyelerin Pearson korelasyon katsayıları görülmektedir. değeri 0.9'dan büyük olan saçılma grafikleri kırmızı, 8.0 ve 0.9 arasında olanlar mor, 0.7 ve 0.8 arasında olanlar mavi, 0.6 ve 0.7 arasında olanlar yeşil ve değeri 0.6'dan küçük olanlar da gri renk ile gösterilmiştir. değeri model sonuçlarının birbirleri ile karşılaştırılmasında kullanılan 0-1 aralığında değişen bir değerdir ve modelin başarısını niteler.

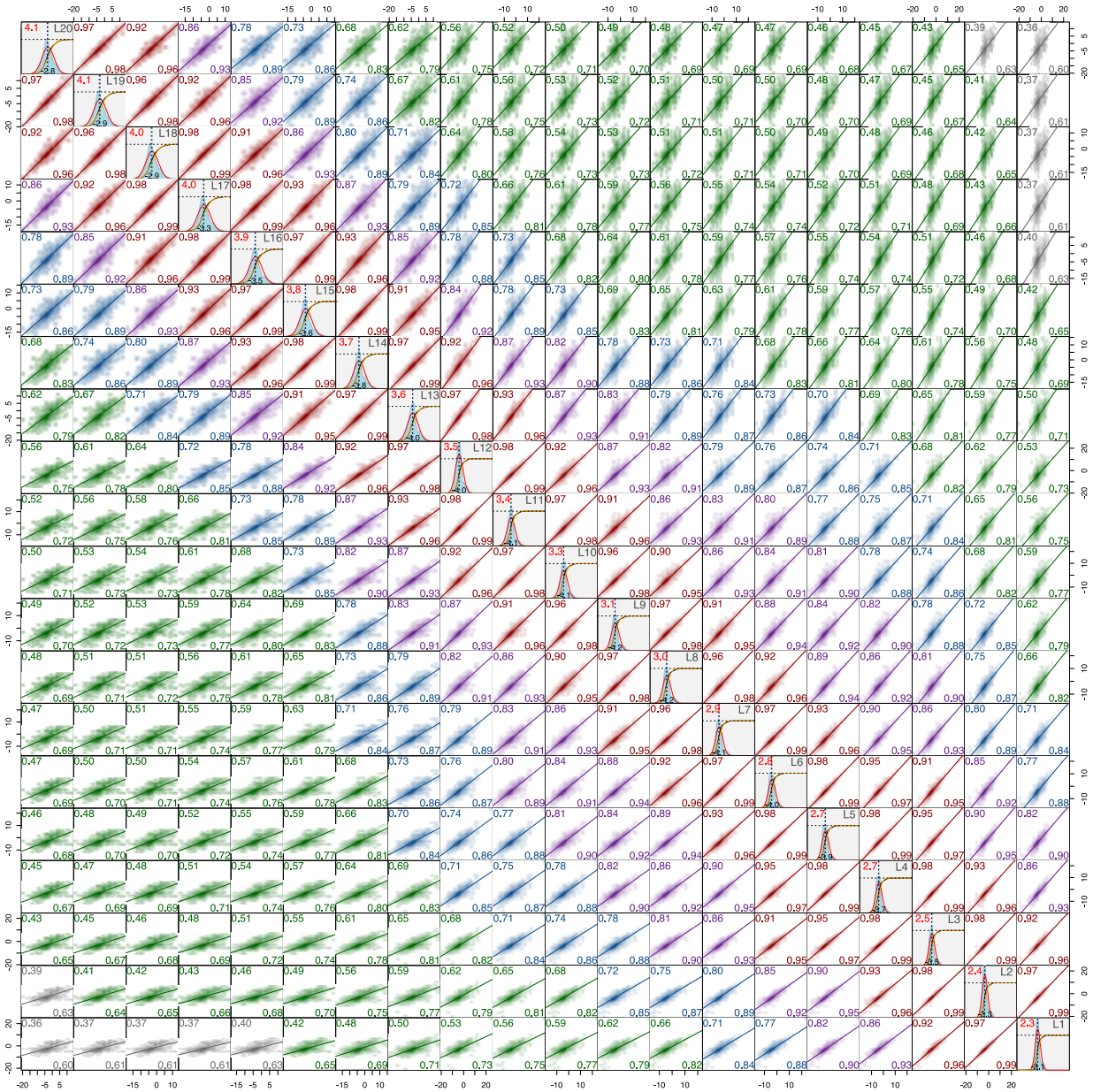
Şekil 9 'da #3 numaralı profil için her bir seviyedeki veri normal dağılım göstermektedir. Her bir seviyenin alt ve üstü ile uygulanmış lineer regresyon sonuçlarının hepsi 0.9 değerinden büyüktür ve bu, seviyeler arasında kurulan lineer modellerin oldukça başarılı olduğuna işarettir. Zaten seviyeler arası yüksek korelasyon Şekil 5'deki zaman serisinde de görülmüştü. Ayrıca diyagonalin altında ve üstünde kalan model grafikleri aynı değildir. Farklı regresyon doğrusu ve farklı intersept değerlerine sahip farklı model sonuçlarıdır. Örneğin, L1~L2 modeline ait değeri 0.94 iken, L2~L1 modeline ait değeri 0.96 çıkabilir.

Şekil 10 ve Şekil 11 yatay rüzgar hızı u ve v bileşenlerine ayrıldıktan sonra oluşturulmuş lineer regresyon grafiklerini içermektedir. U ve v için hazırlanmış lineer modeller, Şekil 9 ile gösterilen ve rüzgar yönü gözetmeksizin yatay hız değerine göre hazırlanmış lineer modellere göre çok az bir miktar daha başarılı gibi gözükmektedir. Burada başarı ölçütü değeridir ve farklı parametrelere sahip olsa dahi lineer modellerin karşılaştırılmasında kullanılır. Şekil 9 ile Şekil 10-11 arasındaki gözle görünür fark, u ve v bileşenleri için elde edilmiş PDF 'lerin normal dağılıma uymaması, fakat bu ikisinin vektörel bileşiminden oluşan yatay hız büyüklüğünden elde edilmiş PDF 'lerin normal dağılıma uymasıdır. Şekil 7'de görüldüğü üzere, kutu grafiklerindeki ortalama medyanlar arasındaki küçük fark burada PDF 'lerde kendini daha açık biçimde göstermektedir ve rüzgarın u ve v bileşenleri söz konusu olduğunda bu dağılım fonksiyonu şekli normal karşılanabilir.

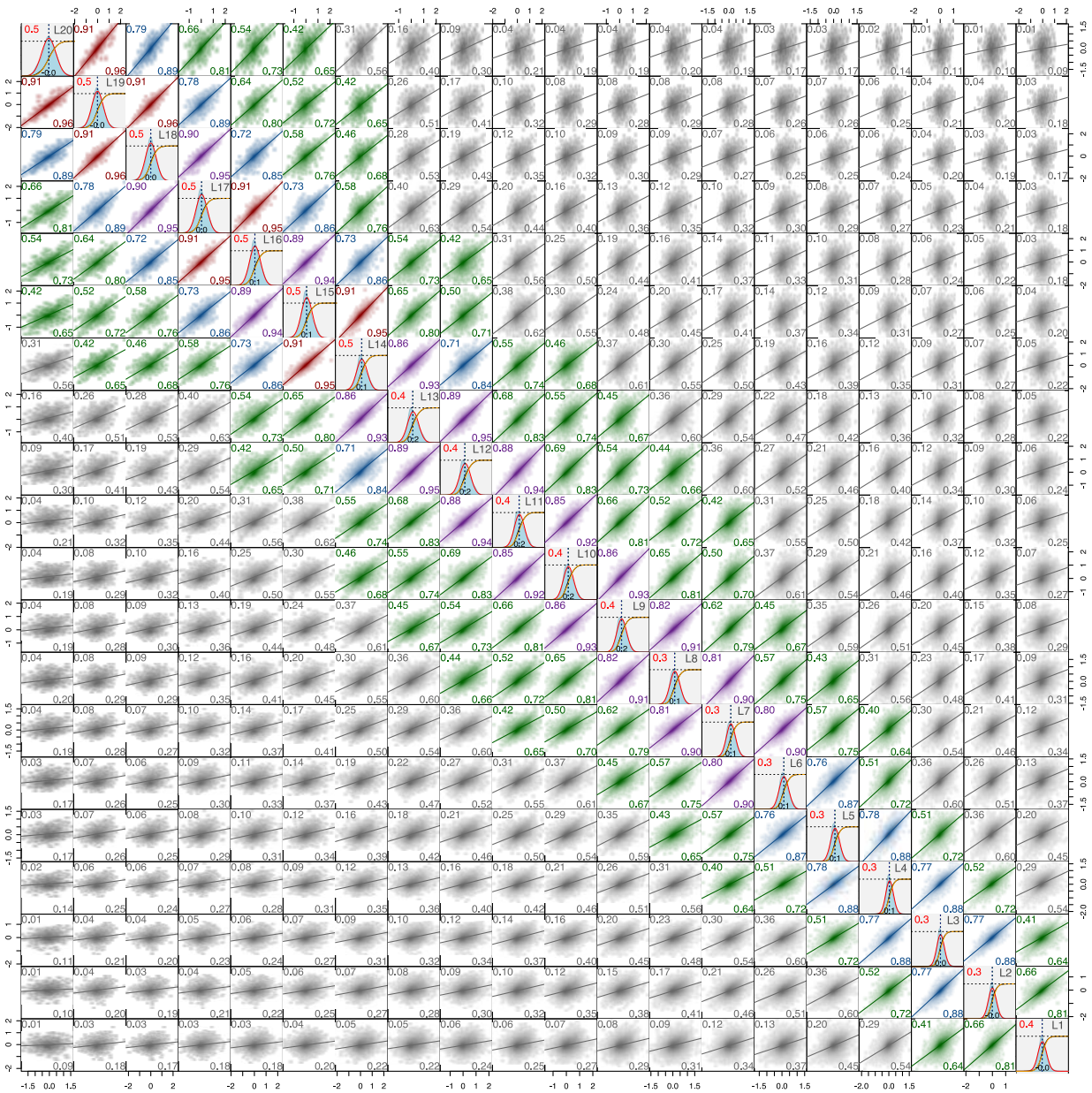
Şekil 12 ise rüzgarın düşey bileşeni üzerine uygulanmış lineer regresyon eğrilerini göstermektedir. Yere yakın alt seviyelerdeki sürtünme etkisinden dolayı, Şekil 12'de göründüğü üzere seviyeler arası değerleri çok küçüktür, lakin yukarı seviyelere çıktıkça sürtünme etkisinin azalmasından dolayı bu değerin arttığı görülmektedir.



Şekil 10: *#3 numaralı profil için rüzgarın u bileşeninin bütün seviyeler ile karşılıklı uygulanmış tek değişkenli lineer regresyon analizi sonuçları (Diyagonaldeki karelerde verinin olasılık yoğunluk (PDF) ve kümülatif yoğunluk (CDF) fonksiyonları, normal dağılımın PDF ve CDF 'leri, sol üst köşede standart sapma değeri ve PDF 'in altında verinin ortalama değeri görülmektedir. Diyagonalin altında ve üstünde karşılaştırılan seviyenin saçılma grafiği ve lineer regresyon doğrusu, karenin sol üst kösesinde R değeri ve sağ alt köşesinde de verinin korelasyon katsayısı görülmektedir).*

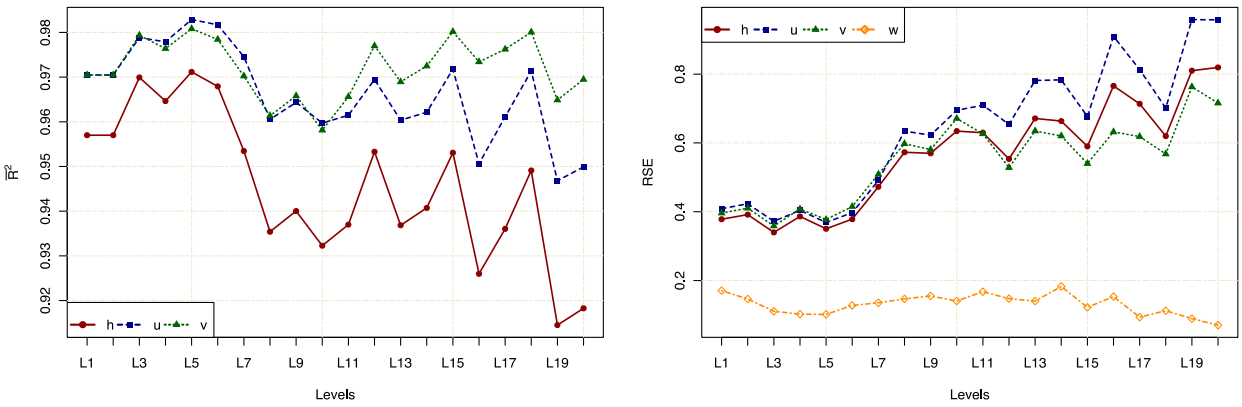


Şekil 11: *#3 numaralı profil için rüzgarın v bileşeninin bütün seviyeler ile karşılıklı uygulanmış tek değişkenli lineer regresyon analizi sonuçları (Diyagonaldeki karelerde verinin olasılık yoğunluk (PDF) ve kümülatif yoğunluk (CDF) fonksiyonları, normal dağılımın PDF ve CDF 'leri, sol üst köşede standart sapma değeri ve PDF 'in altında verinin ortalama değeri görülmektedir. Diyagonalin altında ve üstünde karşılaştırılan seviyenin saçılma grafiği ve lineer regresyon doğrusu, karenin sol üst kösesinde R değeri ve sağ alt köşesinde de verinin korelasyon katsayısı görülmektedir).*



Şekil 12: *#3 numaralı profil için rüzgarın w bileşeninin bütün seviyeler ile karşılıklı uygulanmış tek değişkenli lineer regresyon analizi sonuçları (Diyagonaldeki karelerde verinin olasılık yoğunluk (PDF) ve kümülatif yoğunluk (CDF) fonksiyonları, normal dağılımın PDF ve CDF 'leri, sol üst köşede standart sapma değeri ve PDF 'in altında verinin ortalama değeri görülmektedir. Diyagonalin altında ve üstünde karşılaştırılan seviyenin saçılma grafiği ve lineer regresyon doğrusu, karenin sol üst kösesinde R değeri ve sağ alt köşesinde de verinin korelasyon katsayısı görülmektedir).*

Şekil 10,11 ve 12 ‘deki lineer regresyon doğruları ve değerleri de göz önüne alınarak, yukarı seviyelerde çeşitli sebeplerden dolayı meydana gelen eksik verileri tamamlamak için her karşılaştırma ve hem de kullanmak amacıyla iki farklı tipte lineer model kurulmuştur. Yerden yükseldikçe veriler azaldığından modellerde tahmin edici olarak alt komşu seviyeler kullanılması zorunludur. Buna istinaden her iki model de alt seviyeleri baz alacak biçimde kurulmuştur. Model #1 ‘de eksik verisi hesaplanacak seviye ile alt seviyeler arası model (L1 seviyesi üst seviye ile) kurulmuştur (Li ~L(i-1)). Model #2 ‘de ise L1 seviyesi ile komşu üst iki seviye ve L2 seviyesi ile de L1 ve L3 arasında lineer ilişki kurulmak kaydıyla yine alt komşu iki seviye ile lineer model kurulmuştur (Li ~L(i-1) + L(i-2)). Burada lineer model parametreleri ve sonuçlarını içeren tablolar gösterilmemiştir. Sadece değerlerinin karşılaştırıldığı grafiklere yer verilmiştir. Lineer model kurulumunda intersept değeri için anlamlılığın düşük çıkması ihtimaline karşı tahmin edici değerler doğrudan kullanılmak yerine ortalaması bütün değerlerden çıkarılmış ve veriler standartlaştırılmıştır.

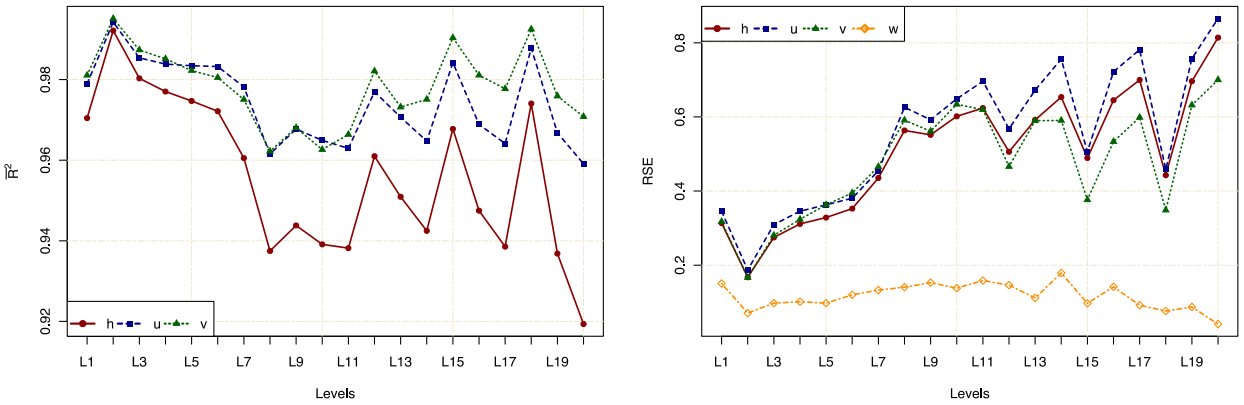


Şekil 13*: Model #1 için ve residülerin standart hataları.*

Şekil 13, Model #1 her bir seviye için ve residülerin standart hatası ‘yı göstermektedir. Bütün seviyelerde rüzgarın u ve v bileşenleri için değerleri yatay hız bileşenine göre daha yüksek çıkmıştır. Bu eksik veriyi tahmin etmede yatay hız yerine bileşenlerinin kullanılmasının daha iyi olacğaını gösteren işaretlerden birisidir. Fakat RSE( ) grafiğinde yatay hızın standart hatası u ve v bileşenlerinin RSE değerleri arasında seyretmektedir.

Şekil 14’de Model #2 için hata grafikleri görülmektedir. grafiğinde yine rüzgarın u ve v bileşenleri üzerinde kurulan modellerin yatay hız bileşenlerine göre daha iyi sonuçlar vereceği aşikardır. Şekil 13 ile karşılaştırıldığında değerleri nispeten daha yüksektir. Bu da Model #2 ‘nin Model #1’e göre üstünlüğünü gösterir. Şekil 14 RSE grafiğinde, yine yatay hız standart hatası, u ve v bileşenlerinin RSE ‘si arasında seyretmektedir.

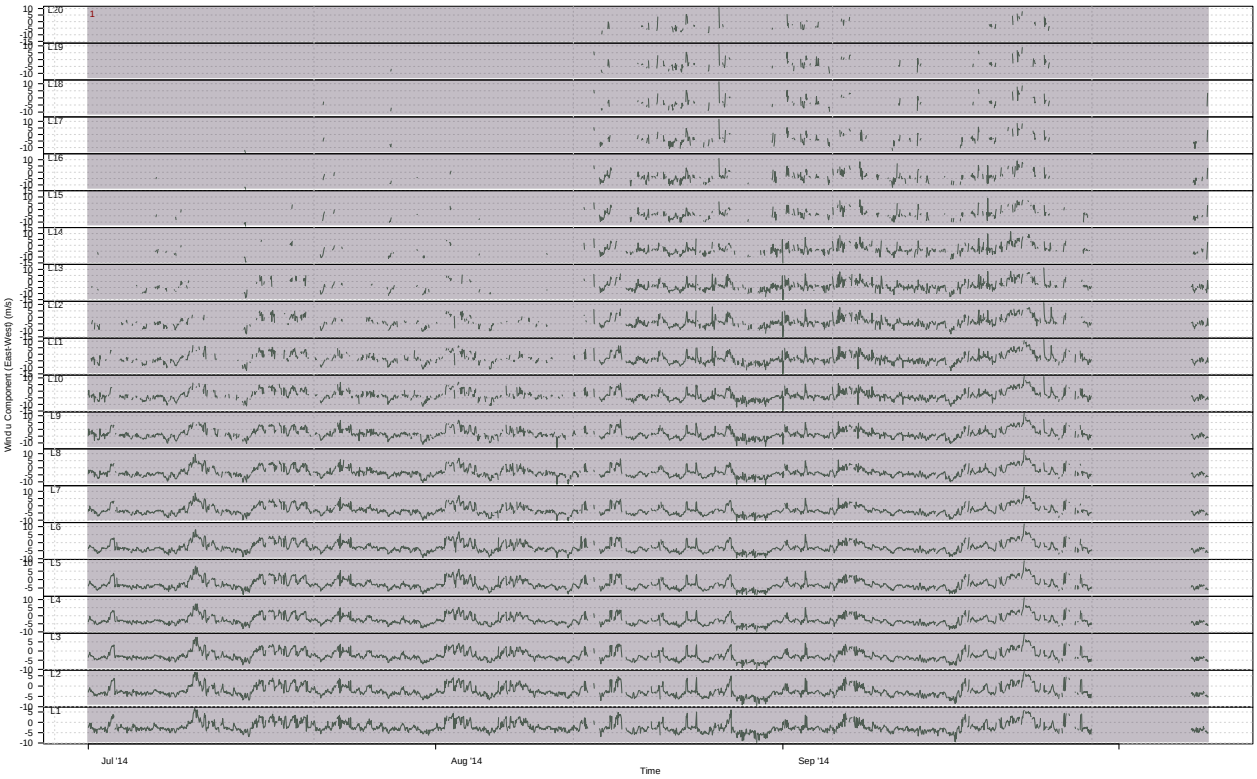
Ayrıca ve RSE grafiklerinde L2 seviyesi için kurulmuş olan modelin değerinin diğerleri arasında en büyük ve RSE değerinin de diğerlerine göre en küçük olduğuna dikkat etmek gerekir. L2 seviyesi için hem alt hem de üst seviyenin verileri kuracak biçimde model inşa edilmiştir ve diğerlerinden farklıdır. Buna göre seviyeler arasın lineer modellerin alt ve üst verileri içerecek şekilde kurulması tahmin performansını arttıracaktır. Fakat verilerin eksikliğinin doğası gereği (alt seviyelerde veri çok iken, üst seviyelere doğru azalmaktadır) üstteki seviyeler alttakiler ile ilişkilendirilecek şekilde modeller kurmak icap eder. Ancak bu şekilde en çok eksik veri tamamlama yapılabilir. Altlı-üstlü ilişkisi içeren lineer modeller daha iyi sonuç verdiğinden, elimizdeki veri için, ilk 10 seviye için altlı üstlü, ve en yukarı seviyeler için ise Model #2 kullanılabilir ve tahmin performansı attırılabilir.



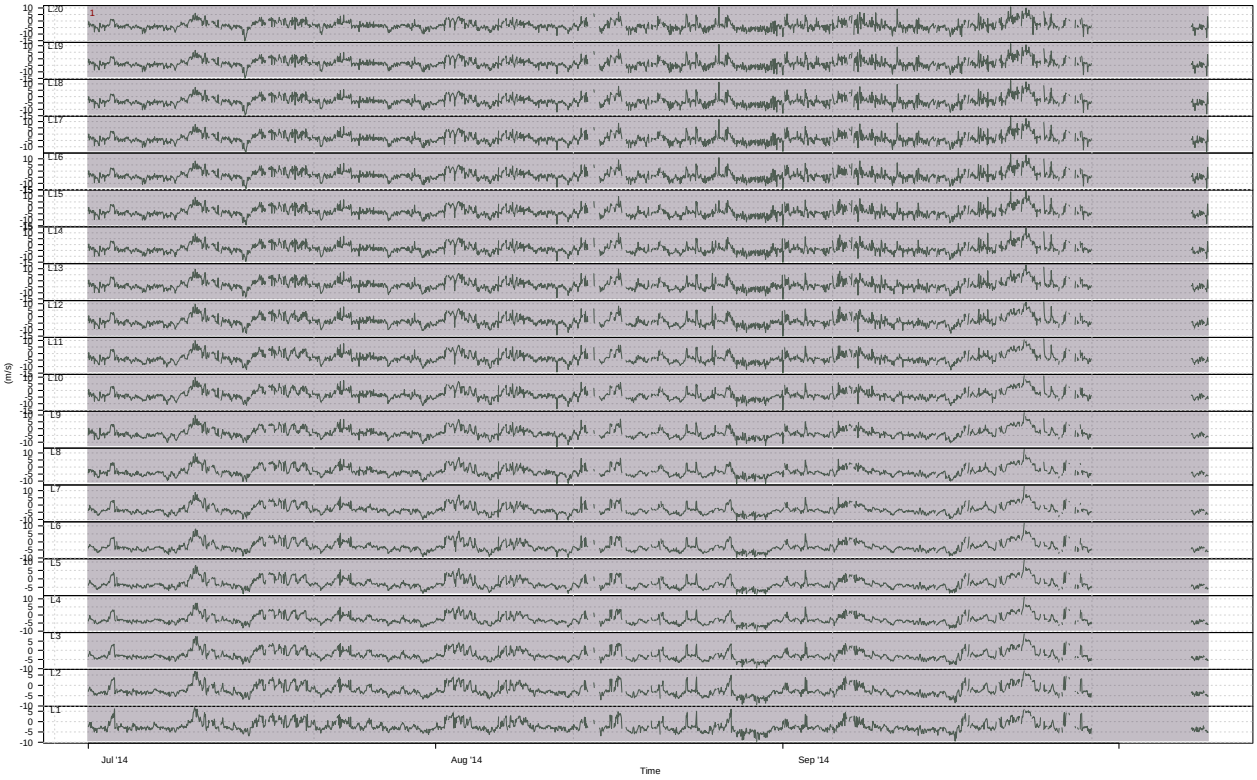
Şekil 14*: Model #2 için ve residülerin standart hataları.*

Model #1 ve #2 için RSE grafikleri incelendiğinde, Model #2'nin daha az hata ile hesaplama yaptığı görülmektedir. Her iki modelde de, yukarı seviyelere çıkıldıkça verinin dağınıklığı ve buna bağlı olarak RSE değerleri artmaktadır. Ayrıca, yapılan tahmin, %95 tahmin aralığı içerisinde yapılmış olup, tahmin edilen her bir verinin bu aralıktaki maksimum ve minimum değerleri bulunabilir. Veri çokluğundan dolayı burada gösterilmemiştir.

Şekil 15 ve 16, Model #2 kullanılarak eksikleri tamamlanmış #3 numaralı ölçüm profilindeki rüzgarın zaman serisi grafikleridir. Burada sadece u bileşeni için olan tamamlanmış zaman serisi gösterilmiştir. Model #2 sonuçları Model #1 sonuçlarına göre üst seviyelerde daha düşük rüzgar hızları vermiştir. Elde ettiğimiz tahmin değerleri ölçülmüş verilerden hesaplanmış ve istatiksel olarak bu verilerin ortalama ve medyan civarında, dahil olduğu popülasyonuna ait tahminlerdir. Yani orijinal veriyi istatiksel olarak bozmazlar. Bu yöntem ile SODAR cihazlarından elde edilen yukarı seviye verileri tamamlanabilir ve veriler üzerinde çalışması daha kolay bir hale getirilebilir.



Şekil 15*: #3 numaralı ölçüm profili için orijinal veri grafiği*



Şekil 16*: #3 numaralı ölçüm profili için tamamlanmış veri grafiği*

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada SODAR cihazından elde edilmiş olan 10 dk 'lık rüzgar hızları istatiksel olarak incelenmiş ve operasyonel anlamda çeşitli etkenler nedeniyle meydana gelen veri eksiklerinin tamamlanması üzerine çalışmalar yapılmıştır. SODAR cihazı kurulmuş belli bir bölgede bir süre ölçüm yapıldıktan sonra, seviyeler arası ilişkiler ve lineer modeller kullanılarak aralıklarla orta sıklıkta meydana gelen eksik veri problemi hızlı bir biçimde çözülebilir. Alt seviyelerde rüzgarın cup anemometre ile ölçüldüğü ama üst seviyelerde ölçülemediği durumlarda ya da hiç veri ölçülmese dahi, yukarıda denenmiş lineer modeller kullanılarak üst seviyelerdeki rüzgar hızlarını tespit etmek kolaydır.

Düşey rüzgar hızı, yeryüzü sürtünmesi nedeniyle ani değişikliklere uğrasa dahi, birbirine yakın olan seviyeler ile eksik verileri tamamlamak mümkündür. Böylece düşey rüzgar hız profilleri incelenerek rüzgarın aşağı mı yoksa yukarı mı yöneldiği görülebilir atmosferin o andaki kararlılık durumları ile ilişkilendirilebilir.

SODAR cihazının birden fazla seviyede ölçüm yapmasının avantajı olarak ortaya çıkmış aykırı değer bulma grafiği, büyük veri yığını içerisinde hatalı olanları tespit etmek noktasında büyük kolaylık sağlamıştır. Bu yöntem kullanılarak bir çok hatalı değer ayıklanmıştır ve yerleri boş bırakılarak lineer model vasıtasıyla doldurulması düşünülmektedir.

SODAR cihazlarının avantajı açık ve aerosol içermeyen havalarda çalışma yüksekliğinin oldukça iyi olmasıdır. Fakat bulutlu veya şiddetli yağış durumlarında SODAR 'ın ölçüm yüksekliği büyük ölçüde düşmekte ya da hiç veri ölçememektedir. Bu LIDAR cihazlarının tam aksine bir davranış biçimidir. LIDAR cihazı da aerosol barındırmayan ve açık havalarda güvenilir sonuçlar vermez. Bu da göz önün alınırsa havalimanı gibi meydanlarda her iki cihazında bulunması, eksik verilerin daha kolay tamamlanabileceğini göstermektedir.

SODAR cihazının en büyük dezavantajı sese karşı duyarlı olmasıdır. Havalimanlarında pist başlarına kurulacak olan bir SODAR cihazının üstünden ya da yakınından geçecek olan bir yolcu uçağı nedeniyle gürültüye maruz kalabilir ve sağlıklı ölçüm yapamayabilir. Fakat yine de, SODAR 'ın çalışma frekans aralığı değiştirilerek ya da pist başlarından çok az miktar farklı noktalara kurulmak suretiyle bu yan etkiler giderilebilir. Havalimanlarında uçakların iniş ve kalkışlarında büyük rol oynayan rüzgar şiiri hadisesi de yine SODAR cihazının verebildği hız bilgileriyle yardımıyla tespit edilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 112Y319 numaralı proje tarafından desteklenmiştir. Çalışmada analizler ve grafikler için R programlama dili kullanılmıştır [6].

KAYNAKLAR

[1] **Gennaro H. Crescenti,** A Look Back on Two Decades of Doppler Sodar Comparison Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78, 651–673., 1997

[2] **Frank Beyrich, Alain Weill**, Some aspects of determining the stable boundary layer depth from SODAR data, Boundary-Layer Meteorology, Volume 63, Issue 1, pp 97-116, 1993.

[3] **R. J. Barthelmie, L. Folkerts, F. T. Ormel, P. Sanderhoff, P. J. Eecen, O. Stobbe, and N. M. Nielsen**, Offshore Wind Turbine Wakes Measured by Sodar. J. Atmos. Oceanic Technol., 20, 466–477., 2003.

[4] **Philip S. Anderson, Russell S. Ladkin, and Ian A. Renfrew**, An Autonomous Doppler Sodar Wind Profiling System. J. Atmos. Oceanic Technol., 22, 1309–1325, 2005.

[5] **K. Baumann, M. Piringer**, Two-years of boundary layer measurements with a sodar - statistics and applications, Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere; Volume 26, Issue 3, Pages 205–211, 2001.

[6] **R Core Team**, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org/, 2013.

Polarimetrik Radarlarda Meteorolojik Olmayan Eko Ayırımı

Sevgi Zübeyde Gürbüz
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara
szgurbuz@etu.edu.tr

Uğur Oğuz
RST Uzaktan Algılama ve Güvenlik Teknolojileri A.Ş.
Ankara
uoguz@rstteknoloji.com.tr

ÖZET

Polarimetrik radar verilerine dayalı yapılan hidrometeor sınıflandırmanın yüksek doğrulukla yapılabilmesi hava tahminlerinin doğruluğu açısından önem arz etmektedir. Ancak, radar aktif bir algılama sistemi olup gönderilen dalganın temas ettiği her nesneden dönen yansımaları aldığından dolayı hidrometeor sınıflandırma öncesinde meteorojik olmayan ekoların ayrıştırılması gerekmektedir. Eko ayırımı için çeşitli yöntemler bulunmaktadır: görüntü işleme teknikleriyle doku analizi, spektrum analiz tabanlı yüksek geçiren süzgeçleme, eşikleme temelli ayrım ve bulanık mantık ile yapay sinir ağları gibi eğitimli makine öğrenme teknikleri uygulanabilir. Bu bildiride eko ayırım tekniklerin başarım, avantaj ve dezavantajları değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler — polarimetrik radar, eko ayırımı.

1. GİRİŞ

Meteoroloji radarları uzun zamandır meteorolojik olayları gözlemlemek için kullanılmaktadır. Yağışın türü ve yoğunluğu havada bulunan hydrometeorlardan dönen yansımalarından tahmin edilebilmektedir. Ancak, gözlemlemek istenen olaylarından haricinde dönen yansımalar bu tahminlerin doğruluğunu düşürmektedir. Her hangi bir yağış olmadığı zaman dahi yersel

yansımalardan, biyolojik yansımalardan (kuş, böcek, vs), ve havada bulunan toz tanelerinden bile radarın algılayabileceği yansımalar almak mümkündür. Bu nedenle, polarimetrik radar verilerinden yüksek doğrulukta hava tahmin sonuçları elde etmek için önce meteorolojik olmayan ekoların ayırt edilmesi gerekmektedir.

İlk çalışmalarda tüm istenmeyen ekolar "kargaşa" olarak isimlendirilerek yersel yanısmalardan, canlılardan (kuşlardan ve böceklerden) veya başka etkenlerden kaynaklandığına bakmaksızın genel teknikler uygulanmıştır. Ancak daha yakın zamanlarda kuşlardan gelen yansımaların diğer kargaşa türlerinden belirgin ve farklı özelliklerinin ortaya çıkarılmasıyla birlikte biyolojik eko ayırımı için yeni öznitelikler önerilmeye başlanmıştır. 2014 yılında başlayan Avrupa Birliği COST Aksiyonu "European Network for the Surveillance of Animal Movement" (ENRAM; *www.enram.eu*) isimli proje kapsamında kıtalar arası kuş ve böcek hareketlerinin radar ile takibi gündeme alınmıştır. Projenin en önemli katkılarından biri ise meteoroloji radarlarıyla görülen yansımaların kuş veya böcek olup olmadıklarının bağımsızca yerde konumlanmış yukarıya bakan radarlarla teyit edilmesidir. Özellikle OPERA radarları için biyolojik eko ayırımı algoritmalarının geliştirilmesi üzerine çalışılmaktadır.

ENRAM proje girişimi ile parallel olarak da Türkiye'de RST firması tarafından ilk defa yerli bir X-bant taşınabilir polarimetrik meteoroloji radarı geliştirilmektedir. Bu Ar-Ge projesi çerçevesinde özgün, yerli veri işleme algoritmaları araştırılmaktadır. Bu bildiride genel kargaşa bastırımı (Bölüm 2) ve son dönemlerde daha yaygın olarak ve yüksek başarım için önerilen makine öğrenme tekniklerine dayalı kargaşa ve biyolojik eko ayırımı (Bölüm 3) için uygulanabilecek algoritmaların başarımı, avantajları ve dezavantajları değerlendirilecektir. Bölüm 4'te bu yeni tekniklerin gerek duyduğu eğitim veri setlerinin oluşturulması için yöntemler tartışılacaktır. Son olarak meteorolojik olmayan ekoların ayırılmasıyla ilgili çıkarımlar paylaşılacaktır.

2. GENEL KARGAŞA BASTIRIMI

Kargaşa hedef olmayan herhangi bir nesne veya yüzeyden dönen bir yansıma olarak tanımlanır. Meteoroloji radarlarında meteorolojik olmayan her türlü hava olayından, kuş, böcek veya yersel yapılardan dönen sinyaller kargaşadır. Tespit edilmesi çalışılan yağış değil de "anomalous propagation" (AP) olarak isimlendirilen durumlar da buna dahildir. Örneğin, soğuk kuru hava, serin ve nemli bir hava tabakası üzerine geldiğinde gönderilen elektromanyetik dalga, yağış olmamasına rağmen beklenenden farklı olarak gelmektedir. Birçok kargaşa çalışması yersel kargaşa yanısıra bunun gibi AP kaynaklı kargaşayı da bastırmayı hedeflemektedir.

2.1 Frekansta Süzgeçleme

Kargaşanın kaynağına göre ise istatiksel, menzil ve Doppler özellikleri değişmektedir. Yersel yapılardan – yani, toprak, deniz yüzeyi, binalardan, ağaçlardan ve yerde bulunan herhangi bir nesneden gelen yansımalar genellikle sabit olduklarından dolayı kendisi de sabit olan radarların algıladığı kargaşanın Doppler frekansı genelde 0 Hz'e yakındır. Bu nedenle, uygulanan ilk ve en temel kargaşa bastırım yöntemi alınan sinyali yüksek geçiren Sonsuz Dürtü Yanıtlı *(Infinite Impulse Response: IIR)* bir süzgeçten geçirilmesidir. İlk radarlarda kargaşa süzgecinin frekans eşiği (cutoff frequency) genelde radarı kullanan operatör tarafından belirlenmiştir [[*1*]. Bu tip bir uygulamada, uygulanan eşik frekansları olması gerektiğinden yüksek olabilmekte ve gereksiz yere meteorolojik sinyalin kesilmesine de neden olabilmektedir. Ancak IIR/pulse-pair yönteminin gerçek zamanlı hesaplanabilmesi nedeniyle bu yaklaşım bir çok sistemde yaygın olarak kullanılmıştır. Örnek olarak US NEXRAD, US TDWR, FMI Network Finland, DWD Network (Germany), ve SIGMET'in RVP6 (1992) ve FVP7 (1997) sistemleri verilebilir.

Son zamanlarda yapılan bazı çalışmalarda ise kargaşa filtresinin eşiğini seçmek için frekans analizi yöntemleri kullanılmıştır [[*1*]. Alınan sinyalin Hızlı Fourier Dönüşümü *(Fast Fourier Transform: FFT)'si* alınarak sinyal gücünü ve gürültü gücünü kıyaslayan bir eşik frekansı tanımlanmıştır.

Bu şekilde eşiği belirlenen bir yüksek geçiren süzgeç ile sinyali işledikten sonra eşikten daha düşük frekansları yakınsamak için doğrusal aradeğerlendirme kullanılmıştır. Aradeğerlendirme işlemiyle çıkarılan olası meteorolojik sinyallerinin aslında yeniden oluşturulamadığı ama yapılan deneylerde bu adımın sayısal filtrelemeden daha yüksek başarım sağladığı çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir. FFT tabanlı yöntemler de bazı sistemlerde uygulanmıştır: INM Network İspanya, SMHI/FV network İsveç, EC network Kanada, ve SIGMET RVP6 ve RVP7 sistemleri buna örnek olarak verilebilir.

2.2 Gauss Modeli Uyarlamalı İşleme (GMAP) Yöntemi

Frekansta süzgeçleme yöntemine alternatif olarak 2004 yılında "Gaussian Model Adaptive Processing" (GMAP) yöntemi önerilmiştir [2]. GMAP yöntemi bir kaç önemli varsayım yapmaktadır:

1. Meteorolojik sinyalin spektral genişliği kargaşa sinyalinin spektral genişliğinden büyüktür.
2. Doppler spektrumu tek bir meteorolojik hedeften, yersel kargaşadan ve gürültüden oluşturulmaktadır. Uçakların ve kuşların verinin içinde karışması durumunda bu varsayım ihlal edilmektedir.
3. Kargaşa bant genişliği yaklaşık olarak bilinmektedir.

4. Kargaşanın ve meteorolojik sinyalin istatistikleri yaklaşık olarak Gauss'dır.

İteratif bir yöntem olan GMAP, çeşitli çalışmalarda US WSR88D radar verileri uzerine denenmiştir. Ancak, başka çalışmalarda aradeğerlendirme ve GMAP gibi Gaussian-fitting uygulayan yöntemlerinin yanlışlıkla sinyalin gücünü artırabileceği de ifade edilmektedir. Buna çözüm olarak adaptif notch filtreleme önerilmiştir [*3*].

3 MAKİNE ÖĞRENME TEKNİKLERİNE DAYALI YÖNTEMLER

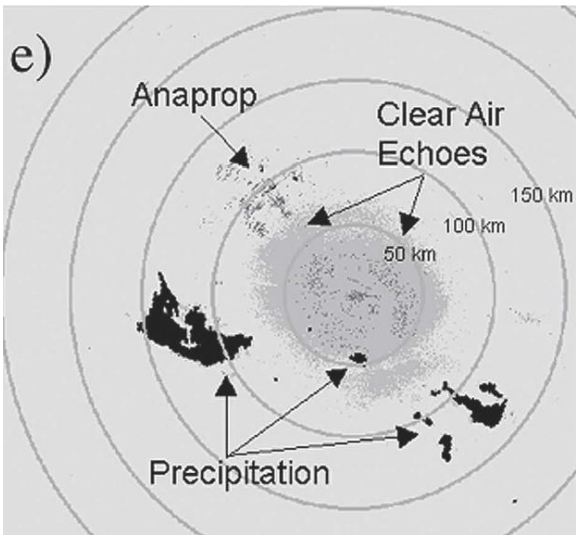
Önceki bölümde bahsedien yöntemler kargaşanın türünü dikkate almaksızın uygulanabilecek yöntemlerdir. Ancak, farklı tür kargaşa kaynaklarının sahip oldukları özelliklerin de farklı olmasından dolayı son yıllarda *eğitimli sınıflandırma algoritmaları* üzerine çalışılmıştır. Eğitimli sınıflandırma algoritmalarından önce sınıfı bilinen bir veri seti üzerine sınıflandırıcının hangi öznitelik değerleri için bir sınıf atadığı belirtilmektedir, sonra bilinmeyen bir veri seti üzerine sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmektedir. En yaygın olarak kullanılan sınıflandırma yöntemlerinden biri ise bulanık mantıktır.

3.1 Bulanık Mantık ve Kargaşa Ayırımı Öznitelikleri

Bulanık mantık uygulayarak sınıf ayırımı yapan bir çalışmada [4] polarimetrik radar verilerinden elde edilen beş moment (Z_H, Z_{DR}, ρ_{HV}, Φ_{DV}, V_r) sınıflandırma için kullanılmaktadır. Momentlerden üç farklı öznitelik hesaplanmaktadır:

1. Z_H'nin darbeden darbeye değişkenliği
2. Z_{DR}'in Dokusallığı
3. Φ_{DV}'nin Dokusallığı

Üç özniteliğin dağılımı çıkartılıp daha sonra bu dağılıma göre her sınıf için ağırlıklandırılmış bir metrik çıkartılmaktadır. İlgili pikselin sınıfı ise en yüksek metriği olan sınıf olarak atanmaktadır. Belirlenen sınıflar ise belirli eşiklerle kıyaslanmaktadır. Son olarak uzaysal süreklilik sağlamak için bir beneksizleştirme *(despeckling)* algoritması uygulanmaktadır. Bulanık mantık yöntemi sonucunda elde edilen örnek bir sınıflandırma sonucu Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Bulanık mantıkla elde edilen örnek bir sınıflandırma sonucu [4].

Literatürde bulunan çalışmalarda texture için başka ölçütler ve öznitelikler de kullanılmıştır. Örneğin, [5]'de Gray-Level Co-occurance Matrix (GCLM) ile hesaplanan enerji, entropi ve atalet parametreleri öznitelik olarak kullanılmaktadır.

Dokusallık haricinde önerilen bir başka başarılı öznitelik ise Clutter Phase Alignment (CPA) parametresidir [6-7]. CPA parametresinin ayırtediciliği kargaşa ile meteorolojik hedeflerin arasındaki yansıma özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Yersel kargaşa yansımalarında genelde faz varyasyonları az iken meteorolojik hedeflerin fazı çok değişebilmektedir. CPA parametresi karmaşık I/Q verilerinden (x_i)

$$CPA = \frac{|\sum_{i=1}^{N} x_i|}{\sum_{i=1}^{N} |x_i|} \tag{1}$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Dolayısıyla, CPA değerleri 0 ile 1 arasında değişmekte; yüksek bir değer kargaşa sinyallerini gösterirken, düşük bir değer darbeden darbede fazının çok değiştiğini, yani meteorolojik bir ölçüm olduğunu ifade etmektedir. CPA parametreleriyle dalgacık dönüşümü parametrelerinin dokusallık (TDSZ) özniteliğine göre kargaşayı meteorolojik sinyalden daha başarılı ayırt ettiği gözlenmiştir.

Bulanık mantık haricinde genel kargaşa ayırımı için Bayes sınıflandırıcısı [8], yapay sinir ağları [9] ve karar ağaçları [10] da kullanılmıştır.

3.2 Biyolojik Ekolara Özel Öznitelikler

Kuşlar ve böceklerden gelen biyolojik yansımaları genel olarak kargaşanın bir parçası olarak düşünüp önceki bölümde bahsedilen yöntemlerle bastırılabilmek mümkündür. Ancak bu tip yansımaların kargaşadan farklı ve ayrı özelliklere sahip olması nedeniyle yakın zamanda özel biyolojik eko ayırım yöntemleri önerilmeye başlanmıştır.

Biyolojik yansımalar genelde dairesel simetriye sahiptir ve radardan olan uzaklık arttıkça gücü azalmaktadır. Polarimetrik değişkenleri karasal kargaşadan farklıdır [11]. Bir başka çalışmada [12] ise diferansiyel Doppler hızının (DDV) da ayrım için kullanılabileceği gösterilmiştir.

Kargaşa bastırımı için uygulanan dokusal-tabanlı yöntemler biyolojik hedeflerden gelen yansımaları çıkartamadığı için biyolojik eko ayrımında genelde polarimetrik öznitelikler çıkartılarak bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi makine öğrenme teknikleri tercih edilmektedir. Örneğin, Lakshmanan ve arkadaşları [13] tarafından yapılan çalışmada iki aşamalı bir yapay sinir ağı kullanılmaktadır. Önce radardan en fazla 4 km uzaklıkta olan pikseller alınmaktadır. Belirli bir yanca açısında yansıma değerlerinin ortalaması alınmakta uzaklığa olan bağlılığı kısmen doğrusal eğrilerle temsil edilmektedir. Eğimi negatif olarak en uzun segmen olası kuş yansımaları işaretlemek için kullanılmaktadır. Olası bir kuş bölgesinden ise altı farklı polarimetrik parametre çıkartılmaktadır: (a) ortalama yansıtıcılığı, (b) yansıtıcılığın varyansı, (c) kuş bölgesinin ortalamasının simetrisi, (d) octant ortalamasının varyansı, (e) olası kuş bölgesinin doluluk oranı ve (f) olası kuş bölgesinin yarıçapı. Bu özniteliklere dayanan birinci yapay sinir ağı çıktısı ise ikinci bir yapay sinir ağına verilmektedir. İkinci yapay sinir ağı ise 22 farklı özniteliği girdi olarak almaktadır.

3.3 Eğitim Seti Oluşturma

Makine öğrenme tekniklerinin çoğu bir eğitim setine ihtiyaç duymaktadır. Yani, sınıfı bilinen bir veri setinin kullanılarak öznitelik değerleri ile sınıf etiketleri arasındaki ilişki ortaya çıkartılmaktadır. Daha sonra ölçülen verileri de elde edilen modelin içine koyarak öznitelik değerleri çıkartılmakta ve sınıf kararı verilmektedir. Bu tip bir teknik geliştirmek için, önce, söz konusu radarkullanılarak bir eğitim setinin oluşturulması gerekmektedir. Bu işlem meteoroloji uzmanlarının desteğiyle gerçekleştirilmektedir. Deneyimli bir meteololoji uzmanı verileri inceleyip, elle sınıf etiketleri atayarak bir eğitim seti oluşturmaktadır.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada hava tahmin doğruluğunu yükseltmek için meteorolojik olmayan ekoların ayırt edilmesinde faydalanabilecek algoritmalar değerlendirilmiştir. En yüksek başarımı sağlayan algoritmalar makine öğrenme tekniklerine dayanmasına karşın bu yöntemlerin bir eğitim veri setine ihtiyaç duymaları kullanımlarını kısıtlamaktadır. Yakın gelecekte Türkiye'de geliştirilecek polarimetrik bir radar sistemleriyle, bu tip bir eğitim veri setinin oluşması mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

[1] J. Golden, "Clutter mitigation in weather radar systems: filter design and analysis," Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, vol. 12, no. 5, 1995, pp. 985-995.

[2] A. Siggia, and R. Passarelli, Jr., "Gaussian model adaptive processing (gmap) for improved ground clutter cancellation and moment calculation," in Proc. ERAD, vol. 67, 2004.

[3] S. Bachmann, V. DeBrunner, D. Zrnic, M. Yeary, "Adaptive technique for clutter and noise suppression in weather radar exposes weak echoes over an urban area," in Proc. SSP 2007.

[4] J. Gourley, F. Tabary, and J. Parent du Chatelet, "A fuzzy logic algorithm for the separation of precipitating for nonprecipitating echoes using polarimetric radar observations," Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, vol. 24, no. 8, 2007, pp. 1439-1451.

[5] P. Wang, K-J. Xu, Y. Zhang, H-Z. Jia, "Doppler weather radar clutter suppression based on texture feature," in Proc. Int. Conf. on Machine Learning and Cybernetics, Xian, 15-17 July, 2012.

[6] J. Hubbert, M. Dixon, and S. Ellis, "Weather radar ground clutter.part i: Identification, modeling and simulation," Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, vol. 26, no. 7, 2009, pp. 1165-1180.

[7] J. Hubbert, M. Dixon, and S. Ellis, "Weather radar ground clutter.part ii: real-time identification and filtering," Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, vol. 26, no. 7, 2009, pp. 1181-1197.

[8] M.A. Rico-Ramirez and I.D. Cluckie, "Classification of ground clutter and anomalous propagation using dual-pole polarization weather radar," IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, vol. 46, no. 7, July 2008.

[9] S. Haykin and C. Deng, "Classification of radar clutter using neural networks," IEEE Trans. Neural Networks, vol. 2, no. 6, Nov. 1991, pp. 589-600.

[10] M. Steiner and J.A. Smith, "Use of three-dimensional reflectivity structure for automated detection and removal of nonprecipitating echoes in radar scans," Journal of Amospheric and Oceanic Technology, vol. 19, no. 9, Sep. 2006, pp. 1157-1180.

[11] D.S. Zrnic, A.V. Ryzhkov, "Observtions of insects and birds with a polarimetric radar," IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, vol. 36, no. 2, march 1998.

[12] V. Melnikov, M. Leskinen, and J. Koistinen, "Doppler velocities at orthogonal polarizations in radar echoes from insects and birds," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 11, no. 3, march 2014.

[13] V. Lakshmanan, J. Zhang, "Censoring biological echoes in weather radar images," in Proc. 6th Int. Conf. on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2009.

Deniz Etkili Kar Yağışının Mezo Ve Mikro Ölçekli Analizi

Emrah Tuncay Özdemir
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Atatürk Havalimanı Meteoroloji Ofisi
Yeşilköy, İstanbul
etozdemir@gmail.com

Fatma Buran
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Atatürk Havalimanı Meteoroloji Ofisi
Yeşilköy, İstanbul
fburan65@hotmail.com

Ali Deniz
İstanbul Teknik Üniversitesi
Meteoroloji Mühendisliği
Maslak, İstanbul
denizali@itu.edu.tr

ÖZET

15 Şubat 2015 00:00 UTC (Universal Coordinated Time)'da 60^0 N enlemi üzerinde enlemlere paralel uzanan karasal arktik soğuk cephe; 030^0 E boylamı boyunca güneye doğru hızlı bir şekilde ilerleyerek (yaklaşık hızı 25 knots) Batı Karadeniz ve İstanbul üzerinden geçerek 17 Şubat 2015 00:00 UTC'de Marmara Denizi üzerine ulaşmıştır. Soğuk cephenin tamamen Batı Karadeniz üzerinden geçmesinden önce, deniz etkili kar yağışını meydana getiren şartlarda oluşmaya başlamıştır. 17 Şubat'ta Atatürk Uluslararası Havalimanı (AHL)'de aralıklarla etkili olmaya başlayan kar sağanağı 18 Şubat'ta etkisini artırarak hakim rüyetin 200 metreye minimum rüyetinde 100 metreye düşmesine neden olmuştur. 19 Şubat'ta kısa süreliğine etkili olan kar sağanağı havalimanında 07:20 UTC'de tamamen sona ermiştir. Devlet Hava Meydanları İşletmesi verilerine göre AHL'de 18 Şubat günü için planlanan 81 adet uçak, 19 Şubat'ta ise 7 uçak divert etmek zorunda kalmıştır. İstanbul'da ölçülen 24 saatlik toplam kar kalınlıkları AHL'de 40 cm, Sarıyer Meteoroloji İstasyonu'nda 39 cm, Kartal 1. Bölge

Müdürlüğü'nde 27 cm, Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı'nda 18 cm ve Kumköy Meteoroloji İstasyonu'nda 3 cm olarak ölçülmüştür. Bu çalışmanın amacı; 17–19 Şubat 2015 tarihlerinde İstanbul'da etkili olan deniz etkili kar sağanağı yağışının gelişim aşamalarını mezo ve mikro ölçekte analizini yapmaktır. Çalışma kapsamında; AHL ait METAR (Aviation Routine Weather Report) ve SPECI (Aviation Selected Special Weather Report) rasatları, GFS (Global Forecast System) analiz ürünleri ve Metoffice'se ait yer kartı analiz ürünleri, MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) uydu görüntüleri, SODAR (Sonic Detection and Ranging) ölçümleri, Skew-T Log-P diyagramları, uydu & radar görüntüleri, Marmara Denizi ve Karadeniz'de ölçülen deniz suyu sıcaklıkları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler — Deniz Etkili Kar Yağışı, Metar, Speci, Radar, Atatürk Uluslararası Havalimanı, Deniz Suyu Sıcaklığı.

1. GİRİŞ

İstanbul Türkiye'nin kuzeybatısında yer almaktadır. Kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Marmara Denizi bulunmaktadır. Boğaziçi kenti ikiye ayırmakta olup; doğu bölümü Asya Kıtası'na, batı bölümü de Avrupa Kıtası'na aittir. Toplam yüzölçümü 5.461 km^2 olup, 2014 nüfus bilgilerine göre 14.377.018 kişi yaşamaktadır. 15 Şubat 2015 00:00 UTC (Universal Coordinated Time)'da 60^0 N enlemi üzerinde enlemlere paralel uzanan karasal arktik soğuk cephe; 030^0 E boylamı boyunca güneye doğru hızlı bir şekilde ilerleyerek (yaklaşık hızı 25 knots) Batı Karadeniz ve İstanbul üzerinden geçerek 17 Şubat 2015 00:00 UTC'de Marmara Denizi üzerine ulaşmıştır. Soğuk cephenin tamamen Batı Karadeniz üzerinden geçmesinden önce, deniz etkili kar yağışını meydana getiren şartlarda oluşmaya başlamıştır. 17 Şubat'ta Atatürk Uluslararası Havalimanı (AHL)'de aralıklarla etkili olmaya başlayan kar sağanağı 18 Şubat'ta etkisini artırarak hakim rüyetin 200 metreye minimum rüyetinde 100 metreye düşmesine neden olmuştur. 19 Şubat'ta kısa süreliğine etkili olan kar sağanağı havalimanında 07:20 UTC'de tamamen sona ermiştir. Devlet Hava Meydanları İşletmesi verilerine göre AHL'de 18 Şubat günü için planlanan 81 adet uçak, 19 Şubat'ta ise 7 uçak divert etmek zorunda kalmıştır. İstanbul'da ölçülen 24 saatlik toplam kar kalınlıkları AHL'de 40 cm, Sarıyer Meteoroloji İstasyonu'nda 39 cm, Kartal 1. Bölge Müdürlüğü'nde 27 cm, Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı'nda 18 cm ve Kumköy Meteoroloji İstasyonu'nda 3 cm olarak ölçülmüştür.

Deniz etkili kar yağışının oluşum mekanizmasıyla göl etkili kar yağışının oluşum mekanizması aynıdır. Soğuk hava kütlesinin, görece sıcak olan büyük su kütleleri üzerinden uzun mesafeler kat

ederek geçmesi, soğuk hava kütlesinin alttan ısınması ve su buharı kazanmasından dolayı; soğuk hava kütlesinin kararsız hale geçmesi sonucu çoğunlukla kümülüform tipi bulutların oluşturduğu kar bantları meydana gelir. Rüzgarın etkisiyle su kütleleri üzerindeki bu kar bantlarının kara parçaları üzerinde yükselmesi sonucunda konvektivite artacak ve oluşan kar yağışı da şiddetini artıracaktır [1,2,3]. Uluslararası alanda göl etkili kar yağışıyla ilgili birçok çalışma bulunmaktadır [4,5,6,7].

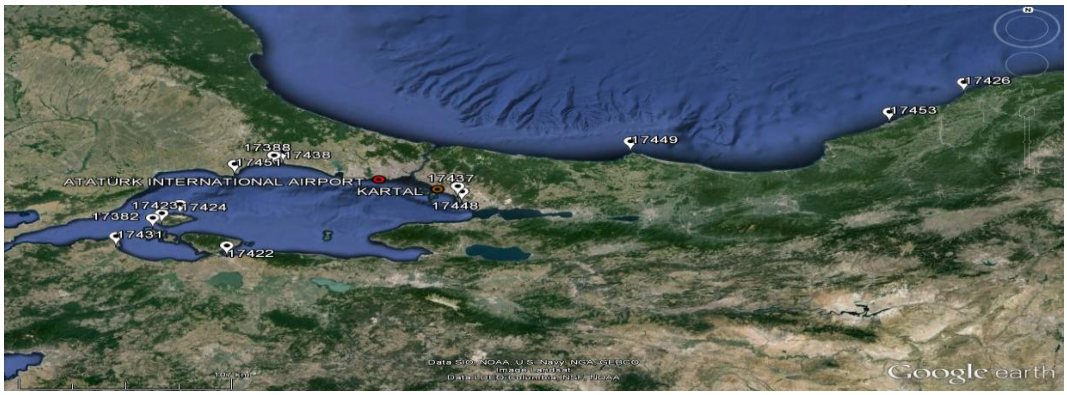
Bu çalışmanın amacı; 17–19 Şubat 2015 tarihlerinde İstanbul'da etkili olan deniz etkili kar sağanağı yağışının gelişim aşamalarını mezo ve mikro ölçekte analizini yapmaktır.

2. DATA VE METOD

Çalışma kapsamında; AHL ait METAR (Aviation Routine Weather Report) ve SPECI (Aviation Selected Special Weather Report) rasatları, GFS (Global Forecast System) analiz ürünleri ve Metoffice'se ait yer kartı analiz ürünleri, MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) uydu görüntüleri, SODAR (Sonic Detection and Ranging) ölçümleri, Skew-T Log-P diyagramları, uydu & radar görüntüleri, Marmara Denizi ve Karadeniz'de ölçülen deniz suyu sıcaklıkları değerlendirilmiştir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den elde edilen İstanbul Radarı (41°20'28" N 28°21'24" E, rakım: 378 m, kule: 41 m, AHL'ye uzaklığı ≈ 56 km, C - band Doppler Radarı)'na ait ürünler mezo ölçek analizinde kullanılmıştır.

Şekil 1'de AHL, Kartal (İstanbul ravinsonde istasyonu) ve deniz suyu ölçüm istasyonlarının konumları gösterilmiştir.

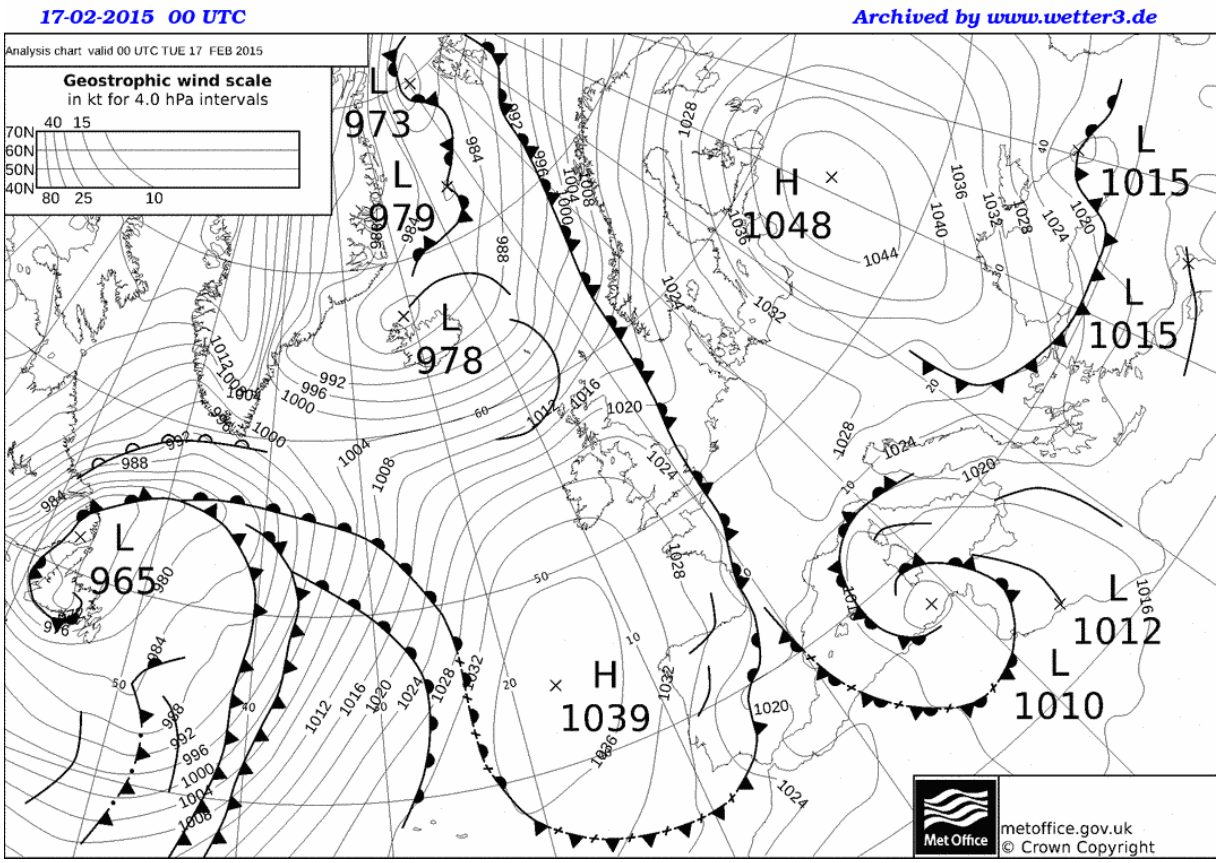


Şekil 1'de AHL, Kartal (İstanbul ravinsonde istasyonu) ve deniz suyu ölçüm istasyonlarının konumları gösterilmiştir.

3. DATA ANALİZ

3.1. Sinoptik Durum

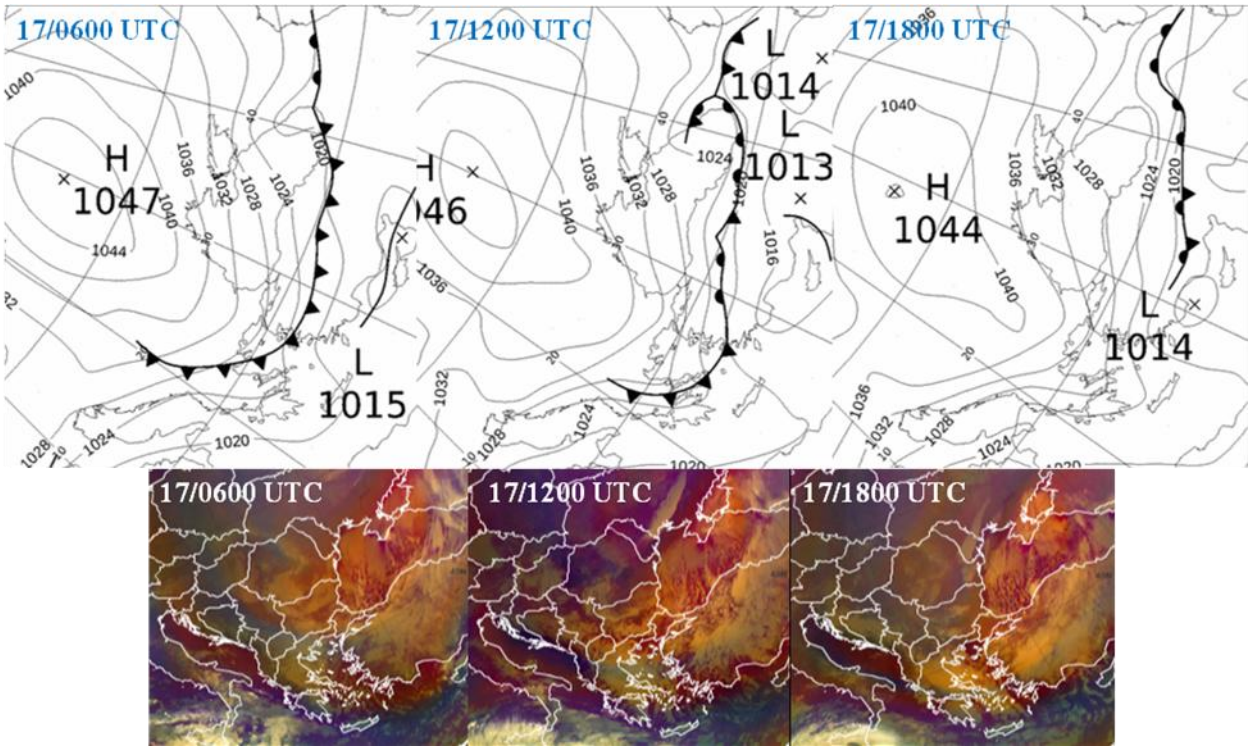
Makro ölçekli sinoptik durum için wetter3 internet sayfasından sağlanan MetOffice ait sinoptik haritalar değerlendirilmiştir. 15 Şubat 2015 0000 UTC'de 60^0 N ile 015^0 E-045^0 E koordinatlarında karasal arktik soğuk cephe bulunmaktadır. Bu cephe 030^0 E boyunca güneye doğru hızlı bir şekilde ilerleyerek Batı Karadeniz üzerinden ve İstanbul üzerinden geçerek Marmara Denizi üzerine ulaşmıştır (Şekil 2). Cephenin yaklaşık hızı 25 knots'tır. Soğuk cephenin tamamen Batı Karadeniz üzerinden geçmesinden önce, deniz etkili kar yağışını oluşturan şartlarda gelişmeye başlamıştır. Cephesel sisteme bağlı trof'un geçişi esnasında, cephe gerisinde bulunan soğuk hava, sıcak deniz suyu tarafından ısıtılmaya başlanmıştır.



Şekil 2: 17 Şubat 2015 0000 UTC' ye ait yer kartı (kaynak: metoffice, www.wetter3.de).

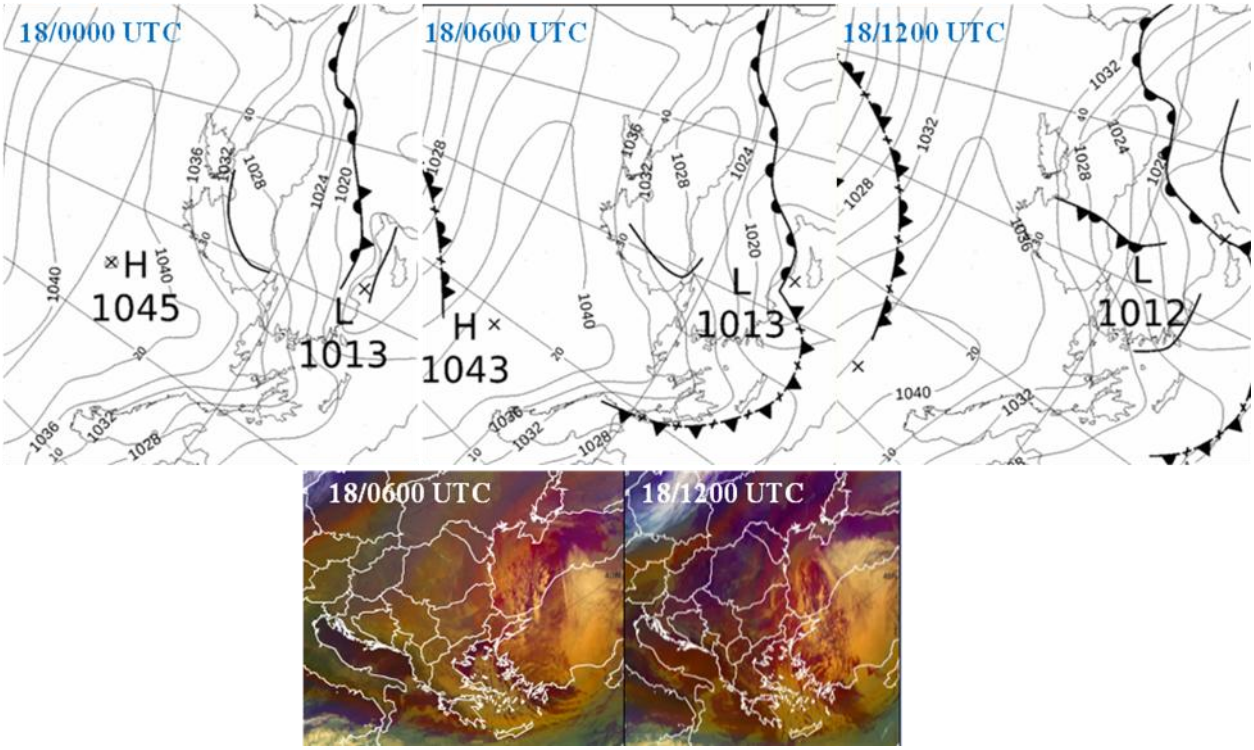
Şekil 3'de 17 Şubat 2015 tarihine ait 0600 UTC, 1200 UTC, 1800 UTC yer kartları ve 0600 UTC, 1200 UTC, 1800 UTC airmass rgb görüntüleri gösterilmiştir. Sibirya yüksek basıncının isobar akışları 30° doğu boylamına yaklaşık olarak 45°'lik bir açıyla batı ve orta Karadeniz üzerinden

Marmara Bölgesi'ne doğru akmaktadır. Airmass rgb görüntülerinde Karadenizin batı ve orta bölümlerinde kar bantları görülmektedir.

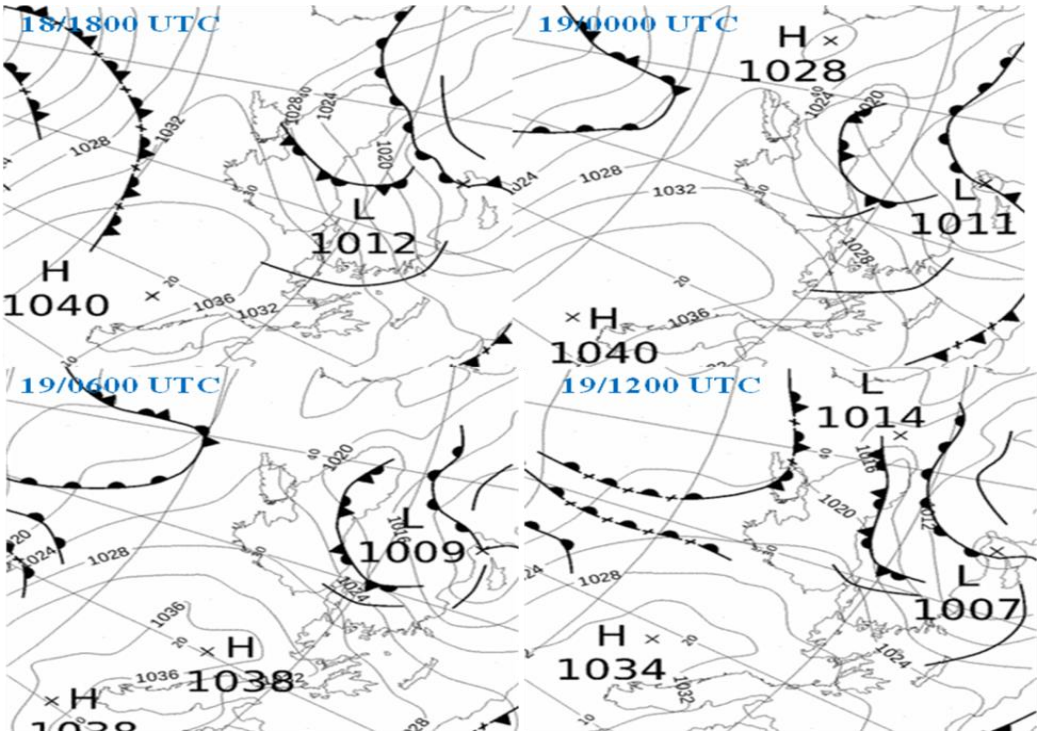


Şekil 3: 17 Şubat 2015 0600 UTC, 1200 UTC, 1800 UTC yer kartları ve 0600 UTC, 1200 UTC, 1800 UTC airmass rgb görüntüleri (kaynak: metoffice, www.wetter3.de, www. Eumetrain.org).

Marmara Bölgesi üzerinde 18 Şubat 2015 günü devam eden kuzeydoğulu akışlar İstanbul ve çevresinde kar sağanağı şiddetini artırmıştır (Şekil 4). 19 Şubat 2015 günü 1200 UTC'de sistem İstanbul ve çevresinde aktivitesini kaybetmiştir. İstanbul ve çevresinde 17-19 Şubat 2015 tarihlerinde cephesel sistemin hızlı hareketine istinaden 500 hPa seviyesinde sıcaklık değeri -40°C olan izoterm değerine sahip soğuk hava da bu cephesel sisteme bağlı olarak hareket etmiştir (harita olarak gösterilmemiştir).



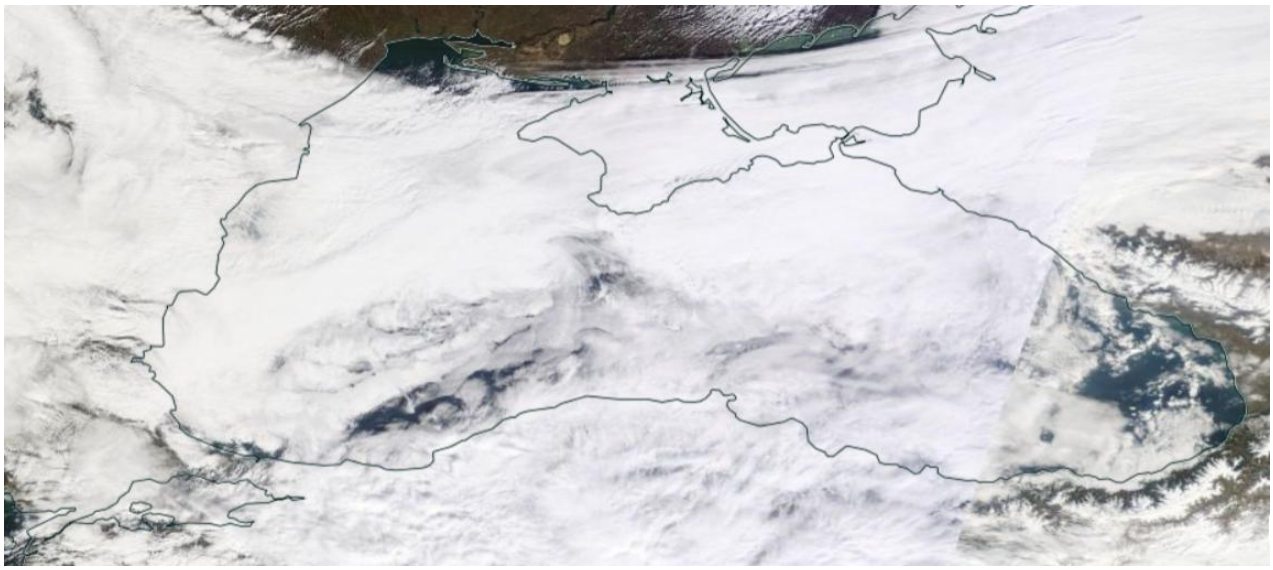
Şekil 4: 18 Şubat 2015 0000 UTC, 0600 UTC, 1200 UTC yer kartları ve 0600 UTC, 1200 UTC airmass rgb görüntüleri (kaynak: metoffice, www.wetter3.de, www. eumetrain.org).



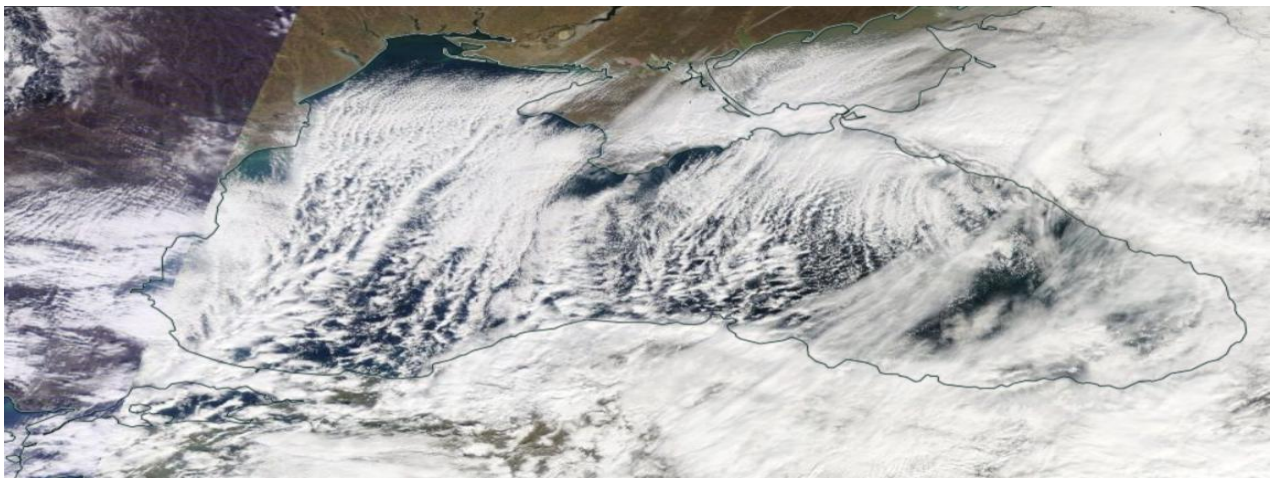
Şekil 5: 18 Şubat 2015 1800 UTC, 19 Şubat 2015 0000 UTC, 0600 UTC ve 1200 UTC yer kartları (kaynak: metoffice, www.wetter3.de).

3.2. Modis Uydu Görüntüsü

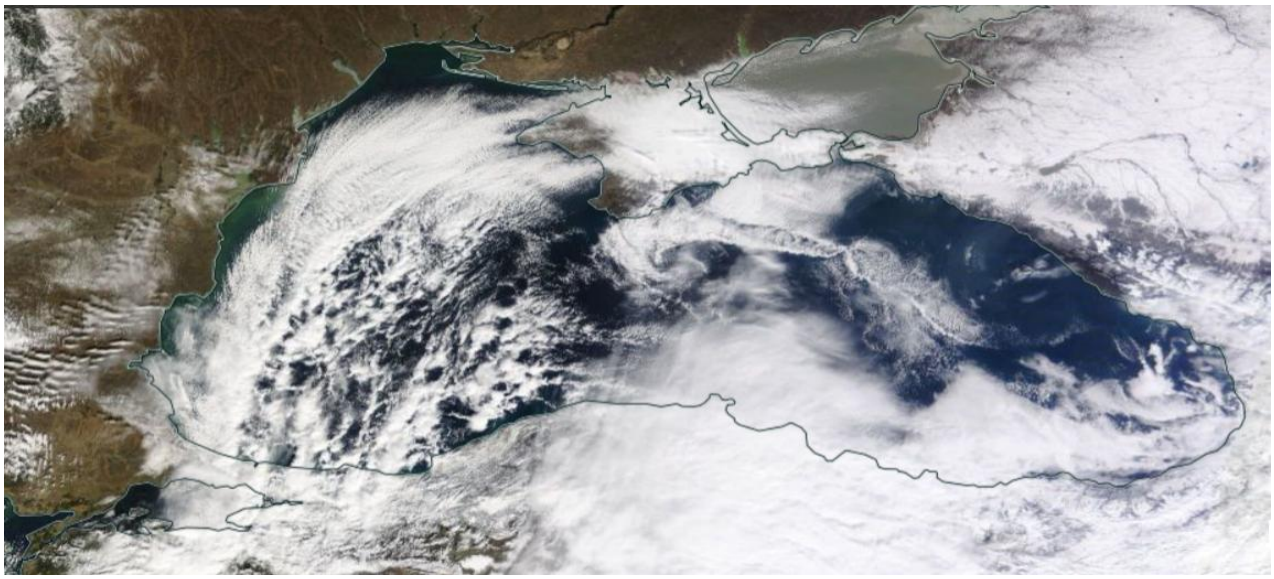
Birleştirilmiş Modis uydu görüntülerinde 16 Şubat 2015 günü Karadeniz'de normal bulutluluk görülmekte (Şekil 6) olup, 17 Şubat ve 18 Şubat günleri deniz etkisinden meydana gelen bulut bantları sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de görülmektedir. 19 Şubat günü deniz etkisi etkinliğini kaybetmeye başlamış ve deniz etkisinden meydana gelen bulutlulukta azalma eğilimine girmiştir (Şekil 9).



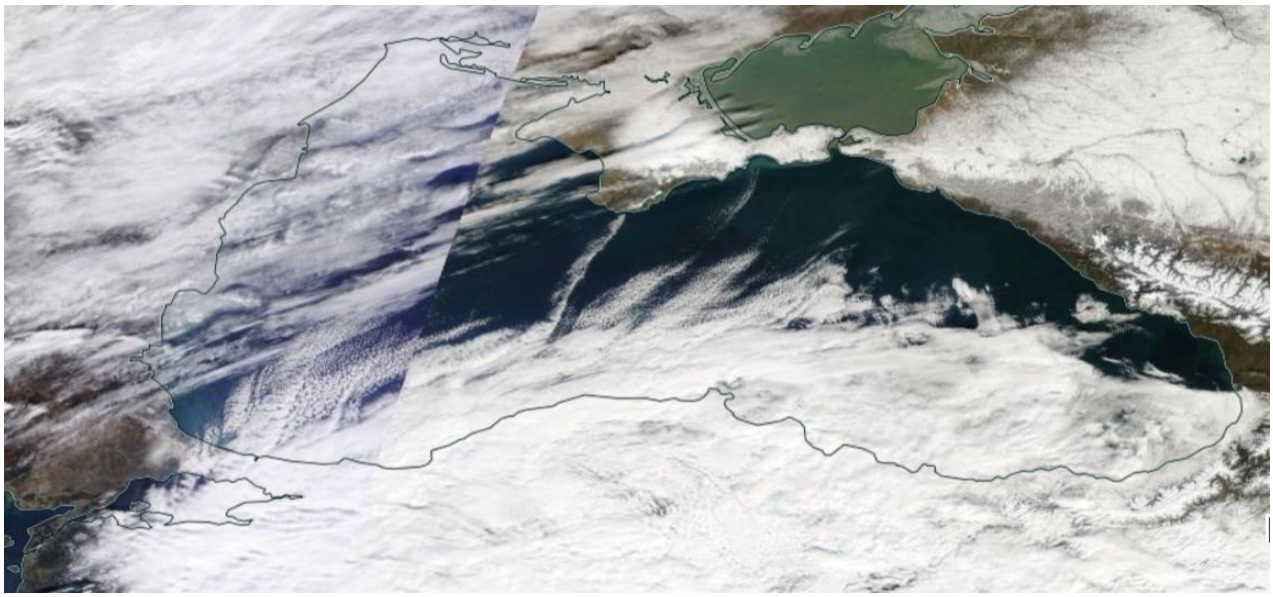
Şekil 6: 16 Şubat 2015 Modis uydu görüntüsü (kaynak: NASA)



Şekil 7: 17 Şubat 2015 Modis uydu görüntüsü (kaynak: NASA)



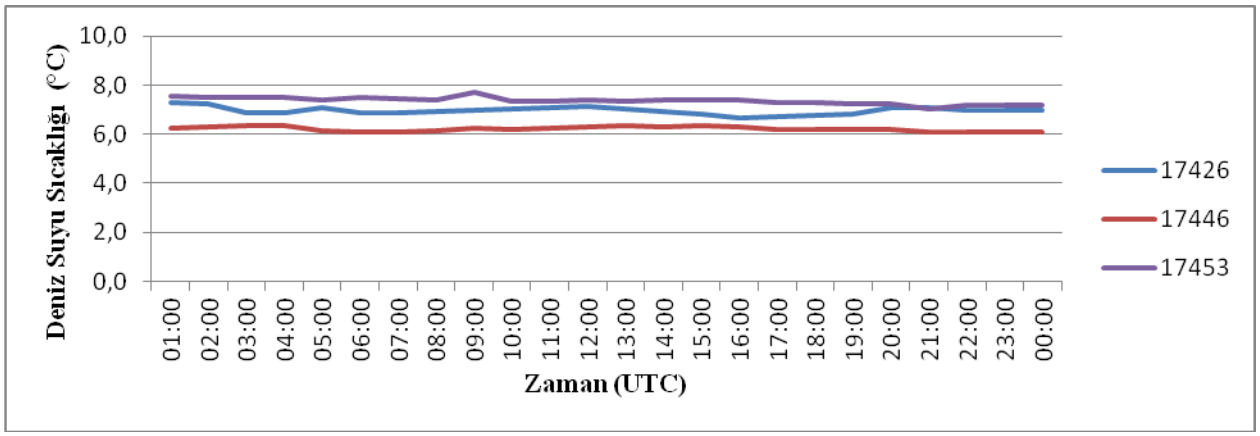
Şekil 8: 18 Şubat 2015 Modis uydu görüntüsü (kaynak: NASA)



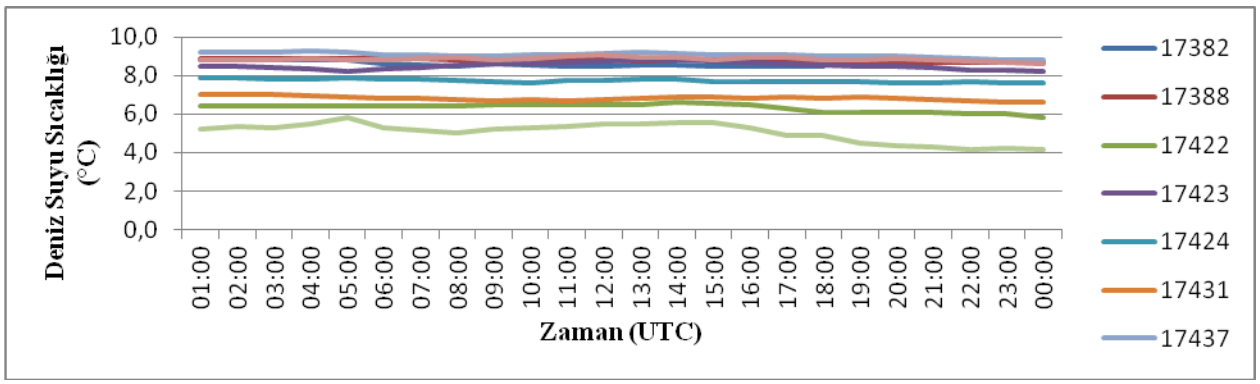
Şekil 9: 19 Şubat 2015 Modis uydu görüntüsü (kaynak: NASA)

3.3. Marmara Denizi ve Karadeniz Deniz Suyu Sıcaklıkları

MGM'den elde edilen Marmara Denizi'nde ve Karadeniz'de bulunan deniz suyu ölçüm istasyonlarının dakikalık verilerinin saatlik ortalamaları alınarak değerlendirme yapılmıştır. Karadeniz'de 17 Şubat 2015 tarihinde üç istasyondan elde edilen deniz suyu sıcaklığı ortalaması 6.8°C'dir (Şekil 10). Marmara Denizi'nde ise ortalama 7.7°C'dir (Şekil 11).

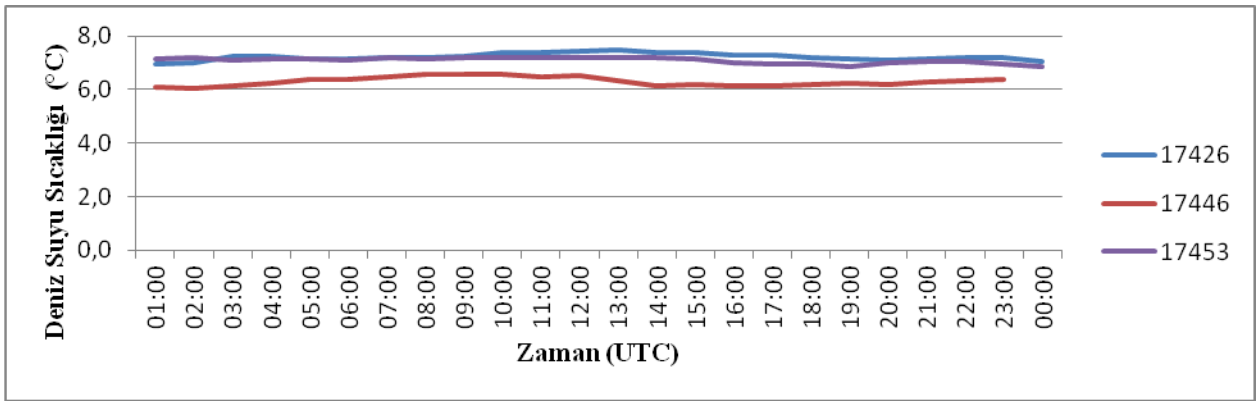


Şekil 10: 17 Şubat 2015 Karadeniz deniz suyu sıcaklıkları.

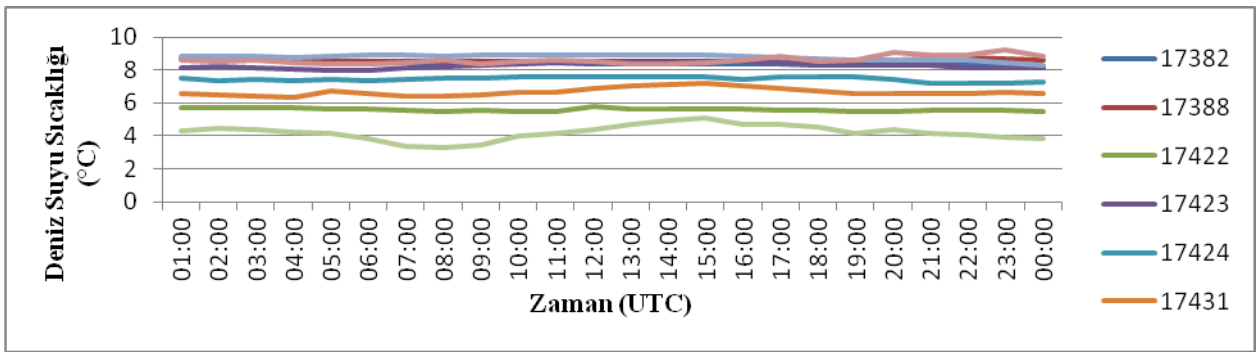


Şekil 11: 17 Şubat 2015 Marmara Denizi deniz suyu sıcaklıkları.

18 Şubat 2015 tarihinde Karadeniz'de bulunan deniz suyu ölçüm istasyonlarından elde edilen deniz suyu sıcaklığı ortalaması 6.9°C'dir (Şekil 12). Marmara Denizi'nde ise ortalama 7.4°C'dir (Şekil 13).



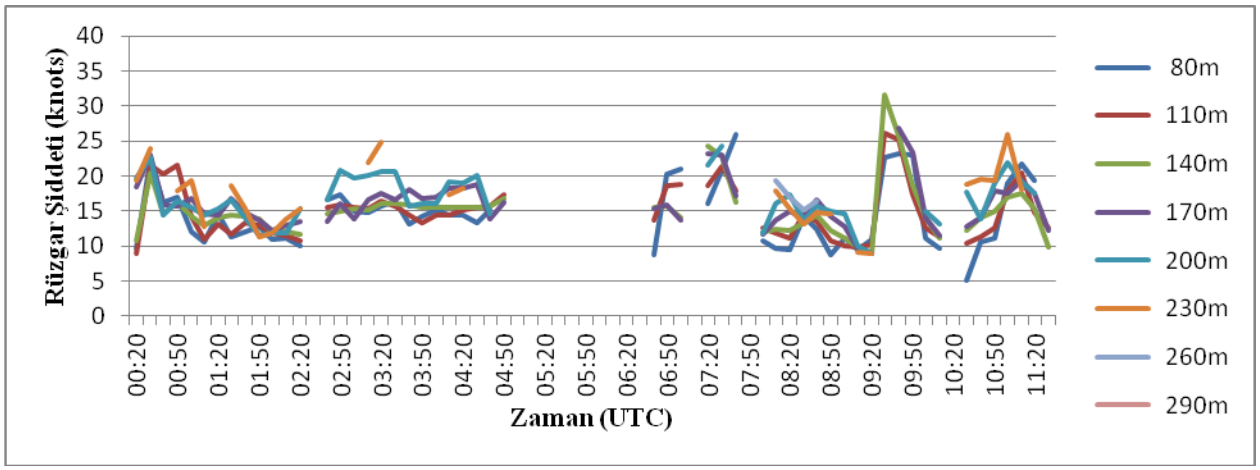
Şekil 12: 18 Şubat 2015 Karadeniz deniz suyu sıcaklıkları.



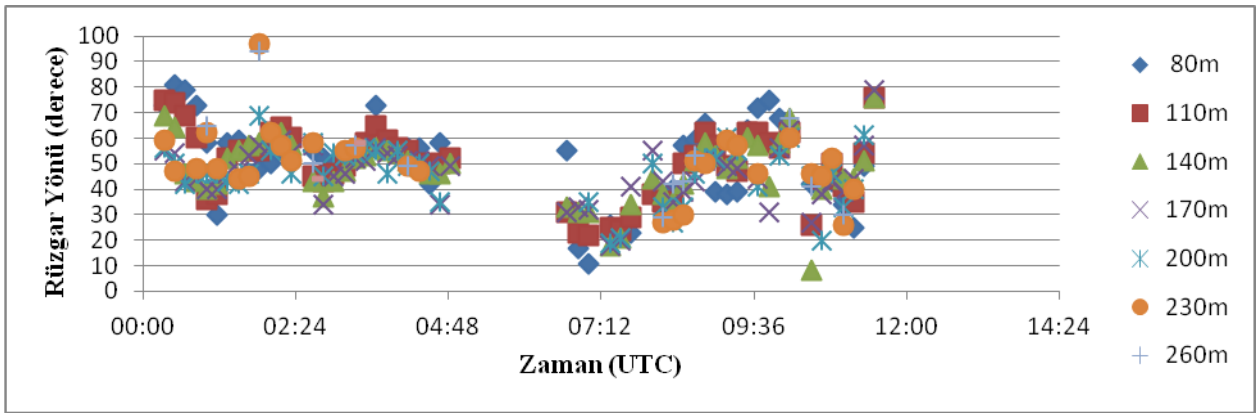
Şekil 13: 18 Şubat 2015 Marmara Denizi deniz suyu sıcaklıkları.

3.4. Sodar Cihaz Ölçümleri

İstanbul Teknik Üniversitesi meteoroloji rasat parkında bulunan Sodar cihazından alınan ölçümler 17 Şubat 2015 tarihi için değerlendirilmiştir. 18 Şubat günü için sodar cihazından veri alınamamıştır. 17 Şubat 0020 UTC ile 1130 UTC arasında sodar cihazından 80 metre ile 290 metre arasındaki mesafeden elde edilen rüzgar hız bilgileri Şekil 14 ve Şekil 15 ‘de gösterilmiştir. 0930 UTC ile 0940 UTC ‘de 40° ile 70° arasında maksimum değer ölçülmüştür.



Şekil 14: 17 Şubat 2015 0020 UTC – 1130 UTC zaman aralığındaki 80 m – 290 m arasındaki sodar rüzgar şiddeti değerleri.

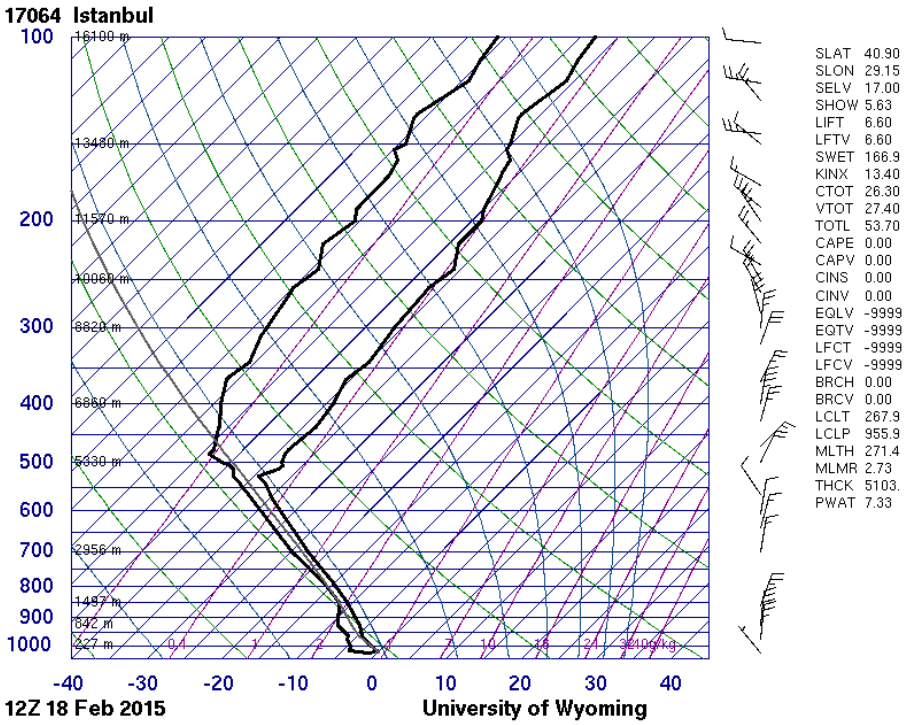


Şekil 15: 17 Şubat 2015 0020 UTC – 1130 UTC zaman aralığındaki 80 m – 290 m arasındaki sodar rüzgar yönü değerleri.

3.5. Kartal (İstanbul Ravinsonde İstasyonu) Skew-T Log-P Diyagramı

Wyoming Üniversitesinden elde edilen Kartal'a ait üst atmosfer verilerine göre 17 Şubat 2015 1200 UTC'de yer seviyesinde sıcaklık 1°C, 850 hPa seviyesinde -10.1°C, 500 hPa seviyesinde -27.7°C'dir. Daha alt seviye olan 592 hPa'da sıcaklık daha düşük olup -30.9°C'dir. 6282 m ile 7422 m arasında maksimum değeri 62 knot olan jet 285°'den esmektedir. 227 m (1000 hPa) ile 3050 m (692 hPa) arasında RH değeri %70 ve üzerindedir (diyagram gösterilmemiştir).

18 Şubat 2015 1200 UTC'de yer seviyesinde sıcaklık -0.9°C, 850 hPa seviyesinde -10.7°C, 500 hPa seviyesinde -38.1°C'dir. Daha alt seviye olan 527 hPa'da sıcaklık daha düşük olup -39.3°C'dir. Yer seviyesi ile 4968 m (527 hPa) arasında RH değeri %70 ve üzerindedir (Şekil 16).



Şekil 16: 18 Şubat 2015 1200 UTC İstanbul Skew-T Log-P diyagramı.

3.6. Metar ve Speci

Mikro ölçek analizinde AHL'nın hazırlamış olduğu Metar ve Speci rasatları kullanılmıştır. AHL'da 16 Şubat 2015 tarihinde 0850 UTC'de başlayan hafif şiddetteki yağmur sağanağı (sıcaklık 7°C) aralıklarla devam etmiş ve 2250 UTC'de hafif şiddetli yağmurla karışık kar sağanağına dönüşmüştür (sıcaklık 4°C). 17 Şubat günü aralıklarla devam eden karla karışık yağmur sağanağı 0600 UTC'de hafif kar sağanağı yağışına dönüşmüştür. Zaman zaman etkisini artıran kar sağanağı 1639 UTC'de hakim rüyetin 400 m olmasına neden olmuştur (Tablo 1). 18 Şubat günü kar sağanağı etkisini artırarak 1250 UTC'de hakim rüyetin 200 metreye minimum rüyetinde 100 metreye düşmesine neden olmuştur. En etkili kar sağanağı yağışı 18 Şubat günü gerçekleşmiştir. Ayrıca; 18 Şubat günü 2120 UTC ile 2220 UTC arasında gök gürültülü kar sağanağı hadisesi de meydana gelmiştir.19 Şubat'ta kısa süreliğine etkili olan kar sağanağı havalimanında 07:20 UTC'de tamamen sona ermiştir.

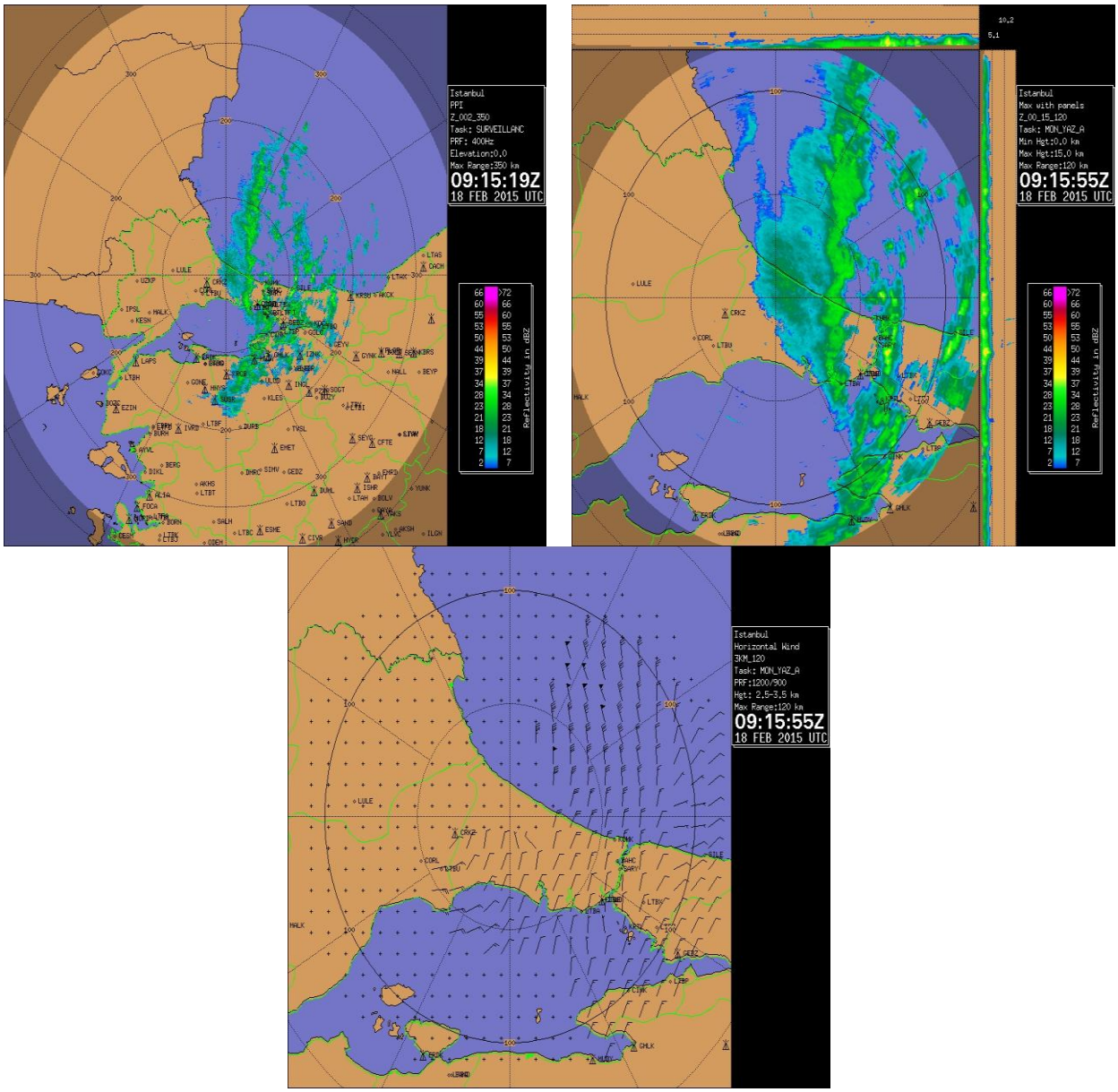
Tablo 1: AHL'nin 17-19 Şubat 2015 günleri arasındaki hakim rüyetin 1000 m'nin altına düştüğü zaman hazırlamış olduğu Metar ve Speci rasatları.

Zaman (UTC)	Rüzgar Yönü (derece)	Rüzgar Şiddeti (knots)	Hadise	Hakim Rüyet (metre)	RVR 35R (metre)	RVR 17L (metre)	RVR 05 (metre)	RVR 23 (metre)	Bulutluluk	Sıcaklık & Çiy Noktası Sıc.	Basınç (hPa)
17-08:30	10	16	(+)SHSN	700	P1500	P1500	P1500	P1500	SCT007 BKN022	01/M01	1029
13:00	340	21	SHSN	600	800	800	800	800	SCT006 BKN016	01/M00	1029
13:20	20	14	SHSN	700	900	1200	450	650	SCT007 BKN016	M00/M01	1029
14:37	360	14	SHSN	750	P1500	P1500	1400	P1500	SCT009 BKN016	00/M01	1029
16:39	**10**	**16**	**SHSN**	**400**	**400**	**400**	**400**	**450**	**SCT007 BKN020**	**M01/M02**	**1030**
20:20	10	17	(+)SHSN	800	P1500	P1500	P1500	P1500	BKN008 BKN020	M01/M03	1031
22:20	10	12	(+)SHSN	900	P1500	P1500	P1500	P1500	BKN008 BKN021	M00/M04	1030
18-01:50	350	18	SHSN	800	P1500	P1500	P1500	P1500	SCT006 BKN021	M02/M03	1029
02:12	10	13	(+)SHSN	300	650	750	450	450	SCT004 BKN022	M02/M03	1029
02:50	340	11	SHSN	700	700	600	800	1000	SCT007 BKN027	M02/M02	1029
03:50	20	14	SHSN	700	P1500	P1500	1300	1200	SCT004 BKN022	M02/M02	1029
04:20	360	14	SHSN	900	1400	1300	1400	1400	SCT006 BKN022	M02/M03	1029
04:50	350	14	SHSN	500	550	1000	P1500	P1500	SCT004 BKN023	M02/M02	1029
05:50	340	22	SHSN	900	P1500	P1500	P1500	P1500	SCT012 BKN022	M01/M02	1029
06:20	360	16	SHSN	900	P1500	P1500	P1500	P1500	SCT007 BKN022	M01/M02	1029
07:30	350	24	SHSN	800	275	325	450	650	BKN007 BKN020	M01/M02	1029
07:50	360	20	(+)SHSN	400	1400	500	900	P1500	BKN005 BKN020	M01/M02	1029
08:20	340	21	(+)SHSN	300	225	550	450	500	SCT005 BKN020	M02/M02	1029
08:50	340	24	(+)SHSN	200	200	200	450	750	BKN005 BKN016	M02/M03	1029
09:20	340	29	(+)SHSN	200	100	100	275	550	BKN005 BKN016	M02/M03	1029
09:50	340	21	(+)SHSN	200	400	225	650	800	BKN005 BKN016	M02/M02	1029
10:20	340	22	(+)SHSN	200	275	250	450	450	BKN005 BKN020	M02/M03	1029
10:50	340	23	(+)SHSN	600	400	450	700	1200	SCT005 BKN016	M01/M02	1028
11:20	350	23	(+)SHSN	800	325	600	900	P1500	BKN005 BKN020	M01/M02	1028
11:34	350	24	(+)SHSN	200	375	500	700	P1500	BKN005 BKN016	M01/M02	1028
11:50	340	24	(+)SHSN	350	225	450	550	900	BKN005 FEW012CB BKN020	M02/M02	1028
12:20	350	21	(+)SHSN	350	275	650	500	P1500	BKN005 FEW012CB BKN020	M01/M02	1028
12:50	**360**	**24**	**(+)SHSN BLSN**	**200/100N**	**175**	**175**	**250**	**275**	**BKN005 SCT012CB BKN020**	**M01/M02**	**1028**
13:20	340	19	(+)SHSN BLSN	900/200N	1200	500	650	900	BKN005 SCT012CB BKN020	M01/M02	1028
14:08	350	21	(+)SHSN BLSN	200	P1500	350	900	P1500	BKN005 SCT012CB BKN020	M01/M02	1028

14:50	340	22	(+)SHSN BLSN	200	500	400	650	750	BKN005 SCT012CB BKN020	M01/M02	1028
15:20	340	19	(+)SHSN BLSN	200	1500	600	1100	P1500	BKN005 SCT012CB BKN020	M01/M02	1029
15:50	360	15	(+)SHSN BLSN	200	750	400	550	650	BKN005 SCT012CB BKN020	M01/M02	1029
16:20	360	17	(+)SHSN BLSN	200	450	200	650	450	BKN005 SCT012CB BKN020	M01/M02	1028
17:35	350	19	(+)SHSN BLSN	600	1300	700	1200	1200	BKN006 BKN016	M01/M02	1029
17:50	360	20	(+)SHSN BLSN	600	250	200	600	300	BKN006 BKN016	M01/M01	1029
18:20	350	18	(+)SHSN BLSN	800	500	400	P1500	P1500	BKN006 BKN016	M01/M01	1029
18:50	350	20G30	(+)SHSN BLSN	600	500	275	600	600	BKN006 BKN016	M01/M01	1029
19:50	360	13	(+)SHSN BLSN	800	350	375	1200	1400	BKN006 BKN016	M01/M01	1029
20:20	340	26G36	(+)SHSN BLSN	300	1400	375	1400	P1500	BKN005 FEW015CB BKN020	M00/M01	1028
19-00:50	340	22	(+)SHSN	400	800	800	500	600	BKN004 BKN015	M00/M01	1026
01:20	340	22	(+)SHSN	400	1200	1200	1500	1400	BKN004 BKN015	M01/M01	1025

3.7. Radar Görüntüleri

Hakim rüyet ve pist görüş mesafesi değerlerinin uzun süre (0850 UTC – 1020 UTC) en düşük olduğu zamanlar için mezo ölçekte analiz yapılmıştır. Mezo ölçek analizinde İstanbul radarına ait ürünler kullanılmıştır. Hakim rüyetin AHL'da 200 m olduğu 0915 UTC için ppi ve max radar ürünlerinde Karadeniz'den gelen bulut bantlarının etkilediği alanlar görülmektedir (Şekil 17). 2.5 km ile 3.5 km arasındaki yatay rüzgar radar ürününde rüzgar akışlarının kuzeyli olduğu görülmektedir. AHL'da rüzgar 10 knot'tır.



Şekil 17: 18 Şubat 2015 0915 UTC ppi, max ve yatay rüzgar radar ürünleri

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma 17–19 Şubat 2015 tarihlerinde İstanbul'da etkili olan deniz etkili kar sağanağı yağışının gelişim aşamalarını mezo ve mikro ölçekte analizini yapmayı amaçlamıştır. İstanbul'da ölçülen 24 saatlik toplam kar kalınlıkları AHL'de 40 cm, Sarıyer Meteoroloji İstasyonu'nda 39 cm, Kartal 1. Bölge Müdürlüğü'nde 27 cm, Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı'nda 18 cm ve Kumköy Meteoroloji İstasyonu'nda 3 cm olarak ölçülmüştür. Bulut bantlarının izlediği yola bağlı olarak kar kalınlıkları değişmektedir. Bulut bantlarının arasında kalan alanlarda yağış az olmuştur. Sonuçlar tablo olarak verilmiştir (Tablo 2a, Tablo 2b).

Tablo 2a: Sonuçlar

Zaman (UTC)	Yer Bilgileri (KT/°C/hPa)	850 hPa (KT/°C/m)	700 hPa (KT/°C/m)	500hPa (KT/°C/m)	500 hPa'dan Soğuk Alt Tabaka (hPa/m/°C)	İlk Enverziyon (hPa/m)
17-0000	01008 /2.6/ 1024	01012/ -7.5/1498	31017/ -17.1/2982	31025/ -28.3/5460	-	700/2982
17-1200	33005/1.0/1026	35018/ -10.1/1504	36018/ -21.7/2965	29047/ -27.7/5390	592/4180/ -30.9	1018/81
18-0000	33004/-1.9/1028	03019/ -12.3/1498	36022/ -23.5/2949	36033/ -34.5/5330	558/4564/ -35.5	1021/71
18-1200	32005/-0.9/1027	02026/ -10.7/1497	01017/ -22.7/2956	03021/ -38.1/5330	527/4968/ -39.3	1018/86

Tablo 2b: Sonuçlar

Zaman (UTC)	İkinci Enverziyon hPa/m	Üçüncü Enverziyon hPa/m	Karadeniz Marmara Deniz Suyu Sıc. (°C)	Sodar 80m/170m (KT)	AHL (KT/°C/hPa)	Radar Yatay Rüzgar AHL (h:2 km) (KT)
17-0000	251/10095	-	6.8/7.7	07010/06018	03012/03/1027	33010
17-1200	998/243	577/4362	6.8/7.7	05019/06017	02008/00/1029	02020
18-0000	554/4614	447/5659	6.9/7.4	-	33011/-02/1030	36020
18-1200	507/5234	470/5754	6.9/7.4	-	34024/-02/1028	36025

*Sodar, AHL ve Radar Yatay Rüzgar değerleri için tam saate en yakın olan değerler kullanılmıştır.

500 hPa standart basınç seviyesinin sıcaklık değerinden daha soğuk olan sıcaklıkların bu seviyenin altında bulunması tahminlerde göz önünde bulundurulmalıdır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, verilerin elde edilmesindeki desteklerinden dolayı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederler. Ayrıca bu çalışma TÜBİTAK 112Y319 numaralı proje tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] **Peace Jr, R. L., & Sykes Jr, R. B. (1966).** Mesoscale study of a lake effect snow storm. *Monthly Weather Review*, *94*(8), 495-507.

[2] **Braham Jr, R. R. (1983).** The midwest snow storm of 8-11 December 1977. *Monthly Weather Review*, *111*(2), 253-272.

[3] **Niziol, T. A., Snyder, W. R., & Waldstreicher, J. S. (1995).** Winter weather forecasting throughout the eastern United States. Part IV: Lake effect snow. *Weather and Forecasting*, *10*(1), 61-77.

[4] **Weisman, R. A. (1996).** The Fargo snowstorm of 6-8 January 1989. *Weather and forecasting*, *11*(2), 198-215.

[5] **Skerritt, D. A., Przybylinski, R. W., & Wolf, R. A. (2002).** A Study of the 6 December 1995 Midwest Snow Event: Synoptic and Mesoscale Aspects. *National Weather Digest*, *26*(3/4), 52-62.

[6] **Schultz, D. M., Arndt, D. S., Stensrud, D. J., & Hanna, J. W. (2004).** Snowbands during the cold-air outbreak of 23 January 2003. *Monthly weather review*, *132*(3), 827-842.

[7] **Laird, N. F., Desrochers, J., & Payer, M. (2009).** Climatology of lake-effect precipitation events over Lake Champlain. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, *48*(2), 232-250.

Bulut Tepe Yüksekliğinin Belirlenmesinde Radar Verileri ile Yüksek Atmosfer Sondaj Verilerinin Karşılaştırılması

Erhan ARSLAN, Mehmet Uğur YILDIRIM, Hüseyin Yüksel ÖZALP, Barış ÖZGÜN
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Ankara
erhana1985@gmail.com, muyildirim72@gmail.com, yozalp@mgm.gov.tr,
barisozgun@hotmail.com

ÖZET

Kuvvetli hava olaylarının tahmini ve takibi, dünyada olduğu gibi Türkiye'de de son yıllarda artan görülme sıklığına paralel olarak önem arz etmektedir. Bu olayların tahmininde önemli parametrelerinden biri atmosferin dikey analizinin yapıldığı Skew-T LogP diyagramlarıdır. Oluşan bulut kütlesinin tespit ve takibinde de meteorolojik radarlar en önemli parametrelerden biridir. Skew-T logP diyagramlarının doğru şekilde analizi riskli alanların belirlenmesinde önem arz etmekte, parsel hava ve çevre hava hakkında detaylı bilgiler sunabilmektedir. Oluşabilecek bulutun tavan seviyesinin belirlenmesi de Skew-T logP diyagramları yardımı ile bulunabilmektedir. Radarlar yardımı ile oluşan bulut kütlesinin iç yapısı hakkında bilgi edinilebilmekte ve aynı zamanda tavan seviyesi de tespit edilebilmektedir. Dolu tahmini ve dolu oluşturma potansiyelleri hakkında da değerlendirmeler yapılmıştır. Ankara ve İstanbul için değişik zamanlarda oluşan bulut kütlelerinin radarlar yardımı ile tespit edilen tavan seviyeleri, Skew-T logP diyagramından tahmin edilen tavan seviyesi ile mukayese edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;Ankara ve İstanbul illeri için Skew-T logP diyagramı ile tahmin edilen bulut tavan seviyeleri ile radar max ürünlerinden elde edilen gerçek bulut kütlelerinin tavan seviyelerinin birbirine uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulut tepe yüksekliği, Skew T-LogP, radar, uzaktan algılama

1. GİRİŞ

Atmosferin dikey faaliyetinin gözlemi kuvvetli hava olaylarının takibinde büyük önem arz etmektedir. Özellikle Skew T-LogP diyagramlarının analizi ve anlık hava olaylarının takibinde kullanılan radar görüntüleri ve ürünleri dikey faaliyetin gözlemlenmesinde başlıca başvurulan yöntemlerden biridir. Bu çalışmada, kuvvetli hava olayları esnasında oluşabilecek olan bulut tavan seviyesinin Skew T-Log-P diyagramı yardımıyla belirlenmesi ve bu seviyenin Radar Max

görüntüsü ile karşılaştırılıp daha doğru parametreler elde edebilmek için bilgiler sunulmuştur. Bulut tavan seviyesinin daha iyi yorumlanabilmesi için benzer olayların örnekleri verilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Bulut Tepe Yüksekliğinin belirlenmesinde birçok metod geliştirilmiştir. Bunlar, CO2 absorbsiyon metodu, su buharı absorpsiyon metodu, Infrared (IR) metodu olarak sıralanabilir. Randrimamplania ve ark. [1] yaptığı çalışmada IR metodu kullanılmışlar, Macaristan'da bulunan MLR-5 radarının düşey görüntüsü yardımıyla hesaplanan eko değeri ile Meteosat görüntülerinden türetilen Bulut Tepe Yüksekliği (BTY) değerleri karşılaştırılmıştır. Buna göre, Bulut Tepe Yüksekliği, kızılötesi parlaklık değeri ve ECMWF sıcaklık profili öngörüleri kullanılarak operasyonel olarak hesaplanmıştır. Bulutun belirlenmesinde görünür eşik değeri yöntemi uygulanmıştır.

BTY belirlenmesi kızılötesi bulut parlaklığı sıcaklığına dayanır ve ECMWF gözlemleri bütünleyici rol oynamaktadır. 3 km^2'lik bir alandaki bulutlar max ve ortalama pixel değerleri karşılaştırıldığında uydudan türetilen değerlerin bu değerlere göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu durumun nedeni, aktüel değerler yerine tahmini değerlerin kullanılması sonucu oluşan sistematik hataların mevcut olmasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak, MLR-5 radarından eko değerleri ve Meteosat görüntülerinden elde edilen BTY arasında iyi bir ilişki saptanmıştır. Bu durum gökyüzünde tek seviye bulut tipinin gözlenmesinde iyi sonuçlar verebilir ve mantıksal sonuçlar doğurabilirken, farklı seviye bulutlarının olması halinde doğru sonuçlar elde edilemeyeceği saptanmıştır [1].

ARM 35 GHz radarı ile elde edilen görüntüler ile GMS-5 uydusundan elde edilen görüntülerin karşılaştırıldığı çalışmada, tek seviye bulutlarının gözlemlendiği durumlarda BTY ikisi arasında 0,3 km iken, çok seviyeli bulut gözlemlerinde ise bu durumun 0,7 km ye kadar çıktığı saptanmıştır. Yapılan çalışmada bulutlar kalınlıklarına göre sınıflara ayrılmıştır. Yoğun konvektif bulutlaın radar ve uydu geri kazanımlarının BTY'si karşılaştırılmıştır. Bu bulutların diğer sınıflarda yer alan bulutlara oranla daha az farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. 35 GHz radarlar optik olarak kalın bulutlar ve yoğun yağış periyotları içerisinden geçerken ışın atenüasyonuna maruz kalmasına rağmen, genelde BTY radar ve uydu geri kazanımlarında çoğu durumda tutarlıdır. Bu bulut türleri en yaygın şekilde BTY uydu geri kazanımlarının tutarlı sonuçları ile ilişkilidir. Ancak, radar geri kazanımlarının düşük olması ışın atenüasyonundan kaynaklanır. Kalın örs bulutları gibi konvektif bulutlar için kıyaslamalarda ayrı bir parantez açılmıştır. Kalın bulutlar sınıfındaki örs bulutları, yağışlı veya zayıf yağışlı konvektif bulutları içeren BTY'nin radar geri

kazanımları ile uydu geri kazanımları arasında iyi bir ilişki vardır. Ancak, yoğun yağış içeren konvektif bulutlar için BTY radar geri kazanımları ışın atenüasyonundan dolayı önemli ölçüde düşer. Radar ile uydu geri kazanımları karşılaştırıldığında, bütün bulutlar sınıfındaki kıyaslamalarda BTY ortalama farklılıkları uydu geri kazanımlarındaki belirsizliklerle sınırlıdır [2]. Bulut tepesinin siyah cisim gibi ışımasından dolayı emisyon sıcaklığı ile bulut tepesindeki atmosfer sıcaklığının aynı olması gereklidir. Bu durum kalın bulutlarda geçerliliğini korurken, ince tip bulutlarda farklı sonuçların olduğunu göstermiştir [3].

Bulut içerisindeki sıcaklık dağılımı, BTY ve bulutun geometrik kalınlığını büyük oranda etkilemektedir [4]. Bulut Tepe Yüksekliğini belirlenmesinde bulut içerisindeki bütün noktalarda yer alan sıvı içeriğinin homojen olarak dağılıp dağılmadığı da önemli rol oynamaktadır. Bulut Tepe Yüksekliğini Oksijen A-bandıyla hesaplanması için seçilen algoritmada, eğer sıvı içeriği yükseklikle değişmiyorsa BTY 20 m, sıvı içeriği yükseklikle değişiyorsa 600 m'ye kadar hatalar tespit edilmiştir [5].

Bu çalışmada; Ankara ve İstanbul illerinde Skew-T logP diyagramlarından tahmin edilen bulut tepesinin ulaşabileceği seviye ile radar max görüntülerinden elde edilen gerçek bulut tepe yüksekliklerinin uyumlu olup olmadığı araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Tahminler Dairesi Başkanlığı, Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğünde kullanılan radarlardan Ankara ve İstanbul Max görüntüleri ile aynı güne ait Skew-T logP 00:00 Z ve 12:00 Z diyagramları kullanılmıştır.

2.1. Temp Diyagramı

Sinoptik ölçekli bir radiosonde istasyonunun temsil ettiği alan üzerindeki atmosfer parçasının yüksekliği boyunca basınç, sıcaklık, nem ve rüzgâr bilgilerini gösteren, adyabatik işlemlerin yapılabildiği ve belirli bir koordinat sistemi olan bir diyagramdır. Atmosferi dikey olarak incelememizi sağlar. Yer seviyesinden 25 hPa seviyesine kadar olan düşey mesafedeki pek çok meteorolojik değişkeni analiz etmemize yardımcı olur.

Bu çalışmada BTY belirlemek için kullanılan Skew T-LopP diyagramının bazı enstrümanları kullanılmıştır. Daha çok LCL ve EL seviyeleri ile işlem yapılacağından bunlarla ilgili bilgilere ve benzeri çalışmalara yer verilmiştir.

2.1.1. Yoğunlaşma Seviyesi- LCL Yüksekliği: Herhangi bir hava parselinin kuru adyabatik olarak yükseltildiği zaman doymuş hale geldiği seviyeye Lifting Condensation Level denir. LCL seviyesinin yere çok yakın olması ve 0-1 km dikey rüzgar shearinin fazla olması da oluşacak oraj

hücrelerinin tornado (hortum) oluşturma potansiyelini artırmaktadır. Td den karışma oranlarına paralel, T den kuru adyabatlara paralel çizgi çizilir. İki çizginin kesişme noktasının bulunduğu basınç seviyesi LCL seviyesidir. LCL seviyesi sınır tabaka bulut yüksekliklerini tahmin etmek için kullanılmıştır [6].

Daha önce yer gözlemleri ve LCL seviyesi için tahmin edilen Bulut Tepe Yükseklikleri farklılıklar tespit edilmiştir. Lidar ile ölçülen yüksekliğin, yer gölzemleri ile LCL seviyesinden yaklaşık 500 metre daha alçakta olduğu saptanmıştır [7].

2.1.2 Denge Seviyesi (Equilibrium Level) - EL: Yükselen hava parselinin sıcaklığının çevre sıcaklığı ile eşit olduğu seviyenin yüksekliğidir. Bu seviyeden sonra parsel yükselmeyi keser. Ancak çok kuvvetli konvektif sistemlerde hızla yükselen hava bir miktar bu seviyeyi geçebilir.

2.2. Radar Ürünleri

2.2.1.*(Z) Reflektivite [dBZ]*

Radar reflektivite faktörü olarak adlandırılır. ($dBZ=10 \log_{10}Z$). Radar tarama yaptığı sırada, aldığı her bir örnek hacim içerisinde bulunan hidrometeorlardan (yağmur damlacıkları, bulut partikülleri) geri yansıtılan toplam enerjinin ölçüsüdür.

2.2.2. MAX (Maximum Display)

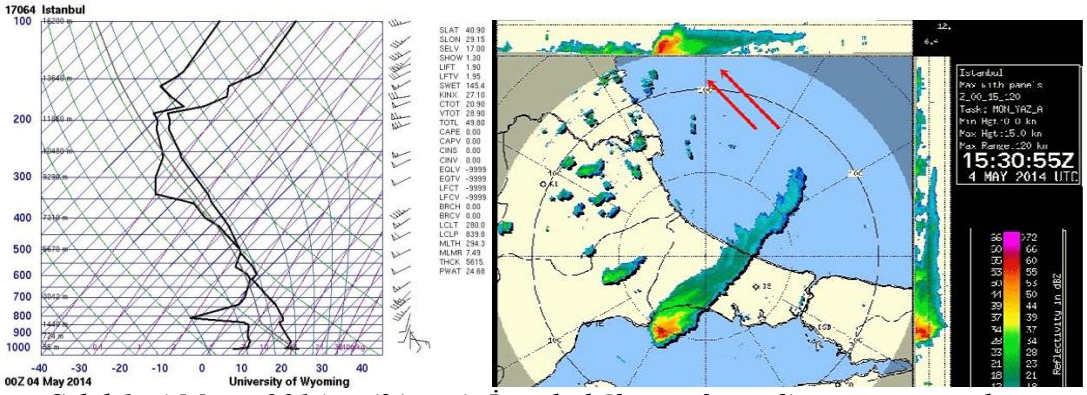
Tek bir görüntü üzerinde eko yüksekliği ve yoğunluğunu görebilme imkânı sağlayan üründür. Her bir pikselin dikey kesitindeki maksimum ekolar elde edilir. Özellikle şiddetli hava sahalarının görülmesinde faydalıdır.

3. BULGULAR ve SONUÇLAR

Bu çalışmada, bulut tepe yüksekliğinin belirlenmesinde yüksek atmosfer sondaj verileri kullanılarak radar görüntüleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Ankara ve İstanbul'da daha önce meydana gelen kuvvetli meteorolojik hadiselere ait Skew T-logP diyagramları ile aynı güne ait Radar Max görüntüleri karşılaştırılmıştır.

3.1 4Mayıs 2014 İstanbul

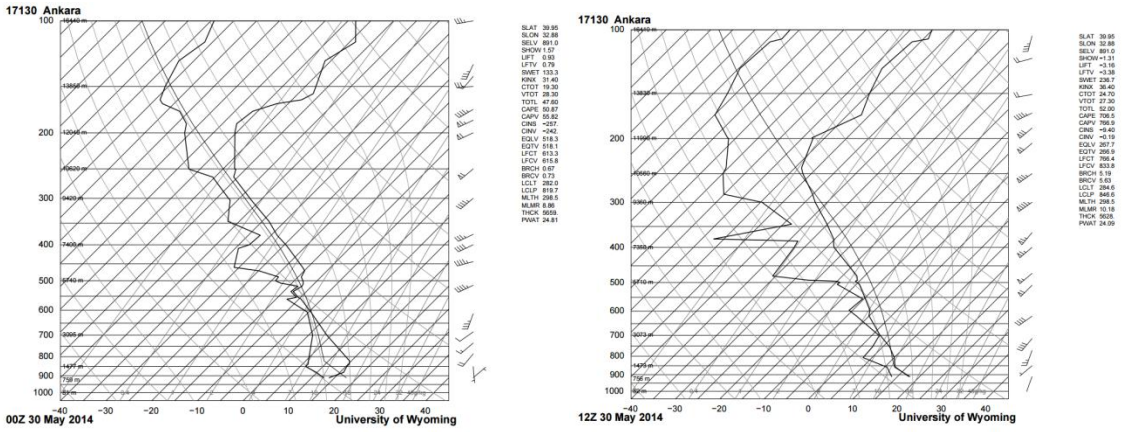
Şekil 1 deki 00 Z Skew-T logP diyagramı incelendiğinde bulut tepe yüksekliğinin 12.000 metreye kadar çıkma potansiyeli olduğu görülmekte ve radar max görüntülerinde de bulut tepesinin aynı seviyeye kadar çıktığı görülmektedir.



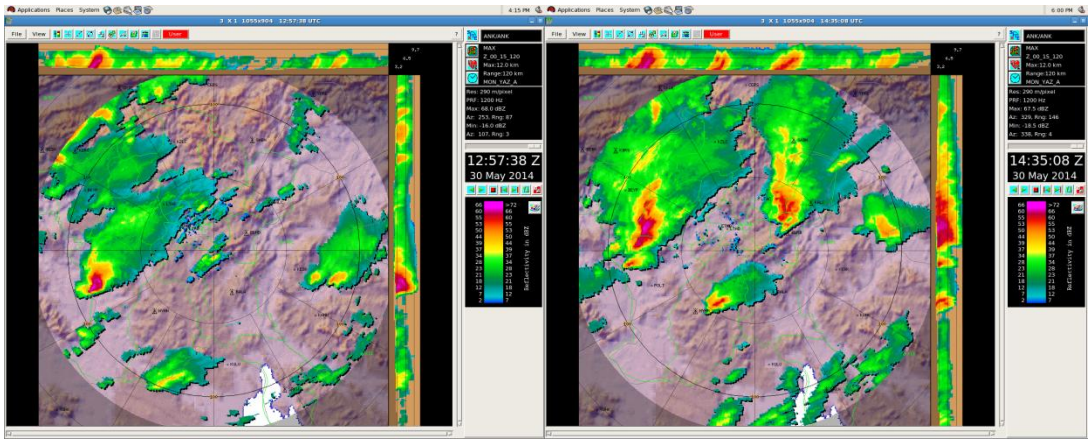
Şekil 1: 4 Mayıs 2014 tarihine ait İstanbul Skew-T logP diyagramı ve radar max görüntüsü

3.2. 30 Mayıs 2014 Ankara

Şekil 2 deki temp diagramları incelendiğinde bulut tepe yüksekliğinin 10.500 ye kadar yükselebileceği tahmini yapılabilmektedir. Şekil 3 de aynı günün radar max görüntülerinde bulut tepe sıcaklığının aynı seviyeye kadar yükseldiği görülmektedir. Burada Skew-T logP diagramı ile Ankara radarı max görüntülerinin uyumlu olduğunu söyleyebiliriz. Aynı zamanda üst seviye eko korları radar görüntüsünden tespit edilebilmekte ve dolu oluşturma potansiyeli de rahatlıkla görülebilmektedir.



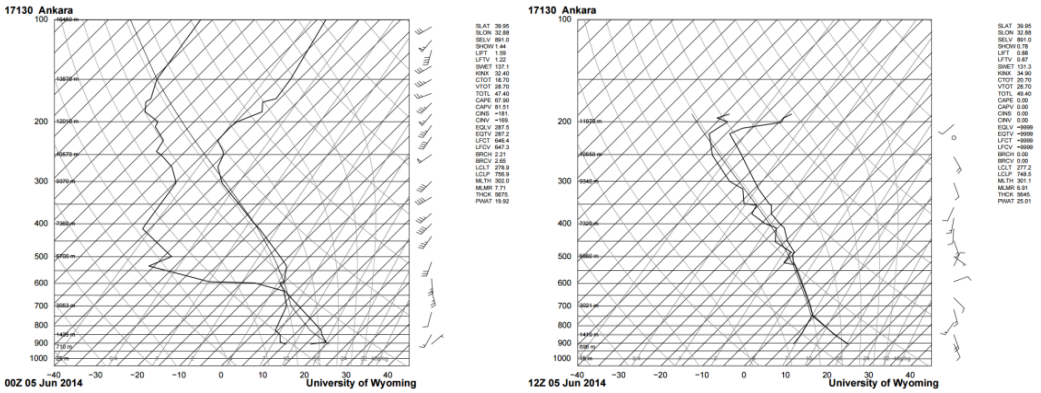
Şekil 2: *30 Mayıs 2014 tarihine ait Ankara* Skew-T logP diyagramları



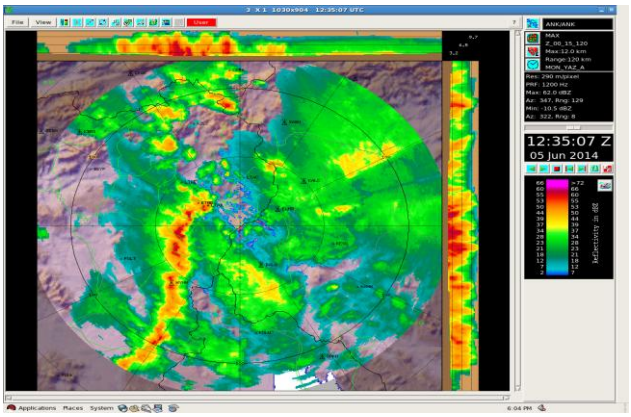
Şekil 3: *30 Mayıs 2014 tarihine ait Ankara radarı max görüntüsü*

3.3. 5 Haziran 2014 Ankara

Şekil 4 deki temp diagramları incelendiğinde bulut tepe yüksekliğinin 11.250 - 11.500 m ye kadar yükselebileceği tahmini yapılabilmektedir. Şekil 5 de aynı günün radar max görüntülerinde bulut tepe sıcaklığının aynı seviyeye kadar yükseldiği görülmektedir. Burada Skew-T logP diagramı ile Ankara radarı max görüntülerinin uyumlu olduğunu söyleyebiliriz. Aynı zamanda üst seviye eko korlarının -10 C ve üzerinde daha soğuk bölgede bulunmasından dolayı dolu oluşum potansiyel hakkında bize bilgi de vermektedir.



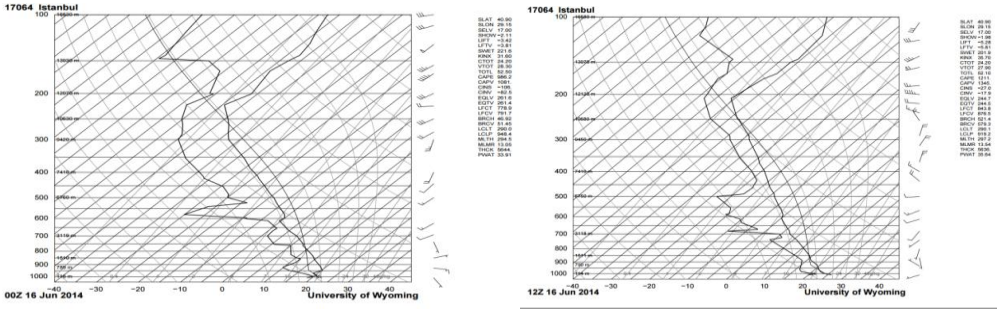
Şekil 4: 5 Haziran 2014 tarihine ait Ankara Skew-T logP diyagramları



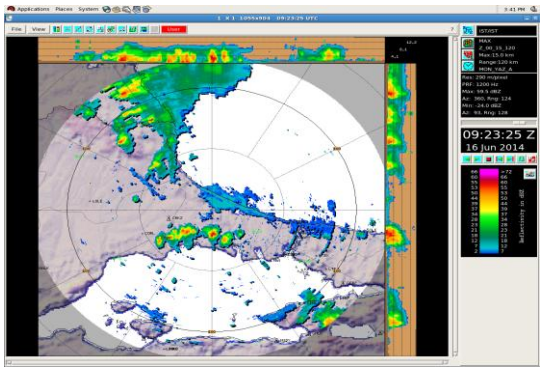
Şekil 5: *5 Haziran 2014 tarihine ait Ankara radarı max görüntüsü*

3.4. 16 Haziran 2014 İstanbul

Şekil 6 deki temp diagramları incelendiğinde bulut tepe yüksekliğinin 11.500- 12.000 m ye kadar yükselebileceği tahmini yapılabilmektedir. Ancak diagramlarda EL seviyesinin 10.600-10.700 m seviyesinde olduğu görülmektedir. Şekil 7 de radar max görüntülerinin uyumlu olduğu, aynı seviyelerde tepe yaptığı, kuvvetli korların ise 12.000 metreye kadar yükseldiği tespit edilmiştir.



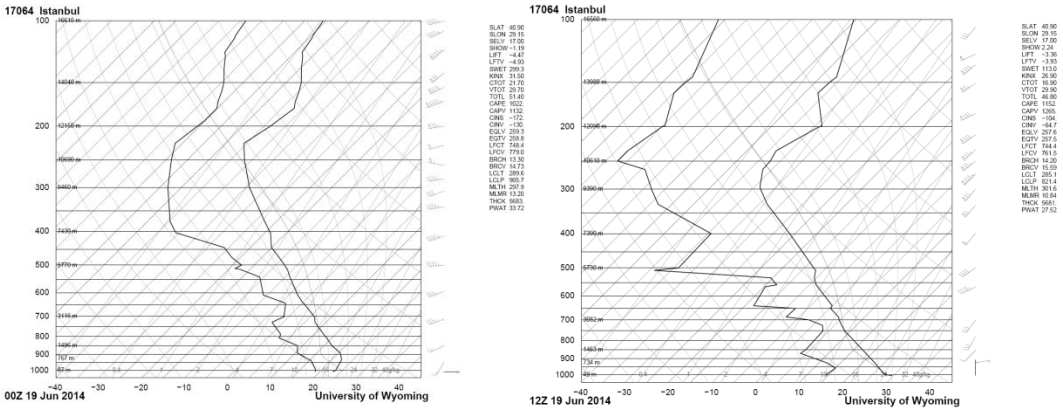
Şekil 6: *16 Haziran 2014 tarihine ait İstanbul* Skew-T logP diyagramları



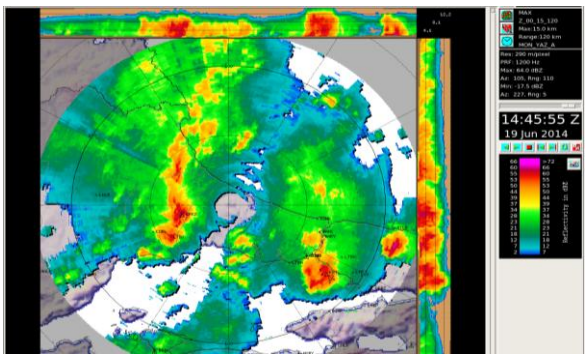
Şekil 7: *16 Haziran 2014 tarihine ait İstanbul radarı max görüntüsü*

3.5. 19 Haziran 2014 İstanbul

Şekil 8 deki temp diagramları incelendiğinde bulut tepe yüksekliğinin 10.500 - 11.400 m ye kadar yükselebileceği tahmini yapılabilmektedir. Şekil 9 da aynı günün radar max görüntülerinde bulut tepe sıcaklığının aynı seviyeye kadar yükseldiği, hatta kuvvetli yapıya sahip hücrenin bulut tepe yüksekliğinin bu seviyeyi aştığı görülmektedir. Kuvvetli yapılarda bulut tepesi EL (equilibrium level) da aşarak örsün üzerine kolaylıkla çıkabilmekte ve bu tür yapılar da overshooting top olarak adlandırılmaktadır [8].



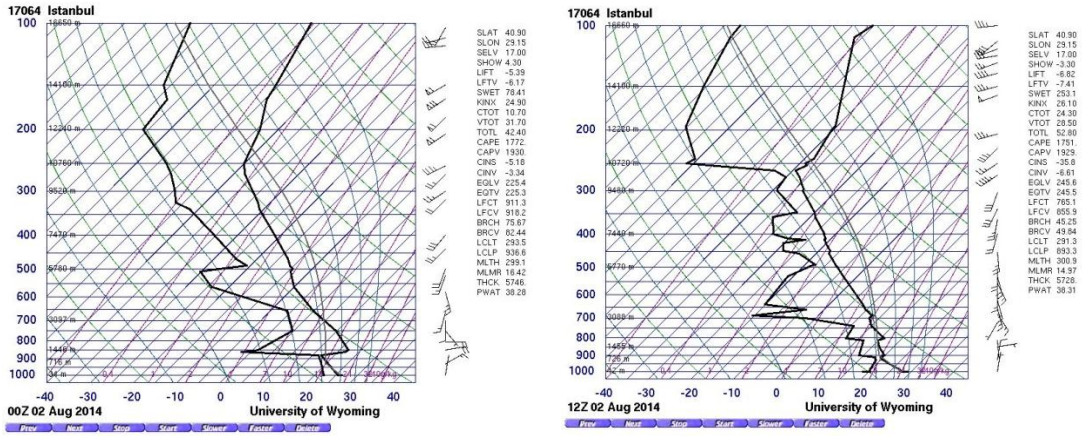
Şekil 8: *19 Haziran 2014 tarihine ait İstanbul* Skew-T logP diyagramları



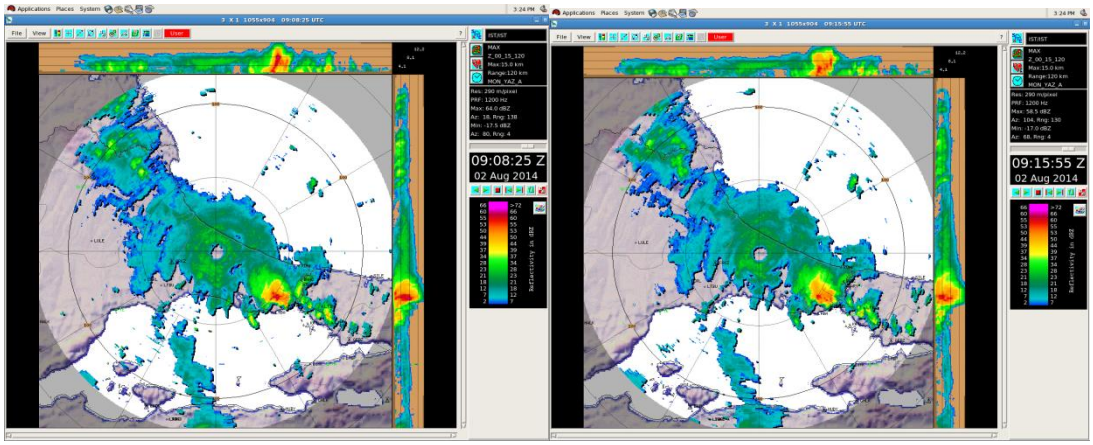
Şekil 9: 19 Haziran 2014 tarihine ait İstanbul radarı max görüntüsü

3.6. 2 Ağustos 2014 yılında İstanbul

Şekil 10 deki temp diagramları incelendiğinde bulut tepe yüksekliğinin 10.750 - 11.500 m ye kadar yükselebileceği tahmini yapılabilmektedir. Şekil 11 de aynı günün radar max görüntülerinde bulut tepe sıcaklığının aynı seviyeye kadar yükseldiği, hatta kuvvetli yapıya sahip hücrenin bulut tepe yüksekliğinin bu seviyeyi aştığı ve overshooting top olarak adlandırılan yapının oluştuğu görülmektedir.



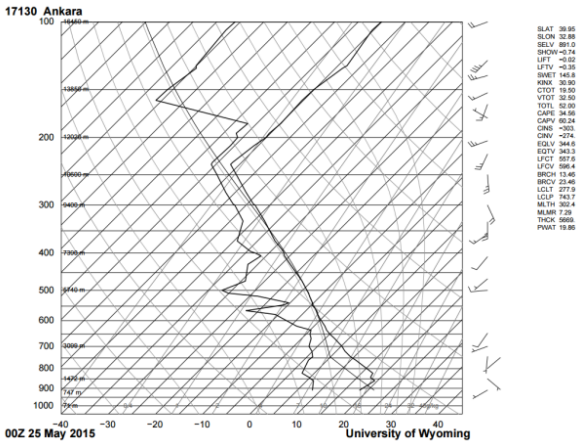
Şekil 10: 2 Ağustos 2014 tarihine ait İstanbul Skew-T logP diyagramları



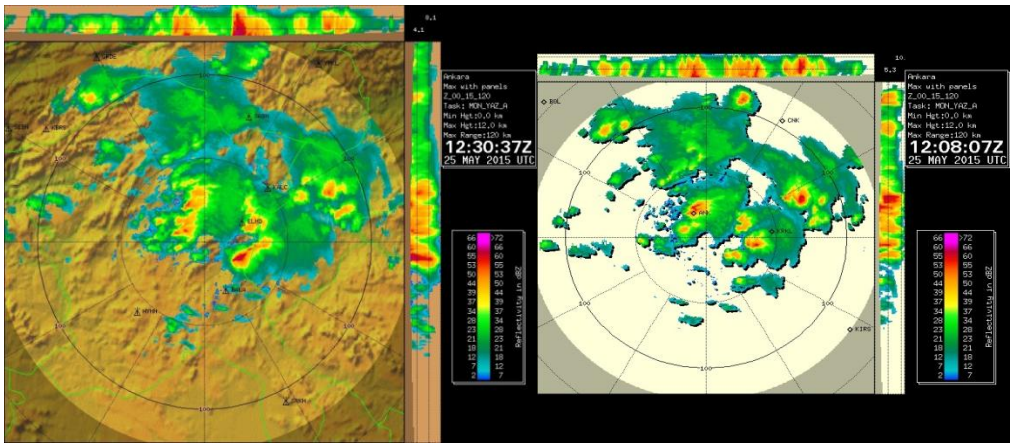
Şekil 11: *2 Ağustos 2014 tarihinde İstanbul radar max görüntüsü.*

3.7 25 Mayıs 2015 Ankara

Şekil 12 deki temp diagramları incelendiğinde bulut tepe yüksekliğinin 11.000 m ye kadar yükselebileceği tahmini yapılabilmektedir. Şekil 13 de aynı günün radar max görüntülerinde bulut tepesinin aynı seviyeye kadar yükseldiği, hatta kuvvetli eko korlarının bu seviyenin de üzerine çıktığının analizi yapılabilmektedir. Burada Skew-T logP diagramı ile Ankara radarı max görüntülerinin uyumlu olduğunu söyleyebiliriz.



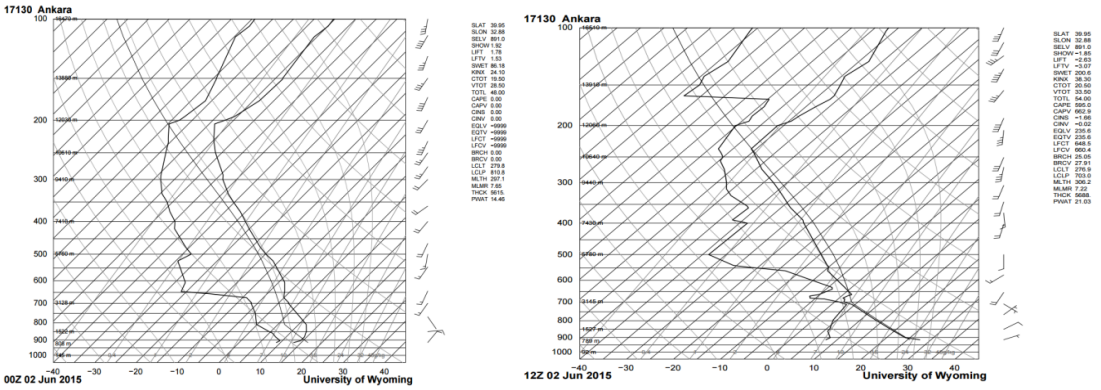
Şekil 12: 25 Mayıs 2015 tarihine ait Ankara Skew-T logP diyagramı



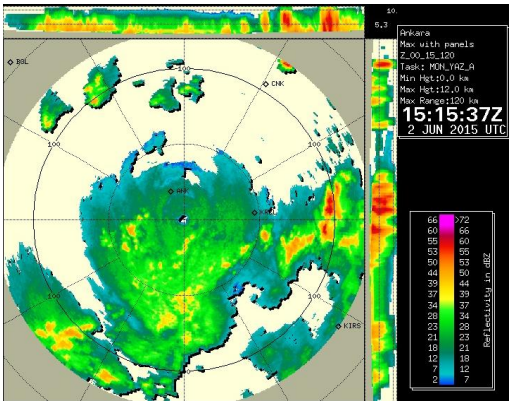
Şekil 13: *25 Mayıs 2015 tarihine ait Ankara radarı max görüntüsü*

3.8. 2 Haziran 2015 Ankara

Şekil 14 deki 00 Z Skew-T logP diyagramı incelendiğinde bulut tepe yüksekliğinin 12.000 metreye kadar çıkma potansiyeli olduğu görülmekte, ancak 12:00 Z Skew-T logP diyagramında ise 10.600-11.00 m ye kadar yükselebileceği tahmini yapılabilmektedir. Şekil 15 aynı günün radar max görüntüsünde ise bulut tepesinin öğle saatlerinden sonra 11.000 metreye kadar yükseldiği tespit edilmektedir. Burada Skew-T logP diagramı ile Ankara radarı max görüntülerinin uyumlu olduğunu söyleyebiliriz.



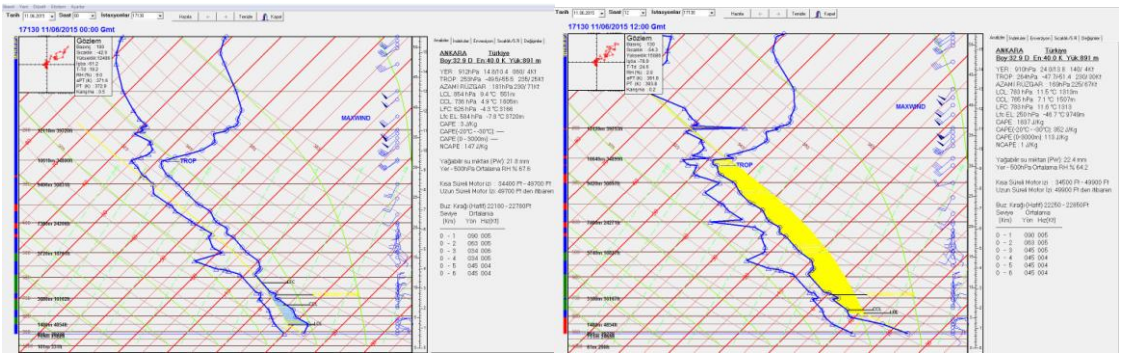
Şekil 14: 2 Haziran 2015 tarihine ait Ankara Skew-T logP diyagramları



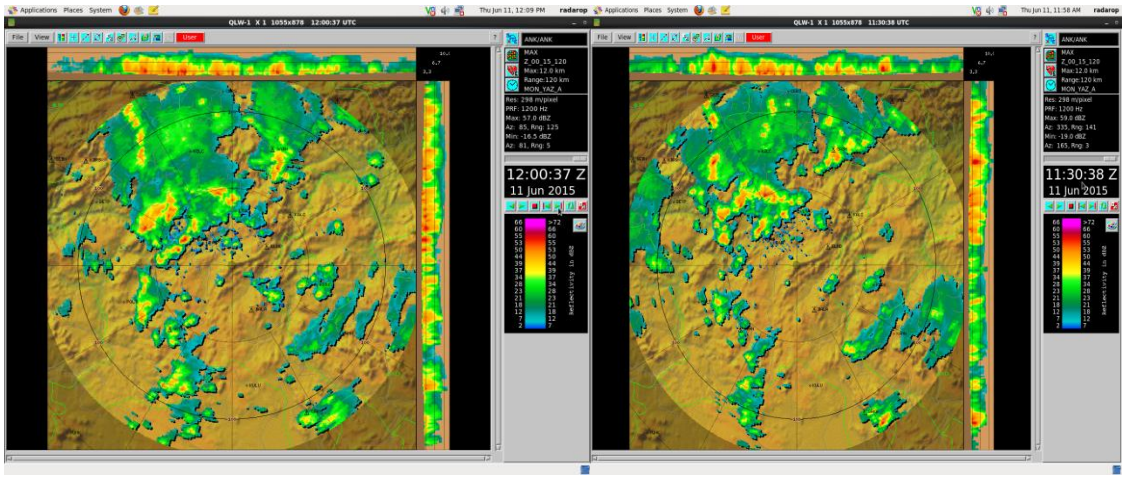
Şekil 15: 2 Haziran 2015 tarihine ait Ankara radarı max görüntüsü

3.9. 11 Haziran 2015 Ankara

Şekil 16 deki temp diagramları incelendiğinde bulut tepe yüksekliğinin 10.600 - 10.700 m ye kadar yükselebileceği tahmini yapılabilmektedir. Şekil 17 de aynı günün radar max görüntülerinde bulut tepesinin aynı seviyeye kadar yükseldiği görülmektedir. Burada Skew-T logP diagramı ile Ankara radarı max görüntülerinin uyumlu olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 16: 11 Haziran 2015 tarihine ait Ankara Skew-T logP diyagramları



Şekil 17: *11 Haziran 2015 tarihine ait Ankara radarı max görüntüsü*

Elde edilen sonuçlara göre; Ankara ve İstanbul illeri için Skew-T logP diagramı ile tahmin edilebilen bulut tepe yüksekliği ile gerçek zamanlı radar max görüntülerinden elde edilen değerlerin birbiri ile uyumlu olduğu yapılan bu çalışmada tespit edilmiştir. Bu çalışmanın; bundan sonraki bu konu ile ilgili yapılacak çalışmalara ışık tutacağı ve hız kazandıracağı kanaatindeyiz.

KAYNAKLAR

[1] **Randriamampianna R., Nagy J., Balogh T., ve Kerenyi J.,** *Determination of Cloud Top Height Using Meteorological Sattelite and Radar Data,* Physics Chemistry (B) Vol:25, No:10-12 (1103-1106), 2000.
[2] **Hollars S, Fu Q., Comstock J., Ackerman T.,** *Comparison of cloud-top height retrievals from ground-based 35 GHz MMCR and GMS-5 satellite observations at ARM TWP Manus site*, Atmospheric Research 72 (169–186), USA Washington, 2004.
[3] **Minnis, P., Smith, W. L. Jr., Garber, D. P., Ayers, J. K. and Doelling, D. R.,** *Cloud Properties Derived From GOES-7 for the Spring 1994 ARM Intensive Observing Period Using Version 1.0.0 of the ARM Satellite Data Analysis Program*. NASA RP 1366, 59 pp, August, 1995.
[4] **Titov G.,** Radiative *Horizantal transport and absorption in stratocumulus clouds*, Journal of Atmospheric Sciences, 55. 2549-2560, Newyork, 1998.
[5**] Rozanov V. V., Alexander A., Kokhanovsky A.A.,** *Semianalytical cloud retrieval algorithm as applied to the cloud top altitude and the cloud geometrical thickness determination from top-of-atmosphere reflectance measurements in the oxygen A band*, Journal Of Geophysıcal Research, Vol. 109, D05202, Germany, 2004.
[6] **Stockpole J.D.,** *Numerical analysis os atmospheric soundings*, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 6, (464-467), Washington D.C, 1967.
[7] **Stull R., and Elronta E.,** *Models and measurements of the interaction between the mixed layer and fair-weather cumulus clouds, Part 2. Some preliminary measurements.Transactions, Conf on Enviromental İmpact of Natural Emissions*, Research Triangle Park, NC, Air Pollution Associations, (326-337), 1985.
[8] https://en.wikipedia.org/wiki/Overshooting_top, 22.10.2015.

Meteoroloji Radarlarında Kullanılan Farklı Yağış Hesaplama Yöntemlerinin Tutarlılık Analizi

Kurtuluş Öztürk
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
kozturk@mgm.gov.tr

Alper Çubuk
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
acubuk@mgm.gov.tr

ÖZET

Meteoroloji Radarları, nicel yağış miktarını ampirik reflektivite-yağış oranı bağıntıları veya polarimetik algoritmalar vasıtasıyla hesaplarlar. Ancak bu cihazlar, donanım ve yazılımsal problemler, ışın geometrisi, topografya, çevresel ve atmosferik şartlar nedeniyle yer ölçümlerinden farklı değerler verebilirler. Diğer taraftan yer ölçümlerinin güvenilirliği de nicel yağış tahmini çalışmaları için önemli sorunlardan biridir. Bu çalışmada literatürde tavsiye elden bazı Z-R bağıntıları, bazı disdrometrelerden elde edilen Z-R bağıntıları ve polarimetrik algoritmaların ($R(K_{DP})$ ve NSSL2005) yağış hesaplamaları, 23 farklı yağış olayı için karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analizler, özellikle konvektif tip yağışlar için en iyi sonuçların polarimetrik bağıntılardan elde edildiğini göstermiştir. Polarimetrik bağıntıların arasında ise en iyi sonuçlar çoğunlukla (17 olay) $R(K_{DP})$ bağıntısı kullanılarak elde edilmiştir. Stratiform tipi yağışlar için ise Marshall-Palmer Z-R bağıntısının iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Tekil polarize radarlar için polarimetrik bağıntılar kullanılamadığından, bu radarlar için yalnızca literatürde tavsiye edilen Z-R bağıntıları ile disdrometrelerden elde edilen Z-R bağıntıları karşılaştırılmıştır. Sonuçlara özellikle konvektif tip yağışlarda, yağışın küçük alanlarda değişiminin ne derece etkisi olduğu örneklerle vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Meteoroloji Radarı, Disdrometre, Yağış Ölçer, Z-R bağıntısı, Polarimetri

1. GİRİŞ

Meteorolojik radarlar atmosfere gönderdikleri elektromanyetik dalganın hidrometeorlardan saçılması vasıtasıyla geri dönen gücü ölçer, bu güçten de reflektivite faktörünü hesaplarlar. Ancak bu süreç sırasında yazılımsal veya donanımsal bazı sebepler, çevresel faktörler, topografya, atmosferik şartlar, clutter (yer ekosu), kırınım ve anormal yayılma (refraction and anomalous propogation), parlak bant (bright band), reflektivitenin düşey profili, ışın engellenmesi (beam blockage), atenüasyon (attenuation), ikincil eko (second trip echo), meteorolojik olmayan hedefler vb. nedenlerden ötürü bir takım ölçüm hatalarının olması çok doğaldır. Bu hatalar radar verisinin gerçek değerinden sapmasına yol açar. Genelde bu hataları elimine etmek oldukça zordur, ancak azaltmak mümkündür.

Bu çalışmada yağış ölçer verileri kullanılarak istatistiksel yöntemler ile radar yağış verilerinin iyileştirilmesine çalışılmıştır. Ölçülen radar yağış verisi ile yer gözlemi arasındaki hata bir düzeltme faktörü (AF) ile ifade edilmiştir. Ancak yağış ölçer verisinin hatalı olması durumunda yapılan düzeltmenin de hatalı olacağı da açıktır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) gözlem ağı çoğunlukla tekil yer gözlemlerinden oluşmaktadır. Ancak MGM, araştırma amaçlı bazı noktalarda birden fazla yağış ölçer konuşlandırmıştır. Bu çalışmada aynı noktada konuşlandırılan birden fazla yağış ölçer arasındaki karşılaştırmalardan bazı örnekler de verilmiştir. Ayrıca çalışmada konvektif ve stratiform tipi çeşitli örnek hadiseler çalışılmış, farklı radar yağış algoritmalarının farklı tip yağış karakterleri için performansları analiz edilmiştir. Örnek çalışmaların gerçekleştirildiği yerlerde kurulu olan disdrometre cihazlarından elde edilen reflektivite-yağış oranı (Z-R) bağıntıları, literatürde tavsiye edilen bazı Z-R bağıntıları ve çoklu polarizasyon özelliği ile elde edilen polarimetrik yağış algoritmaların yağış hesaplamaları, 23 farklı olay için karşılaştırılmış, sonuçlar Araştırma Bulguları bölümünde sunulmuştur. Son bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. METODOLOJİ

Meteoroloji radarları yağışı direk ölçmezler. Geri alınan güçten hesaplanan reflektivite faktörü ile yağış arasındaki ampirik bir bağıntı sayesinde yağışı hesaplarlar. Tekil polarize özellikli radarlarda yağışı hesaplamada kullanılan tek yöntem budur. Eğer radarda dual polarizasyon özelliği mevcut ise dual polarizasyon parametrelerini (örneğin ZDR (differential reflectivity) ve

K_{DP} (Specific Differential Phase)) kullanan bazı algoritmalar ile de yağış hesaplaması yapmak mümkündür. Literatürde en çok kullanılan ve stratiform tip yağışlarda oldukça iyi sonuçlar veren ampirik bağıntı Marshall-Palmer (1948) Z-R bağıntısıdır. Ters Marshall-Palmer bağıntısı aşağıdaki gibidir:

$$R(Z)= 0.036463*Z^{0.625} \quad (1)$$

K_{DP}, reflektivite faktörüne göre yağışa daha lineer bağlıdır. K_{DP}, yatay ve dikey olarak gönderilen dalgalar arasındaki faz farkını ifade ettiğinden kalibrasyon hataları, kısmi ışın engellemesi ve atenüasyondan kaynaklanan hatalardan bağımsız bir parametredir. R-K_{DP} ilişkisi özellikle şiddetli yağışlar esnasında C bant radarlarda atenüasyon kaynaklı hatalardan arınmış bir ilişkidir (Teschl et.al, 2006). Bu çalışmada C bant radarlar için Pruppacher and Beard (1970) tarafından tavsiye edilen R-K_{DP} ilişkisi kullanılmıştır:

$$R(Z)=18.87* K_{DP}^{0.835} \quad (2)$$

Bir başka polarimetrik algoritma ise NSSL2005 (Ryzhkov, A. V., et. al, 2005) bağıntısıdır. Bu algoritmada belli yağış şiddeti sınıflarına göre R(Z,ZDR) ve R(K_{DP},ZDR) ilişkileri de kullanılmaktadır:

$$R(Z,ZDR) = 0.017*Z^{0.714} / (0.4 + 5 * (ZDR - 1)^{1.3}) \quad (3)$$

$$R(K_{DP},ZDR) = 18.87* K_{DP}^{0.835} / (0.4+ 3.5* (ZDR - 1)^{1.7}) \quad (4)$$

Class=0 (R<6 mm/h) : R(Z,ZDR)

Class=1 (6<R<50 mm/h) : R(K_{DP},ZDR)

Class=2 (R>50 mm/h) : R(K_{DP})

Özellikle konvektif tip yağışlarda, yağışın küçük alanlarındaki değişkenliği düşünülerek, yağış ölçerin kurulu olduğu koordinata denk düşen radar pikselinin 24 komşu pikseli de incelenmiş, bu pikseller arasındaki istatistik de gözden geçirilmiştir. Vaisala firmasının IRIS yazılımı ürünü olan RAINN ürünü (N toplam saati ifade eder) kullanılarak radar tarafından hesaplanan toplam yağışlar elde edilmiş, geliştirilen kodlar vasıtasıyla yağış ölçer noktaları ve 24 komşu piksellerdeki değerler hesaplanmıştır. 720x720 çözünürlükte ve 120 km kapsama alanı için (240×240 km^2), 25 piksel yaklaşık 2.77 km^2 alanı temsil etmektedir (azimuthal equidistant projeksiyon, bir piksel

ölçüsü: 332.6 ve 334.1 m). Bu çalışmada radar yağış değeri için bu 25 pikselin ortalama yağışı kullanılmıştır.

Elde edilen radar yağışını iyileştirmek için radar ve yer gözlemi arasındaki hatayı tanımlamak amacıyla zamandan bağımsız üç değişken parametre seçilmiştir. Farklı cihazlarla ölçülen parametrelerin zamansal olarak uyumsuzluk gösterebileceği hesaba katılarak toplam yağışların oranını almak mantıklı olan yoldur (Zawadzki 1975, Collier 1986). Değerlendirme faktörü (The Assessment Factor (AF)) toplam radar yağışının toplam yağış ölçer yağışına oranıdır (Denklem 5).

$$(AF)_j = \frac{\sum\sum(R)_j}{\sum\sum(G)_j} \tag{5}$$

Değerlendirme Faktörü AF ile üç bağımsız değişken arasında Denklem 6'deki gibi bir ilişki vardır (Gabella et al. 2000). R-G veri çiftleri kullanılarak w =1, w =R ve w =G olmak üzere ağırlıklı regresyon analizi yapılır.

$$(AF)_j(dB) = a_0 + a_D.\log(D_j) + a_{HV}.(HV_{\min})_j + a_{HG}.HG_j \tag{6}$$

Bu denklemde D; radarla AWOS arasındaki uzaklık (ışın genişlemesi), HVmin; AWOS üzerindeki noktanın radardan minimum görülebilir yüksekliği (ışın engellenmesi), HG; AWOS'un topografik yüksekliği (orografi) ve j ise yağış ölçer numarasını ifade etmektedir. Regresyon analizi sonucu elde edilen katsayılar ve regresyon denklemi ile tahmini logaritmik AF değerleri ve iyileştirilmiş radar ölçümleri hesaplanır (Denklem 7).

$$\sum\sum(R_c)_j = \frac{\sum\sum(R)_j}{(AF_e)_j} \tag{7}$$

HVmin değerlerinin bulunabilmesi için, Öztürk ve Yilmazer (2007) tarafından her bir radar pikselindeki ışın yüksekliğini dijital topografik yükseklik bilgisi ile karşılaştırarak, radar piksellerindeki minimum görülebilir yükseklik bilgisini 720x720 bir matris olarak üreten algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma daha sonra geliştirilerek IRIS RAINN ürününü baz alıp her radar pikseli için iyileştirilmiş radar yağışları veren ve PSCR (Pixel-based Statistically Corrected

Rain) adı verilen bir ürün üretilmiştir. Bu ürün, ağırlıklı çoklu regresyon tekniği ile elde edilen AF değerlerini kullandığı için, yağış ölçerlerin tutarlı ölçümlerine ve radar kapsama alanındaki yağış ölçer sayısına çok duyarlıdır.

Daha güvenilir ve eksiksiz yer gözlemi elde ederek, daha başarılı yağış iyileştirmesi yapabilmek amacıyla, spesifik bölgelerde konuşlandırılacak yağış ölçer ve disdrometre sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Disdrometre cihazları optik yöntemlerle rüyet, yağış miktarı, radar reflektivitesi gibi bilgileri verebilen ve hali hazır hava durumu sensörü olarak da kullanılabilen cihazlardır. İstatistiksel yöntemlerle veri iyileştirilmesi yapabilmek için bu bölgelere kurulacak olan yağış ölçerlerden kesintisiz ve güvenilir bir veri seti elde etmek amacıyla aynı noktada birden fazla yağış ölçer ve/veya disdrometre cihazı konuşlandırmak bilinen en iyi yöntemdir. MGM bu amaçla bazı noktalarda 1 adet yağış ölçer ve 1 adet disdrometre, bazı noktalarda 3 adet yağış ölçer, bazı noktalarda 3 adet yağış ölçer ve 1 adet disdrometre konuşlandırmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Üç yağış ölçer, bir disdrometre ve bir kameradan oluışan 17 test sahasından biri

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

MGM, güvenilir ve kesintisiz yer gözlemi elde etmek amacıyla 50 noktaya üç adet yağış ölçer kurmuştur. Yapılan örnek bir çalışmada 01.11.2014 ve 25.02.2015 tarihleri arasında üç farklı tarih aralığında üç yağış ölçerin toplam yağışlarındaki uyuma bakılmıştır (Tablo 1). Bu tabloya göre üç yağış ölçerden en az ikisinin uyumlu olduğu durumlar en iyi %94, en kötü %68 olmuştur. Her üç

yağış ölçerin de uyumsuz davrandığı durumlar ise %32'e kadar çıkmıştır. Bu durumda yağış ölçerin ölçüm doğruluğu tamamen bir soru işaretidir.

Tablo 1. Üç farklı tarih aralığında aynı noktada bulunan üç yağış ölçerin karşılaştırılması

TRIPLE GAUGES	01.11.2014-16.12.2014	17.12.2014-22.01.2015	23.01.2015-25.02.2015
ALL CONSISTENT (%)	56	38	30
2/3 CONSISTENT (%)	38	46	38
ALL DIFFERENT (%)	6	16	32
RELIABLE STATIONS (%)	94	84	68

MGM Genel Müdürlük kampüsü içerisinde, üçü Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü çatısında, üçü Ankara Bölge Müdürlüğü rasat parkında, biri de otopark arkasındaki test parkında bulunan toplam 7 yağış ölçer mevcuttur. Bu yağış ölçerler radar yağış matrisinde komşu piksellerin içinde kalmaktadırlar (Şekil 2).

Şekil 2. MGM kampüsündeki 7 yağış ölçerin kuşbakışı görünütüsü ve 25 radar pikseli içindeki konumu



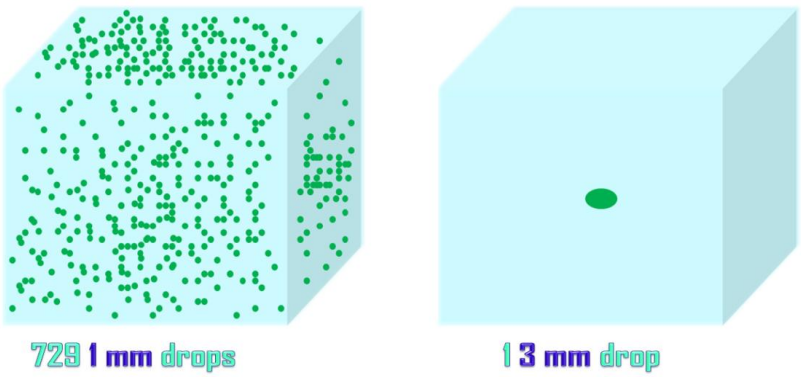
03.06.2015 tarihinde Ankara'da meydana gelen konvektif yağış hadisesinde 5 saatlik toplam yağışlara bakıldığında aralarında kuş uçuşu 365 m. mesafe olan bu noktalarda 10 mm'ye yakın fark olduğu görülmüştür (Tablo 2). Bu da özellikle konvektif yağışlarda yağışın küçük alanlarda ne derece farklılık gösterebileceğinin bir örneğidir.

Tablo 2. MGM Genel Müdürlük kampüsündeki yedi yağış ölçerin 03.06.2015 tarihindeki 5 saatlik konvektif yağış için toplam yağış değerleri

ANKARA	RSD ROOF			MGM	ARMO		
DATE / TIME (UTC)	GAUGE1	GAUGE2	GAUGE3	GAUGE4	GAUGE5	GAUGE6	GAUGE7
03.06.2015 15:00	25,6	24,2	24,6	26,5	33,75	33,9	31,6
03.06.2015 16:00	2	1,8	1,6	1,8	1,83	2	2
03.06.2015 17:00	2,6	2,4	2,2	2,3	2,41	2,1	2,2
03.06.2015 18:00	4	3,8	3,8	3,7	3,58	3,7	3,5
03.06.2015 19:00	3,2	3	3	2,8	3,32	2,9	2,3
TOTAL RAIN (mm)	**37,4**	**35,2**	**35,2**	**37,1**	**44,89**	**44,6**	**41,6**

Disdrometreler damla çapını ve hızını ölçebilen optik cihazlardır. Bu sayede örnekleme alanına düşen damlacıkların damla boyut dağılımını hesaplayabilirler. Radar ise damla boyut dağılımını ölçemez. Aynı hacim içerisindeki 1 adet 3 mm çaplı damlacığın reflektivitesi ile 729 adet 1 mm çaplı damlacığın reflektivitesi radar tarafından aynı ölçülür (Şekil 3). Ancak yere düşen yağış doğal olarak farklıdır. Disdrometreler, damla çapı (D), damla boyut dağılımı (N(D)) ve nihai hız (Wt) parametrelerinden radar reflektivitesi ve yağışı hesaplarlar (Denklem 8 ve 9). Bu iki değer vasıtasıyla yapılan regresyon analizi ile radarlarda yağış hesaplaması için kullanılan Z-R bağıntısı elde edilebilir.

Şekil 3. Aynı hakim içerisindeki 1 adet 3 mm çaplı damlacık ile 729 adet 1 mm çaplı damlacık



$$Z = \int N(D) D^6 dD \tag{8}$$

$$R = \frac{\pi}{6} \int_0^{\infty} N(D).W_t(D).D^3 dD \tag{9}$$

Bu çalışmada radar yağışları için 25 pikselin ortlama değeri kullanılmıştır. Ancak özellikle bazı konvektif yağışlarda bu piksellerin standart sapmalarının yüksek olduğu gözlenmiştir (Tablo 3). Örneğin, 19 Haziran 2013 tarihinde Hatay Dörtyol ilçesinde gerçekleşen şiddetli yağışın radar analizi yapıldığında 4 saatlik yağışta komşu pikseller arasında yüksek standart sapma görülmüş, yağış ölçer 121 mm yağış ölçmüş iken, radar R-KDP algortiması ile elde edilen yağışlarda maksimum 119 mm, minimum ise 38 mm değer gözlemlenmiştir. Bu durum yine konvektif yağışlarda yağışın küçük alanlarda ne derece değişkenlik gösterebileceğinin bir başka örneğidir.

Table 3. 19 Haziran 2013 tarihinde Hatay Dörtyol ilçesinde gerçekleşen 4 saatlik şiddetli yağışın 25 radar pikseli için istatistiği

DÖRTYOL	MP	R-KDP	NSSL
CENTRE	52,65	92,37	61,95
MEAN	41,60	74,75	46,30
STD	15,25	24,70	26,66
MAX	64,01	118,88	110,91
MIN	12,41	37,87	8,07
PAB	1,91	0,62	1,61
AME	79,40	46,25	74,70

Bu çalışmada test edilen radar yağış bağıntı ya da algoritmaların hangisinin daha başarılı olduğunu belirlemek için 23 farklı yağış olayı test edilmiştir. Buna göre Marshall-Palmer (MP) , R(K_{DP}) ve NSSL algoritmalarından elde edilen radar yağışları ile yer gözlemleri kullanılarak hesaplanan AF değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Yapılan 23 çalışmadan stratiform tipi yağışlar için beklendiği gibi MP bağıntısının iyi sonuçlar verdiği, konvektif yağışlarda ise büyük çoğunlukla R(K_{DP}) algoritmasının başarılı olduğu görülmüştür (17 olay). NSSL algortimasının başarılı olduğu konvektif olayların ise daha uzun süreli ve daha az şiddetli olaylar olduğu tespit edilmiştir.

Table 4. Marshall-Palmer (MP) , R(K_{DP}) ve NSSL algoritmalarından elde edilen radar yağışları ile yer gözlemleri kullanılarak hesaplanan AF değerleri

CASE	TYPE	AF (MP)	AF (NSSL)	AF (R-KDP)	BEST
1	CONV	0,46			MP
2	CONV	0,27	0,57	0,68	R-KDP
3	CONV	0,30	0,53	0,78	R-KDP
4	CONV	0,34	0,38	0,62	R-KDP
5	CONV	0,48	0,46	0,82	R-KDP
6	CONV	0,61	1,73	0,85	R-KDP
7	CONV	0,28	0,56	0,62	R-KDP
8	STRAT	0,64	0,30	0,55	MP
9	CONV	0,30	0,63	0,83	R-KDP
10	CONV	0,16	0,46	0,65	R-KDP
11	CONV	0,34	0,87	0,70	NSSL
12	CONV	0,46	0,61	1,15	R-KDP
13	CONV	0,41	1,08	0,86	NSSL
14	CONV	0,32	0,75	0,80	R-KDP
15	CONV	0,15	0,31	0,85	R-KDP
16	CONV	0,41	0,63	0,75	R-KDP
17	STRAT	0,79	0,77	2,61	MP
18	CONV	0,63	0,47	1,08	R-KDP
19	CONV	0,57	0,45	0,96	R-KDP
20	CONV	0,25	0,41	0,60	R-KDP
21	CONV	0,33	0,67	0,78	R-KDP
22	CONV	0,37	0,91	0,58	NSSL
23	CONV	0,30	0,43	1,02	R-KDP

Elde edilen bu AF değerlerinin gelecekteki hadiseler olarak kullanılması için tutarlı olması gerekmektedir. Ancak AF değerlerinin yağışın küçük alanlardaki değişimi, hatalı yer gözlemleri ve yağışın doğası gibi birçok faktörden etkilendiği unutulmamalıdır. Tutarsız AF değerleri ile radar yağış iyileştirmesi yapmak mümkün değildir. Aşağıda bu çalışmada bazı noktalar için elde edilen tutarlı AF değerleri verilmiştir (Table 5).

Tablo 5. Bazı bölgeler için elde edilen tutarlı AF değerleri

NEBİLER	CASE11	CASE12	CASE13
AF (R/G)	0,86	0,81	0,85

MANAVGAT	CASE2	CASE11	CASE12	CASE13
AF (R/G)	0,68	0,65	0,67	0,66

BODRUM	CASE6	CASE21
AF (R/G)	0,85	0,78

Elde edilen AF değerlerinin PSCR algoritmasında kullanılmasıyla iyileştirilmiş radar yağışları elde edilebilir. 5 Mayıs 2014 tarihinde Ankara'da meydana gelen bir yağış için yapılan iyileştirme çalışmasında RMSE değerinin %52 oranında düşürüldüğü görülmüştür.

Tablo 6. İyileştirme öncesi (sol) ve sonrası (sağ) istatistiksel değerler

ANKARA	MP	R-KDP	NSSL
AME	10,56	10,51	16,98
PAB	0,50	0,48	1,71
RMSE	12,54	12,55	19,33

ANKARA	MP	R-KDP	NSSL
AME	5,73	5,30	5,49
PAB	0,27	0,24	0,55
RMSE	7,55	6,59	7,28

4. SONUÇ VE ÖNERILER

Radar yağış ölçümleri pek çok hatadan etkilenirler. Bu yağışları istatistiksel yöntemlerle iyileştirmek mümkündür. Ancak radar yağışı ve yer gözlemi arasındaki hatayı ifade eden AF değerlerinin gelecekteki hadiseler olarak kullanılması için istatistiksel olarak tutarlı olması gerekmektedir. AF değerlerinin yağışın küçük alanlardaki değişimi, hatalı yer gözlemleri ve yağışın doğası gibi birçok faktörden etkilendiği bu çalışmada verilen pek çok örnek olay ile ortaya konulmuştur. Tutarsız AF değerleri ile radar yağış iyileştirmesi yapmak mümkün değildir.

Bu çalışmada test edilen radar yağış bağıntı ya da algoritmaların hangisinin daha başarılı olduğunu belirlemek için 23 farklı yağış olayı test edilmiştir. Yapılan 23 çalışmadan stratiform tipi yağışlar için beklendiği gibi MP bağıntısının iyi sonuçlar verdiği, konvektif yağışlarda ise büyük çoğunlukla R(K_{DP}) algoritmasının başarılı olduğu görülmüştür (17 olay). NSSL algortimasının başarılı olduğu konvektif olayların ise daha uzun süreli ve daha az şiddetli olaylar olduğu tespit edilmiştir. Dual polarizasyon parametrelerinin özellikle konvektif tip yağışlarda yağış tahmini için ne derece faydalı olduğu bu çalışmada bir kez daha görülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] **Collier, C. G.,** *Accuracy of rainfall estimates by radar. Part I: Calibration by telemetering rain gauges. J. Hydrol. 83, 207-22,* 1986.

[2] **Gabella, M. and Perona, G.,** *Simulation of the orographic influence on weather radar using a geometic-optics approach.* J. of Atmospheric and Oceanic Technology, 15, No.6, 1485-1494, 1998.

[3] **Gabella, M., Joss, J. and Perona, G.,** *Optimizing quantitative precipitation estimates using a noncoherent and a coherent radar operating on the same area.* J. of Geophysical Research, 105, No. D2, 2237-2245, 2000.

[4] **Ozturk, K., Yilmazer. A.U.,** *Improving the accuracy of the radar rainfall estimates using gage adjustment techniques: Case study for west Anatolia, Turkey,* Atmos. Res., 86, 139–148, 2007.

[5] **Pruppacher, H. R., and K. V. Beard.,** *A wind tunnel investigation of the internal circulation and shape of water drops falling at terminal velocity in air.* Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 96, 247– 256, 1970.

[6] **Ryzhkov, A. V.,et. al.**, *Rainfall Estimation with a Polarimetric Prototype of WSR-88D.* J. Appl Meteor., 44, 502-515, 2005.

[7] **Teschl, F., Randeu, W.L., Schönhuber, M. and Teschl, R.** *Simulation of the specific differential phase (KDP) from 2D-VideoDistrometer measurements at S- and C-band wavelengths, Proceedings of ERAD 2006,* 2006.

[8] **Zawadzki, I.** *On radar-raingage comparison. J. Appl. Mel. 14, 1430-1436.,* 1975.

Radar Yansımalarından Yer Yağış Verilerinin Bulanık Mantık İlkeleri Öngörüsü

Ahmet Köse
İstanbul Büyükşehir Belediyesi
Afet Koordinasyon Merkezi Müdürlüğü (AKOM)
İstanbul
a.kose@ibb.gov.tr

Yavuz Selim Güçlü
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
İstanbul
gucluya@itu.edu.tr

Selçuk Tütüncü
İstanbul Büyükşehir Belediyesi
Afet Koordinasyon Merkezi Müdürlüğü (AKOM)
İstanbul
selcuk.tutuncu@ibb.gov.tr

Fulya Baybaş
MapCodex Gis Solutions
Ankara
fulyabaybas@mapcodex.com

Zekai Şen
Su Vakfı
İstanbul
zsen@itu.edu.tr

ÖZET

Ülkemizin radar ağı ile örtülerek yansıma (reflektivite) ölçümlerinin alınması yaygın hale gelmektedir. Alınan yansıma ölçümlerinden yağış verilerinin tahmin edilmesi için her ikisi arasında bir ilişkinin aranması gerekmektedir. Önceden yapılan çalışmalarda genel olarak istatistik regresyon yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu yöntemin en kısıtlayışı yönü regresyon parametrelerinin tahmini için fazla sayıda veriye ihtiyaç bulunmasıdır. Bu çalışmada radar yansımaları ile yer yağış ölçümleri arasında geçerli olabilecek bulanık mantık sistemine göre geliştirilmiş bir girdi ve bir çıktılı model sunulmuştur. Bunun için modele girdi olan yansıma ve çıktı yağış miktarlarının bulanık alt kümelere ayırılarak temsil edilmesi sonrasında her bir girdi ve çıktı bulanık alt kümeleri arasında geçerli olabilen mantık kural tabanının üretilmesi ile öngörülerin yapılması sağlanmıştır. Bu şekilde elde edilen sonuçların genel olarak kullanılan regresyon yöntemi sonuçları ile karşılaştırılması, bulanık mantık modellemesinin çok daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Burada sunulan modelin uygulanması bazı İstanbul meteoroloji istasyonları için verilmiştir.

Anahtar Kelimeler — ANFIS, bulanık küme, İstanbul, mantık, meteoroloji, radar, regresyon, yağış, yansıma.

1. GİRİŞ

Özellikle meteoroloji öngörülerinin değişik sayısal hava tahmin modelleri ile yapılması sonucunda 3-4 günden daha fazla zaman aralıklarından sonra güvenilir sonuçlara ulaşmak mümkün olamamaktadır. Ancak bu modeller ile meteoroloji radarlarının uygun yerlere konuşlandırılması ve her iki kaynaktan gelen verilerin uygun bir biçimde harmanlanması ile daha güvenilir ve kısa vadeli neticeler elde edilebilmektedir. Ülkemizde Meteoroloji Genel Müdürlürğü (MGM) tarafından tüm ülkeyi kapsayacak şekilde radarların konuşlandırılması işlemleri bu son yıllarda son bulacaktır. İstanbul başta olmak üzere değişik yerlere konuşlandırılmış olan radarlardan alınan yansıma (reflektivite) verilerin yağış miktarlarına dönüştürülmesi için mantık olarak artan reflektivite değerleri ile artan ancak bu artışın doğrusal değil de eğrisel (non-lineer) olması ve sıfır yansıma değerine sıfır yağış değerinin karşılık gelmesi sonucunda çifte logaritmik eksende yansımalar ile yağış miktarları arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu literatürde yapılan birçok eserde belirtilmiştir. Çifte logaritmik eksendeki bu doğrusal ilişkinin biri 1'e eşit yansıma verisine değerine karşılık gelen birim yansıma parametresi ile eğriselliği ifade eden birden küçük üs parametresinin belirlenmesi pratik çalışmalarda güçlük ara etmektedir. Ülkemizdeki birçok araştırma ve uygulayıcılar maalesef başka ülkelerde

geliştirilmiş olan bu iki parametrenin de ülkemiz için geçerli olacağını düşünerek genellik ile klasik üssel formülü kullanma yolu seçilmektedir.

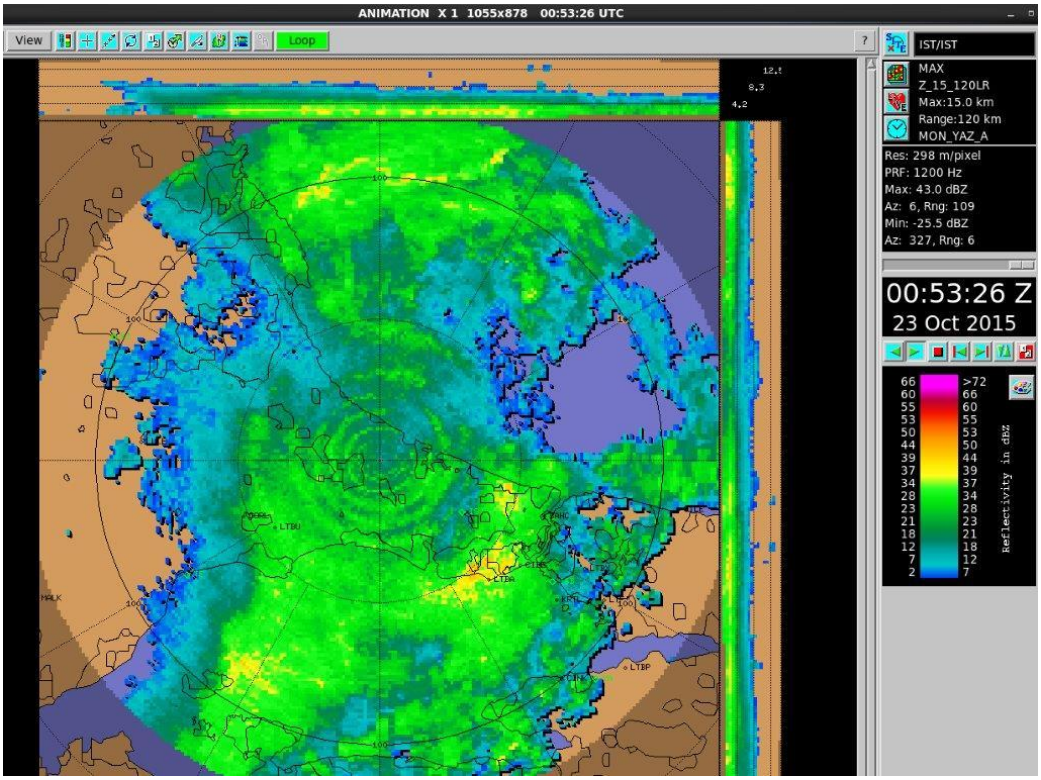
Bu parametrelerin sayısal olarak belirlenmesinin verdiği güçlükleri bir tarafa bırakarak hiç parametre ve denklem gerektirmeyen bir yöntem olan bulanık mantık sistem yaklaşımı radar yansıma verileri ile yer yağış ölçümlerinin eşleştirilerek birbirine bulanık küme ve mantık kuralları ile ilintilendirilmesi yolu bu çalışmada geliştirilmiştir. Burada yapılan uygulama sadece bir gözlem istasyonu olan Florya için bulanık mantık sistem model yapısı, kural tabanı ve Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Yapısı (ANFIS) yöntemi vasıtası ile başarılmıştır. Radar yansıma değerleri (dbZ), yer yüzeyi yağış miktarını (R) tahmin etmekte kullanılan en önemli ürünlerden biridir. 1947' lerin başlarından itibaren bu iki parametre arasındaki ilişki birçok farklı yöntem kullanılarak tespit edilmeye çalışılmış ve bu konuda birçok bildiri ve makale yayınlanmıştır [1, 2]. Z–R ilişkisini tanımlamaya yönelik olarak 69 ampirik formül tanımlanmıştır [3]. Fırtına kaynaklı afet yönetimi, taşkın tahmini, erken uyarı gibi konular meteorolojik radar sistemlerinin operasyonel kullanım alanlarına girmektedir [4]. Meteorolojik radarlar özellikle yağış ölçüm istasyonlarının bulunmadığı bölgelerde olası bir taşkın tahminine yönelik olarak yüksek çözünürlüğe sahip uzaysal ve zamansal yağış verisi sağlamaları açısından önemlidir [5]. Genelleştirilmiş Z-R denklemleri kullanılarak zamansal ve uzaysal bir çalışma alanı üzerindeki Yağmur taneciğinin iki boyutlu dağılım modeli çıkarılmıştır [6].

Radar ürünlerinden yağış tahminine yönelik olarak yapılan benzer bir çalışmada [7] radar yansıma değerleri (Z) ve yer yüzeyi yağış miktarını (R) arasındaki dinamik mikrofiziksel aşamalar karakterize edilmiştir. NOAA'nın Tropikal siklonlardaki mikrodalgaboyu emisyon ölçümlerinde kullanılan WP-3D uçağında ki alt gövde radarından, burun radarından ve gövde kısmında bulunan mikrodalga frekans radyometresinden eş zamanlı ölçümler yapılarak yağış tahminlerini doğrulamaya yönelik çalışma yapılmıştır [8]. Atmosferik radyasyon ölçümleri programı kapsamında yapılan bir çalışmada yağış miktarı tahmini ve yağış tipinin belirlenmesine yönelik olarak yeni ölçümler yapılmıştır [9].

2. ÇALIŞMA ALANI, RADAR YANSIMA VE YER YAĞIŞ VERİLERİ

Radarlar (Şekil 1) meteoroloji alanında ilk kez 1950'li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. 1970'li yıllardan itibaren Doppler radar teknolojisine geçilerek radarlardan dijital formda bilgiler alınmaya başlanmıştır. Radarların meteoroloji alanında kullanılmasıyla özellikle şiddetli yağışlar, dolu, tornado, taşkın ve selleri önceden belirleyebilmek mümkün olmuştur. Aktif bir uzaktan algılama sistemi olan meteorolojik radarlar ile meteorolojik hedefin konumu, hızı, hareket yönü belirlenerek, meteorolojik hadisenin tipi, şiddeti ve miktarı hakkında bilgi sahibi olunabilir.

Radardan gönderilen elektromanyetik sinyal 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. Dual polarizasyon özellikli radarlarda kullanılan bulanık mantık algoritmaları, yağış tipinin detaylı sınıflandırılması ve özellikle dolu tespitine katkı sağlamaktadır [10].



Şekil 1: Radar verisi görüntüsü

Meteoroloji Radarı temelde 4 farklı parametre ölçer:

- Reflektivite (Reflectivity)
- Hız (Velocity)
- Spektral Genişlik (Spectrum Width)
- Differansiyel Reflektivite (Differential Reflectivity)

Hız ölçümü, sadece Doppler radarların sahip olduğu bir kabiliyettir. Doppler radarlar dışındaki radarlar hedefin hızını tespit edemezler. Meteoroloji radarı sanıldığının aksine yağışı direkt ölçmez. Reflektivite-Yağış ilişkisi olarak bilinen Z-R ilişkisine göre yağış miktarını, reflektivite verisini kullanarak hesaplar. Reflektivite, basit bir ifadeyle hedeften yansıyan sinyalin gücüdür.

Radar ekosu (echo), hedeften dönen sinyal için kullanılan bir ifadedir ve dBZ ile ölçülür. Yüksek dBZ değeri, hedeften dönen sinyalin gücünün yüksek olduğu manasına gelir. Meteorolojik radarlarda dönen sinyal gücünün yüksek olması da yağışın şiddetli ve parçacık boyutunun büyük olduğunu gösterir.

a. Radar Datası

(Z) Reflektivite [dBZ]: Radar Reflektivite Faktörü olarak adlandırılır (dBZ=10 log10Z). Radar tarama yaptığı sırada, aldığı her bir örnek hacim içerisinde bulunan hidrometeorlardan (yağmur damlacıkları, bulut partikülleri) geri yansıtılan toplam enerjinin ölçüsüdür.

Yağış vermeyen ya da az yağış veren bulutların reflektivite faktörü genelde zayıftır. Z değeri, 0.001-40.000.000 arasındadır (dBZ: -30 (sis) ile +76 dBZ (büyük dolu) arası). Radar meteorolojistleri çok düşük miktardaki yağışlarla ilgilenmez, bu yağışsız bölgeleri görmek istemezler. Bu nedenle genellikle reflektivite için renk skalası alt limit değerini negatif seçmezler (Tablo 1).

Tablo 1: Çeşitli eko kaynaklarına karşılık gelen Radar Reflektivite Faktörü değerleri.

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 Eğer dBZ ≥55 ise tüm yüksekliklerde mümkün
Kar	35 dBZ'ye kadar
Duman – Toz – Böcek (Yerden 2km yüksekliğe kadar)	10 dBZ'ye kadar
Clutter (Yeryüzünden, binalardan, ağaçlardan, su yüzeylerinden v.b. olan istenmeyen ekolar)	Filtrasyon yapılmadığında 80 dBZ'ye kadar (80 ekstrem durumdur)
Kuşlar	20 dBZ'ye kadar

(R) Yağış Miktarı [mm/h]: Radarın yağış ölçümü, radar reflektivite faktörüne bağlı olarak radar yazılımları tarafından otomatik yapılır (Z-R ilişkisi).

$$Z = A\,Rb \qquad (1)$$

A ve b deneysel sabitlerdir. Araştırmalar sonucunda en yaygın kullanılan şekli, Marshall ve Palmer tarafından Z = 200 R1.6 şeklinde belirlenmiştir. Pratikte Z-R dönüşümü için A ve b katsayılarının ayarlanması, yağış dağılımına ve karakterine bağlı olarak sürekli ölçümlerle gerçekleştirilir [11].

b. Otomatik Gözlem İstasyonu (OMGİ)

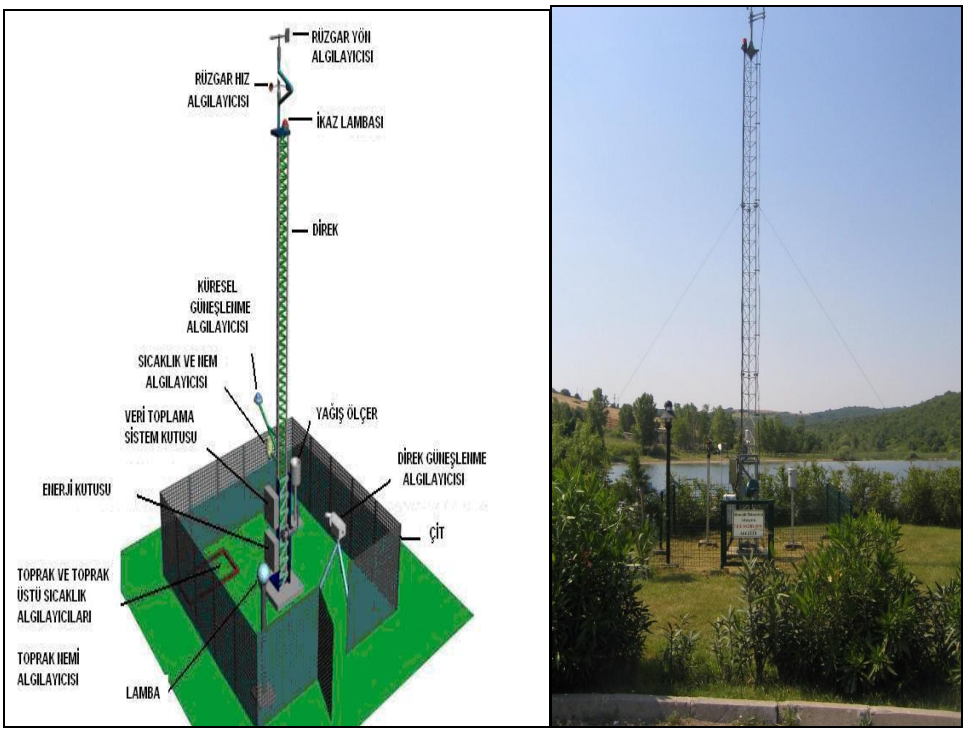
Otomatik meteoroloji istasyonları; meteorolojik parametrelerdeki değişimlere duyarlı ve bu değişimlerin miktarını ölçen sensörlerden oluşmaktadır.

Ayrıca, bu sensörlerin ürettiği mühendislik birimlerini (volt, amper, frekans gibi) meteorolojik bilgilere ve birimlere dönüştürmek için gerekli hesaplamaları ve çevirmeleri yapan ana işlem ünitesi, bu bilgilerin çeşitli yerlerde görüntülenmesini sağlayan görüntüleme üniteleri ile üretilen bilgi ve meteorolojik kodların ilgili merkezlere iletilmesini sağlayan haberleşme üniteleri de otomatik istasyon bünyesinde yer almaktadır.

Otomatik istasyonlar, ölçülen ve hesaplanan çeşitli meteorolojik parametrelerin belirli formatlarda meteorolojik mesajlara dönüştürülmesi işlemini yaptıkları gibi, yine bu bilgilerin belirli formatlarda saklanması, grafiklere dönüştürülmesi ve yazıcılarda kaydedilmesi işlerini de yaparlar. Böylece, herhangi bir bilgi kaybı olmaksızın, meteorolojik parametrelerin sürekli olarak ve en doğru şekilde elde edilmesi sağlanmış olur [12].

Otomatik gözlem istasyonları aşağıdaki ünitelerden oluşmaktadır (Şekil 2).

- Sensörler ve sensör ara yüzleri
- Veri toplama ünitesi
- Merkezi kontrol ve işlem ünitesi
- Görüntüleme ünitesi
- İletişim ara yüzleri
- Güç kaynakları



Şekil 2: Otomatik meteoroloji gözlem istasyonu (OMGİ).

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ile İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı (İBB) yaptıkları protokolle MGM istasyonlarının bulunmadığı 10 farklı noktaya Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) kurmuştur. Bunlardan birinin İstanbul'daki konumu Şekil 3'de gösterilmiştir. Kurulan istasyonlarla yağışın tipi, cinsi, miktarı, sıcaklık, nem, fırtına vb. meteorolojik hadiseler ölçülmekte ve tespit edilmekte olup, İBB'ye bağlı ekipler olay yerine sevk edilmektedir. Ayrıca bu istasyonlarda ölçülen veriler MGM tarafından da hava tahmininde kullanılmaktadır.



Şekil 3: İstanbul OMGİ konumu.

3. ANFIS YÖNTEMİ

Tecrübe ederek kazanılan sözel bilgilerin işlenerek bilgisayarlara okutabilir hale getirilmesi gerekmektedir. İlk olarak Zadeh [13] bu gibi bilgileri bulanık mantık kuralları ile sayısallaştırmış ve bilgisayarlarda işlenebilir duruma getirmiştir. Literatürde çıktı kısımları farklı olan değişik bulanık çıkarım yapıları vardır. Bunlardan biri olan ANFIS girdi ve çıktı değişkenlerinin eğitimini yapan bir yazılımdır [14]. Bu yazılım girdilerin çıktılarla en iyi biçimde uygunluğunu sağlayarak tahmin yapmaya olanak tanır. ANFIS asıl olarak Sugeno bulanık çıkarım sistemini kullanırken verilerin eğitimi aşamasında yapay sinir ağlarından destek alır [15]. Eğitim aşamasında şu iki husus son derece önemlidir ve aynı anda sağlanmalıdır; hataların toplamı sıfıra eşit olmalı veya sıfıra çok yakın olmalıdır ve hataların karelerinin toplamı mümkün olduğunca en küçük olmalıdır. ANFIS bu iki noktayı dikkate alarak verileri eğitmekte ve modeli meydana getirmektedir.

Sugeno bulanık çıkarım yapısında veri takımının girdi kısmı bulanık alınırken çıktı kısmı ise kesin ifadelerle belirtilir [16, 17]. Bunun için uygulamalarda iki seçenek vardır. Örneğin bir girdi bir çıktılı ve üç üyelik fonksiyonlu bir sistemde (X;girdi ve Y;çıktı) çıktı kısmı sabit kabul edilebilir [18].

Kurallar;

Kural 1: Eğer X Düşük ise Y=c1 dir,

Kural 2: Eğer X Orta ise Y=c2 dir,

Kural 3: Eğer X Yüksek ise Y=c3 tür.

Burada c1, c2 ve c3 sabit değerlerdir.

Yine aynı yapı düşünülecek olursa çıktı sabit yerine bir doğrusal denklem alınabilir.

Kurallar;

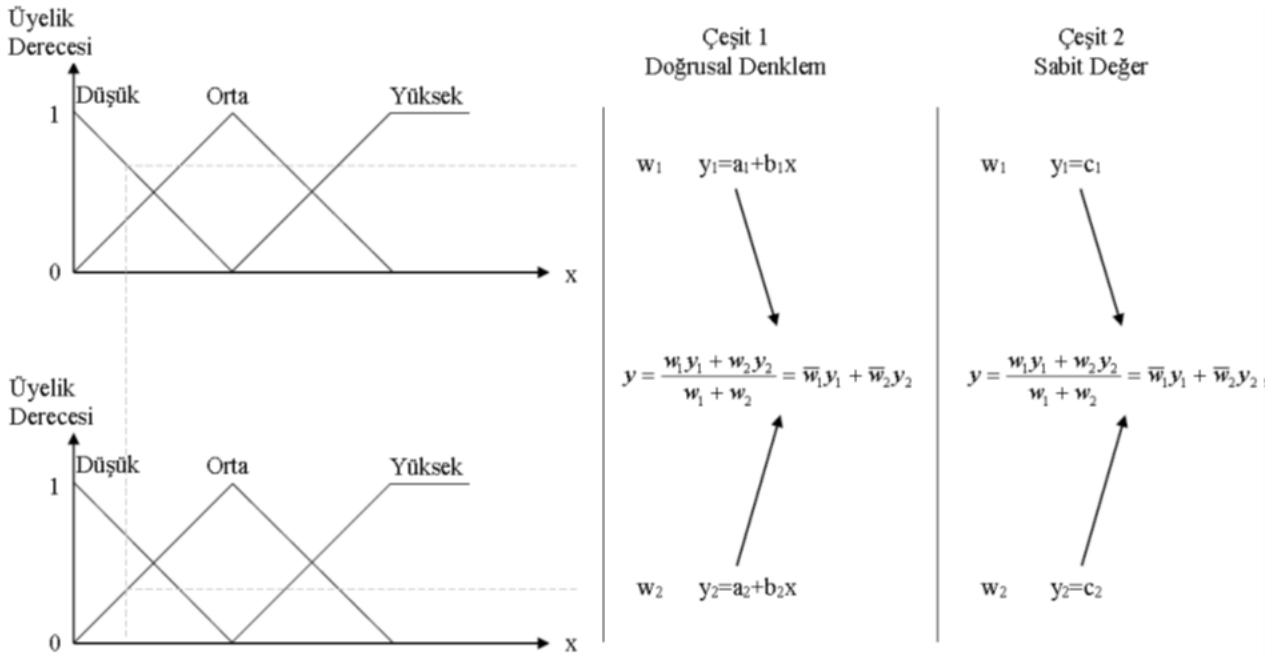
Kural 1: Eğer X Düşük ise Y=f1(x)=a1+b1x tir,

Kural 2: Eğer X Orta ise Y=f2(x)=a2+b2x tir,

Kural 3: Eğer X Yüksek ise Y= f3(x)=a3+b3x tir.

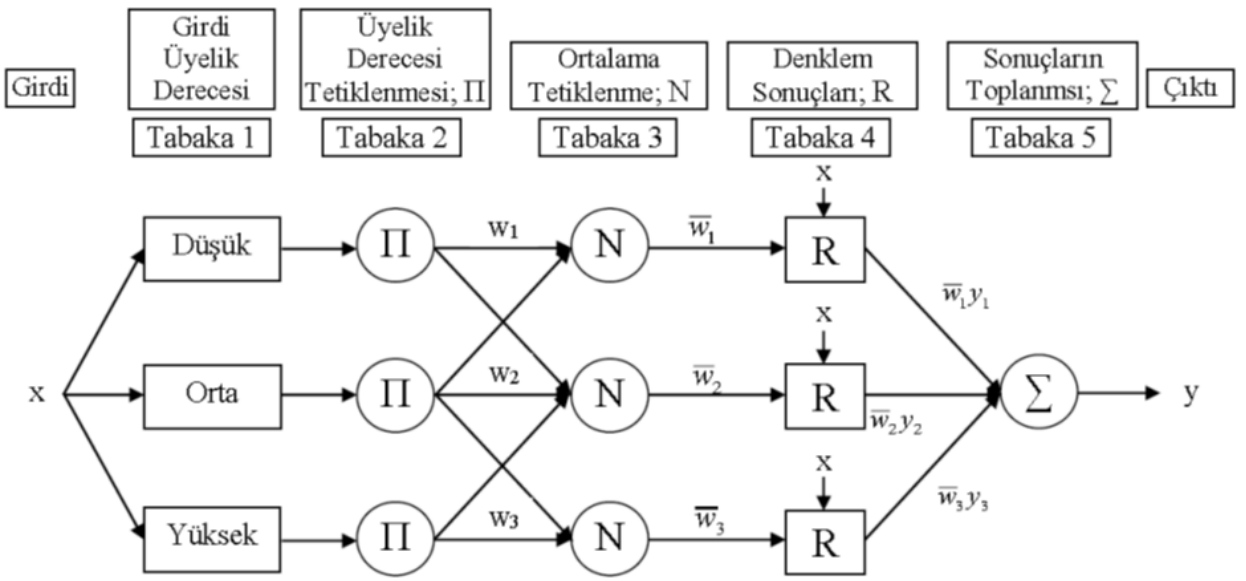
Bir girdi ve bir çıktılı yapılarda kural sayısı girdinin üyelik fonksiyonu sayısınca yazılmaktadır.

Çıktısı sabite ve doğrusal denklemlere dayanan Sugeno bulanık çıkarım yapısında yukarıda yazılmış kuralları da düşünerek nasıl bir çıkarım yapısının ortaya çıkacağı Şekil 4'te iki çeşidiyle gösterilmiştir. w1 ve w2 değerleri 0 ile 1 arasında olan üyelik dereceleridir.



Şekil 4: Bir girdi ve bir çıktılı Sugeno bulanık çıkarım yapısı ve durulaştırma çeşitleri.

Y çıktı değerleri eğitim aşamasında en az hata ile ve ağırlıklı ortalama yöntemi ile hesaplanır. Yukarıdaki örnekte sadece Düşük-Orta arası bölge için örnek yapılmıştır (Şekil 4). ANFIS Düşük-Orta arası bölge için yaptığı gibi Şekil 5'teki yapıya göre çalışarak her bir bölge (Orta, Orta-Yüksek arası ve Yüksek) için eğitimi tamamlar ve gelecek için tahminlerde bulunacak modeli ortaya koyar. Burada X girdisi radar verisini ifade ederken Y çıktısı da tahmin edilecek gerçek yağışı göstermektedir.

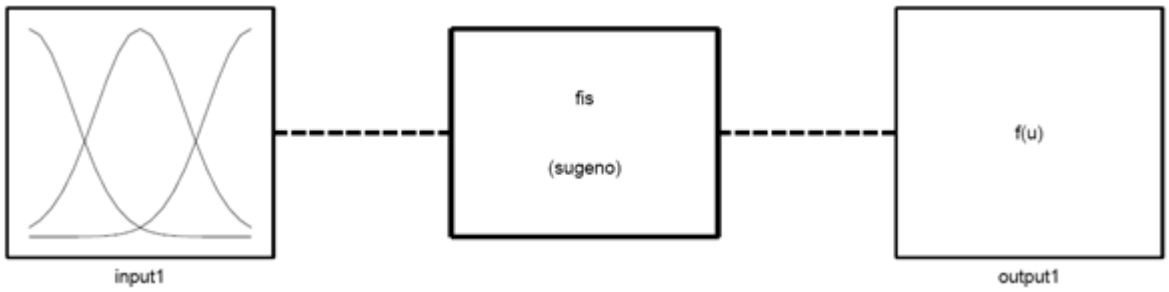


Şekil 5: Bir girdi ve bir çıktılı ANFIS mimarisi.

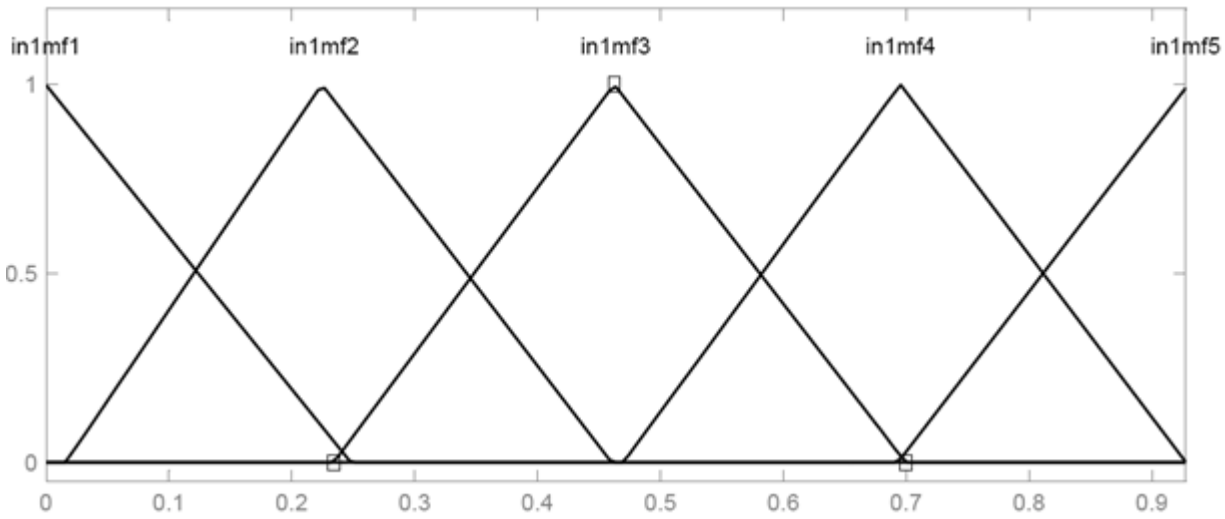
4. UYGULAMA

Bu çalışmanın yer gözlem verileri MGM Florya otomatik gözlem istasyonundan kaydedilmiş değerlerdir. Alınan veriler günlük olmakla birlikte 2000-2008 yılları arasında elde edilmiştir. Dolayısıyla ölçüm istasyonundan alınan veri sayısı 3280 civarındadır. Florya için modeller kurulurken, bunların katsayıları elde edilirken ve eğitimleri yaptırılırken 2000-2004 arası veriler kullanılıp geri kalanlar yani 2005-2008 arası ışınım değerleri tahmin edilmiştir.

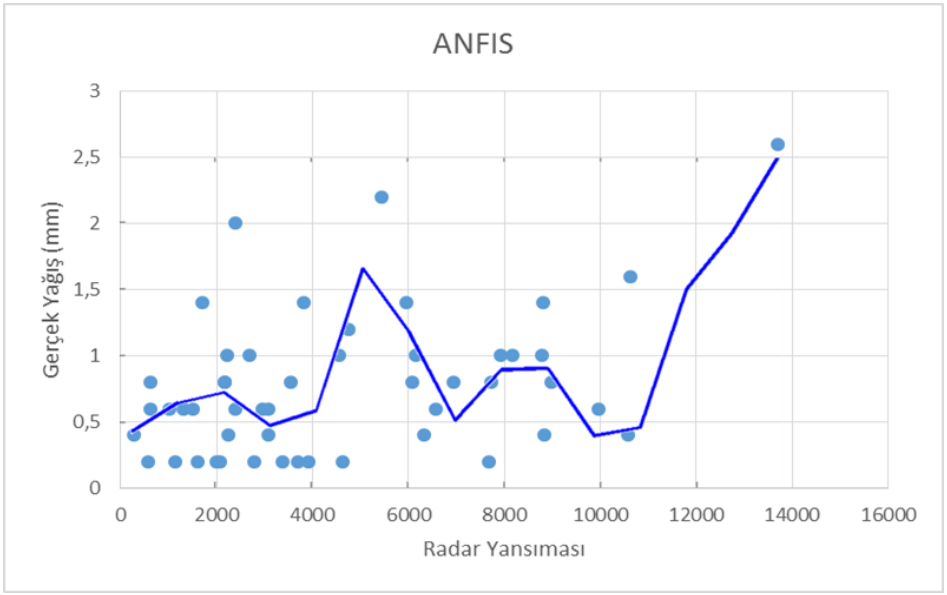
Bu model bir girdi bir çıktılı yapı olarak düşünülmüştür (Şekil 6). Tahmin için model veriler ışığında önce eğitimden geçirilmiştir. Veriler ilk önce bulanıklaştırılmak için 5 üyelik fonksiyonuna ayrılmıştır (Şekil 7). Burada üyelik fonksiyonları en temel şekil olan üçgenler seçilmiştir. Sonuçta tahmin modeli Şekil 8'de gösterildiği gibi elde edilerek ANFIS Modeliyle tahmin aşamasına geçilmiştir. Tahmin aşamasından sonra ise tahmin edilmiş yağış değerleri ölçülmüş mevcut değerlerle kıyaslanarak hata miktarları belirlenecektir.



Şekil 6: Bir girdi ve bir çıktılı Sugeno Bulanık Çıkarım Yapısı.



Şekil 7: Girdilerin 5 üçgen üyelik fonksiyonu ile bulanıklaştırılması.

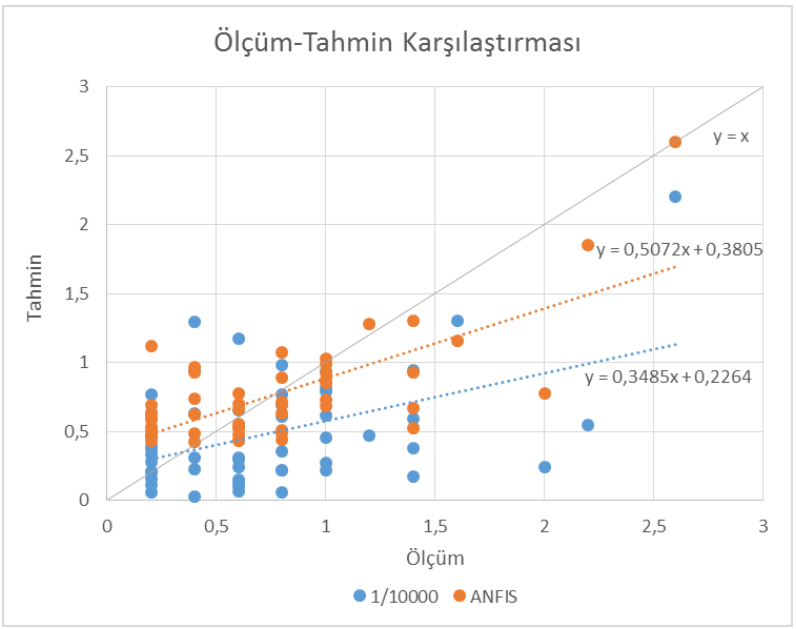


Şekil 8: ANFIS Modeli çıktı eğrisi.

Model kurulduktan sonra tahmin aşamasına geçilmiştir. Tahmin aşamasında t anındaki yağış değerleri tahmin edilecek ve ölçülmüş mevcut değerlerle kıyaslanarak hata miktarları belirlenecektir. Hatalar hesaplanırken şu yol izlenmiştir;

Ortalama Hata =(Σ|Ölçülen Değer- Tahmin Edilen Değer|) / Veri Sayısı

ANFIS modelinin hata miktarı 0,2827 mm radar yansımalarını 10000 değerine bölerek elde edilen tahminlerin hatası ise 0,4326 mm dir. Dolayısıyla ANFIS modeli yaklaşık %35 daha az hatalı olmuştur. Şekil 9'daki kıyaslamada da görüleceği üzere ANFIS modelinden elde edilen tahminlerin eğrisi ölçüm-tahmin grafiğindeki y=x eğrisine daha yakın olmuştur.



Şekil 9: ANFIS modeli karşılaştırma grafiği

5. SONUÇLAR

Pratik olarak tüm dünyada radar yansıma verilerinin yağış verilerine dönüştürülmesi için kullanılan matematik formüldeki birim yansıma ve üs paremetrelerinin tespiti her bölge için mevcut değildir. Bu bakımdan birçok ülkede gelişmiş ülkelerde kullanılan parametreler olduğu gibi alınarak yağışların hesaplanmasına geçilmektedir. Bu yazıda parametre ve denklem gerektirmeyen bulanık mantık sistem yaklaşımı ile radar yansıma değerleri ile yağış verileri arasında mantık kurallı bir sistem teklif edilmiştir. Sayısal radar yansıma ve yağış verileri adaptif (yinelemeli) bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ile birbirleri ile ilişkilendiren model geliştirilerek Florya istasyon verilerine uygulanmıştır.

KAYNAKLAR

[1] Marshall, J. S. and Palmer, W. McK., "The Distribution of Raindrops with Size," J. Meteor., Vol. 5, 1948, pp. 165-166.

[2] Smith, J.A. and Krajewski, W.F., 1993. A modeling study of rainfall rate – reflectivity relationships. Water Resour. Res., 29, 2505–2514

[3] Battan, L.J., 1973. Radar observation of the atmosphere. The University of Chicago Press, Chicago, 324 pp.

[4] Collier, C.G., 1989. Applications of weather radar systems: a guide to uses of radar data in meteorology and hydrology. Ellis Horwood, Chichester, UK. 294 pp.

[5] Ayman Mohammed Hashem Albar, Abdulrahman Khalaf AL-Khalaf, Heshmat Abdel-Basset Mohamed. (2015) Radar Rainfall Estimation of a Severe Thunderstorm over Jeddah. Atmospheric and Climate Sciences 05, 302-316.

[6] Toshiaki Kozu, Toshio Iguchi, Toyoshi Shimomai, Nobuhisa Kashiwagi. (2010) Raindrop Size Distribution Modeling from a Statistical Rain Parameter Relation and Its Application to the TRMM Precipitation Radar Rain Retrieval Algorithm. Journal of Applied Meteorology and Climatology 48:4, 716-724.

[7] Olivier P. Prat, Ana P. Barros. (2010) Exploring the Transient Behavior of Z–R Relationships: Implications for Radar Rainfall Estimation. Journal of Applied Meteorology and Climatology 48:10, 2127-2143.

[8] Haiyan Jiang, Peter G. Black, Edward J. Zipser, Frank D. Marks Jr., Eric W. Uhlhorn. (2010) Validation of Rain-Rate Estimation in Hurricanes from the Stepped Frequency Microwave Radiometer: Algorithm Correction and Error Analysis.Journal of the Atmospheric Sciences 63:1, 252-267.

[9] Min Deng, Pavlos Kollias, Zhe Feng, Chidong Zhang, Charles N. Long, Heike Kalesse, Arunchandra Chandra, Vickal V. Kumar, Alain Protat. (2014) Stratiform and Convective Precipitation Observed by Multiple Radars during the DYNAMO/AMIE Experiment. Journal of Applied Meteorology and Climatology 53:11, 2503-2523. Online publication date: 1-Nov-2014.

[10] http://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiradarlari.aspx, Son Kontrol: 22.10.2015.

[11] Geçer, C., Erol, D., (2004) Meteorolojik Radar Kullanimi ve Uygulamaları.

[12] http://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojikaletler.aspx?a=j, Son Kontrol: 22.10.2015.

[13] Zadeh, L. A. (1965). "Fuzzy sets." Inf. Control, 8(3), 338–353.

[14] Jang J-SR. Self-learning fuzzy controllers based on temporal backpropagation.

[15] IEEE Trans Neural Netw 1992;3(5):714–23.

[16] Şen, Z. (2004) Yapay Sinir Ağları İlkeleri (In Turkish), Turkish Water Foundation Publications, Istanbul.

[17] Takagi, T., and Sugeno, M., (1985) Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control IEEE Trans. On Systems: Man and Cybern., 15, 1, 116-32.

[18] Sugeno, M., ed., (1985) Industrial Applications of Fuzzy Control North-Holland, New York.

[19] Şen, Z., 2001,"Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri" (In Turkish), Bilge Kültür Sanat Publications, 176 Pages.

DOĞU AKDENİZ VE KARADENİZ ÜZERİNDEKİ RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN UYDU VERİLERİ İLE BELİRLENMESİ VE GİRİT ADASI ÖRNEĞİ

Emre Can AY
MGM, Van Bölge Müdürlüğü
Van
emrecanay33@gmail.com

Ahmet ÖZTOPAL
İTÜ, Uçak ve Uzay Bilimleri Fak., Meteoroloji Mühendisliği Böl.
İstanbul
oztopal@itu.edu.tr

Adem TAŞÇI
MGM, Van Bölge Müdürlüğü
Van
atasci@mgm.gov.tr

ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı, gün geçtikçe değeri daha iyi anlaşılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisinin uydu gözlemlerine dayalı olarak saptanması ve analiz edilmesidir. Bu doğrultuda, EUMETSAT'ın CM-SAF merkezi tarafından elde edilen denizler üzerindeki 10 m rüzgâr verileri ile çalışılmıştır. Üzerinde çalışan uydu verilerinin nasıl elde edildiği ve algoritması incelenmiştir. Veriler küresel ölçektedir ve veri setlerinin zamansal kapsama aralığı 9 Temmuz 1987'den 31 Aralık 2008 arasında değişmektedir. Bu veriler CDO ve Grads programları kullanılarak analiz edilmiştir. Verileri üzerinde çalışılan bölge olan Doğu Akdeniz ve Karadeniz alanları ile sınırlandırarak, aylık olarak 4-25m/s, 10-15m/s ve 15/20m/s aralığında ki rüzgâr sıklığı incelenmiştir. Bunun yanında verilerin yıllık olarak maksimumları ve ortalamaları analiz edilerek çalışılan alan için Off-shore türbinlerinin kurulmaya en müsait alanlar saptanmıştır. Ayrıca çalışmada yapılacak uygulama için de Vestas V164-8MW türbini seçilmiştir. Bu türbinin devreye girme hızı 4m/s ve devreden çıkma hızı ise 25m/s'dir.

Analizler sonucunda türbinlerin kurulması için en uygun alan Yunanistan'a bağlı Girit adasının güney ve güney batı açıkları olarak belirlenmiştir. Bu bölge, 34°N-36°N kuzey enlemleri ve 21°E-24°E doğu boylamları arasında yer almaktadır. Bu koordinatlarda ki ortalama rüzgâr hızını göz önüne alarak Girit adası nüfusuna göre yaptığımız değerlendirme ve teorik hesaplama sonucunda, belirlenen türbinlerin 70 adedinden oluşan bir rüzgâr çiftliği Girit adasının elektrik ihtiyacını karşılamaya yeterlidir.

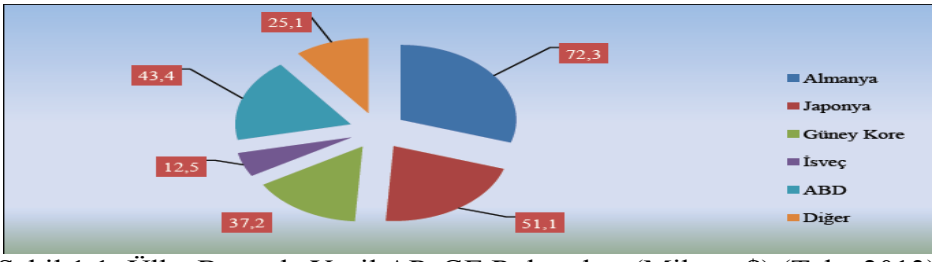
Yapılan bu çalışma neticesinde, incelediğimiz bölgede, Girit adası civarı dışında Karadeniz'in batısı (Romanya ve Ukrayna açıklarını ifade eden 30º - 35ºD – 42º - 46ºK koordinatları) için de off-shore için uygun alanlar bulunduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler - Akdeniz, CM-SAF, Karadeniz, rüzgâr enerjisi, SSM/I, uzaktan algılama.

1. GİRİŞ

Endüstrileşme süreci sonrasında, fosil yakıt kullanımı hızla artmıştır. Tüm dünya ülkeleri fosil yakıt kaynaklarını hiç tükenmeyecekmiş gibi kullanmaktadırlar. Doğaya verilen zarar düşünülmeden, kısa vadeli kalkınma amaçlanarak enerji kaynaklarının bilinçsizce kullanımı devam etmektedir. Fakat son yüzyıldaki gelişmeler fosil yakıtların hızla tükenmekte olduğunu göstermektedir ve bu durum insanları alternatif enerji kullanımına itmektedir. Büyük ölçekte dünyamızın, küçük ölçekte ise ülkemizin karşı karşıya olduğu küresel iklim değişimi problemine karşı, yeşil enerji kaynakları olarak adlandırılan çevreci yani yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır. Fosil yakıt kullanımına bağlı olarak artan sera gazı etkisiyle ilgili olarak ülkeler, mevcut enerji üretim teknolojilerini gözden geçirmeye başlamış ve yeşil enerji AR-GE yatırımlarını hızlandırarak daha temiz enerji eldesi yolunda önemli adımlar atmaktadırlar. Türkiye'de ise AR-GE kavramı henüz tam olarak kavranamadığından bu yatırımlar da, yüksek potansiyeline rağmen geride kalmıştır.

Çevresel kirliliğin ve fosil yakıt kullanımına bağlı olarak artan küresel ısınmanın etkisini giderek arttırdığı günümüzde, ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılama bakımından yenilenebilir kaynaklara yönelmeye çalışmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen verimi ve elektrik miktarını arttırmak için ise AR-GE çalışmaları hızlandırılmış ve yatırımlar yapılmaya başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynak çeşitlerinin önemli bölümüne dünyanın her yerinde, yeteri kadar ve sürekli şekilde erişebilmek mümkün olup; fosil yakıtlar ile nükleer enerji türlerinde olduğu gibi, rezervlerin tükenmesine ilişkin kısıtlar bulunmamaktadır. Bunlara karşın, yenilenebilir enerji potansiyeli coğrafi ve iklimsel değişimlere oldukça duyarlıdır. Ülkelerin sosyal, siyasi ve ekonomik yapıları ile teknoloji geliştirme kapasiteleri, enerji güvenliğine yönelik algılamaları, enerji AR-GE bütçelerinin şekillendirilmesinde önemli işlevler yüklenmektedir. Ayrıca, enerji AR-GE faaliyetlerine ayrılan bütçenin toplam büyüklüğü ve bileşenler ayrımında dağılımı ile bunların uzun vadede ki istikrarı, kamunun ekonomik ve siyasi desteğini ortaya koyması açısından önem taşımakta, hatta özel sektörün yatırım önceliklerini saptayabilmesi yönünde büyük katkılar sağlamaktadır. Şekil 1.1 de ülkelerin yeşil AR-GE çalışmalarına ne kadar katkı sundukları görülebilmektedir. [1]



Şekil 1.1: Ülke Bazında Yeşil AR-GE Rakamları (Milyon $) (Teke,2013)

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) raporlarına göre ülkelerin AR-GE yatırımları incelendiğinde ilginç bulgulara rastlanmaktadır. Güneşlenme süresi gün bakımından diğerlerine nazaran az olan Norveç ve Japonya'nın PV yatırımlarına öncelik verdiği anlaşılmaktadır. ABD'nin en büyük payı biokütleye ayırdığı anlaşılırken, Rusya ve Fransa'nın bioyakıtlara öncelik verdiği görülmektedir. Güneşlenme süresi bakımından çok yüksek potansiyele sahip Avustralya ve İspanya'nın solar teknolojilere daha fazla yatırım yapması beklentiler dâhilinde bir gelişmedir. Avustralya, topraklarının çöl bölgelerinde kurmaya başladığı ve projelendirmesini yaptığı büyük ölçekli PV ve CSP santrallerle gelişimini sürdürmekte olup, İspanya ise CSP teknolojilerine daha fazla yoğunlaşmış olup Andasol 1 ve Andasol 2 CSP tarlalarını faaliyete geçirmiştir. Güneş teknolojileriyle detaylı ilgilenen ülkelerden bir başkası olan Güney Kore ise daha çok kule tipi santral uygulamalarına öncelik vermiştir. Birleşik Krallık ve Danimarka bünyesinde yenilenebilir enerji yatırımları daha çok rüzgâr alanına yönelmiştir. Danimarka'nın bu alana yönelmesindeki asıl sebep olarak dünya devi Siemens firmasının hükümetle ortak hayata geçirdiği büyük ölçekli rüzgâr enerjisi projeleridir. Bunların çoğu deniz üzerinde kurulu santraller olup başarılı örneklerdendir. İtalya son zamanlarda yenilenebilir enerji yatırımlarını hızlandırmış ve Akdeniz ikliminin avantajlarını kullanarak her alana yatırım yapmaya çalışmıştır. Güney Afrika bütün yatırımlarını okyanus dalgası ve gel-git enerjileri üzerine yaparken, Hindistan da okyanus kıyısı olmasının avantajlarını kullanmak isteyerek bu alana özel önem vermiş ve yatırım yapmıştır (Teke, 2013).Tüm bu enerji üretim sistemlerinin karşılaştırılmasını, çevre ve ekonomik açıdan yapmak gerekirse elde ki verileri kullanarak Tablo 1.1, Tablo 1.2 ve Tablo 1.3 elde edilmiştir. Bu tablolarda enerji üretim sistemlerinin verimliliği birçok parametreye bağlı olduğu görülebilmektedir. Enerji sistemlerinin kaynağı, sürdürülebilirliği ve çevreye duyarlılığı bu tablolarda işlenmiştir. [2]

Tablo 1.1 Enerji türlerinin bağımlılık ve kalan ömürlerinin karşılaştırılması (Yelmen ve Çakır, 2011)

	Dışa Bağımlılık/Yerellik	Kalan Ömrü(YIL)
Petrol	Dış	40-45
Kömür	Yerel/Dış	200-250
Doğalgaz	Dış	60-65
Nükleer	Dış	-
Hidrolik	Yerel	-
Güneş	Yerel	-
Jeotermal	Yerel	-
Rüzgâr	Yerel	-

Tablo 1.2 Enerji türlerinin yaklaşık olarak yatırım ve birim enerji maliyetlerinin karşılaştırılması (Yelmen ve Çakır, 2011)

	Yatırım Maliyeti ($/kWh)	Üretim Maliyeti (cent/kWh)
Petrol	1500-2000	6
Kömür	1400-1600	2.5-3
Doğalgaz	600-700	3
Nükleer	3000-4000	7.5
Hidrolik	750-1200	0.5-2
Güneş	Yüksek	10-20
Jeotermal	1500-2000	3-4
Rüzgâr	1000-1200	3.5-4.5

Tablo 1.3 Enerji türlerinin çevresel etkilerinin karşılaştırılması (Yelmen ve Çakır, 2011)

	İklim Değişikliği	Asit Yağmuru	Su Kirliliği	Toprak Kirliliği	Gürültü	Radyasyon
Petrol	+	+	+	+	+	-
Kömür	+	+	+	+	+	+
Doğalgaz	+	+	+	-	+	-
Nükleer	-	-	+	+	-	+
Hidrolik	+	-	-	-	-	-
Güneş	-	-	-	-	-	-
Jeotermal	-	-	+	+	-	-
Rüzgâr	-	-	-	-	+	-

Bu tablolardan anlaşılmaktadır ki rüzgâr enerjisi, sosyo-ekonomik ve çevresel faktörler göz önüne alınırsa bütün bu enerji sistemleri arasında bizim için en iyi seçenektir.

Dünya ölçeğinde, rüzgâr türbinlerinin ekonomik olabilme bakımından en avantajlı şartlara sahip olduğu alanlar; büyük rüzgâr kuşakları üzerinde bulunan ve özellikle okyanus kıyılarında yer alan konumlar olduğunu görmekteyiz. Bu konumlar Şekil 1.2'te gösterilmektedir. [3]



Şekil 1.2: Yeryüzünde Güçlerine Göre Farklı Rüzgâr Bölgeleri, resimdeki koyu alanlar rüzgârı en şiddetli alan bölgelerdir. (DOĞANAY,1991)

Günümüzde rüzgâr santralleri, karalarda olduğu kadar, denizlerde de inşa edilmektedir. Deniz rüzgâr santralleri uygulaması, teknik olarak başarılmış ve ticari uygulamalar da gerçekleştirilmiştir. Deniz üstü rüzgâr enerjisi ile ilgili ilk çalışmalar, 1970'li yıllardan itibaren, Danimarka, Hollanda, İsveç, İngiltere ve A.B.D'nde başlatılmıştır. İlk deniz üstü rüzgâr türbini; İsveç'te 1990 yılında kurulan 220 kW'lık Nogersund Türbini'dir. İlk deniz üstü rüzgâr çiftliği ise, Danimarka'da Loland Adası yakınında kurulan Vindeby rüzgâr çiftliği'dir. 1991 yılı ortalarında işletmeye açılan bu rüzgâr çiftliği, 450 kW gücündeki 11 adet türbinden oluşmakta ve 5 MW kurulu güce sahip bulunmaktadır. Şekil 1.3'de yapım aşaması görünen rüzgâr tarlası ise London Array projesi adı altında 5 Temmuz 2013'te Londra'da, İngiltere Başbakanı David Cameron'un da katıldığı bir törenle devreye alındı. Toplam kurulu gücü 630 MW olan santralde Siemens tarafından sağlanan 3,6 MW gücünde ve 120 metrelik kanat uzunluğuna sahip 175 rüzgâr türbini kullanıldı. İnşa çalışmalarının Temmuz 2009'da başladığı santralde ilk rüzgâr türbininin kurulumu Mart 2011'de sonuncusu ise Aralık 2012'de tamamlandı (Yeşil Ekonomi, 2013).

Dünya rüzgâr enerji potansiyelinin, 50° kuzey ve güney enlemleri arasındaki alanda 26.000 TWh/yıl olduğu ve ekonomik ve diğer nedenlerden dolayı 9.000 TWh/yıl kapasitenin kullanılabilir olduğu tahmin edilmektedir. Yine yapılan çalışmalara göre, dünya karasal alanları toplamının %27'sinin yıllık ortalama 5,1 m/s'den daha yüksek rüzgâr hızının etkisi altında kaldığı belirtilmektedir. Bu rüzgâr enerjisinden yararlanma imkânının olabileceği varsayımıyla 8 MW/km² üretim kapasitesi ile 240.000 GW Kurulu güce sahip olunacağı hesaplanmaktadır [2]



Şekil 1.3: 175 türbinden oluşan London Array projesi yapım aşaması (Yeşil Ekonomi, 2013)

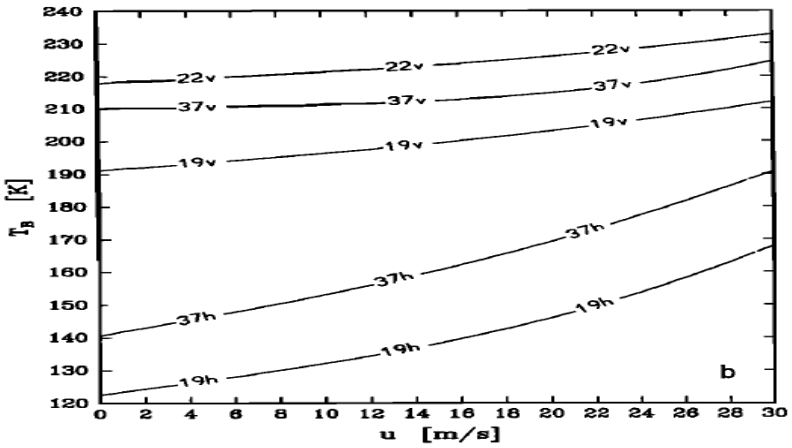
2. VERİ VE ALGORİTMA

2.1. Çalışmada Kullanılan Uydu Verisi

Çalışmada kullanılan uydu verisi Amerikan Hava Kuvvetleri tarafından işletilmekte olan DMSP uydusu üzerinde olan SSM/M sensöründen elde edilmiştir. SSM/I; 19,35; 22,235; 37,0 ve 85,5 Ghz merkezli, dört frekans aralıklarında yayılan mikrodalga radyasyonu ölçen toplam yedi kanallı radyometre gücüdür. Sadece dikey polarize edilen radyasyonu ölçen 22,235 GHz kanalı dışında tüm frekanslar dikey ve yatay polarizasyonda örneklendirilir. Bundan böyle; kanallar 19, 22, 37 ve 85 GHz olarak ve her kanal ve polarizasyona uygun gelen parlaklık ısısı TB19v / h, TB22v, TB37v / h ve TB85v / h. olarak adlandırılacaktır. [5]

2.2. Yüzeye Yakın Rüzgâr Hızı

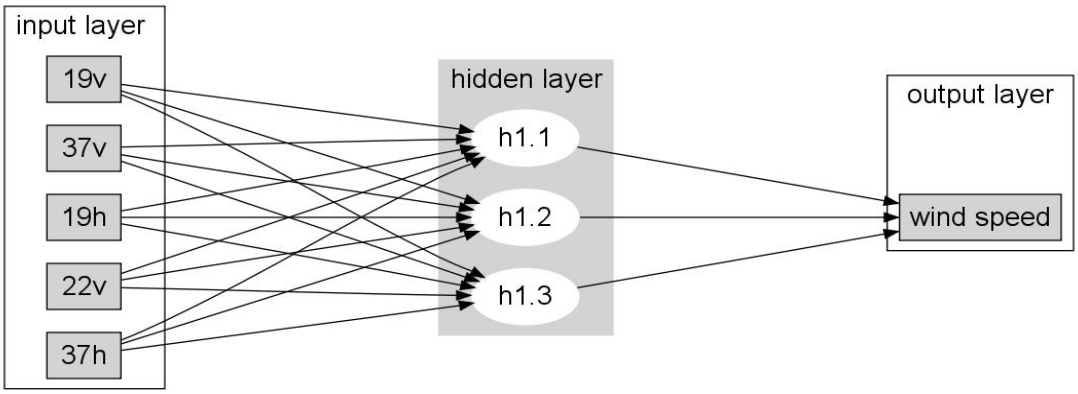
Yüzeye yakın rüzgâr hızı, uzaydan doğrudan ölçülemez. Okyanus boyunca, yüzey üzerindeki rüzgârın sürtünme etkileri, mikrodalga spektrumunda okyanus yüzeyinin yayma eğilimini değiştirir. Bu durumda, rüzgâr hızı, dinamik bir şekilde okyanus yüzeyinin kılcal dalgalar ve köpük kuvertürünü ve yerçekimini bağlar, bu sırasıyla yüzeyin yayma eğilimini ve bu yüzden radyasyon akışını etkiler. Uydu yüksekliğinde, SSM/I parlaklık sıcaklığı (özellikle TB19h ve TB37h) artan rüzgâr hızı (örneğin Webster 1976) ile doğrusal olmayarak artar. Ayrıca, TB19v, TB22v ve TB37v, radyometrik sinyallere atmosferin etkisini kaldırmak için dikkate alınmalıdır. Şekil 2.2'de simüle edilmiş SSM/I parlaklık sıcaklığının rüzgâr üzerindeki bağımlılığını gösterir. Özellikle yatay polarize edilmiş 37 Ghz ve 19 Ghz kanalları için, rüzgâr hızı üzerinde ki güçlü bir bağımlılık açıktır. [5]



Şekil 2.2: Simüle edilmiş SSM/I parlaklık sıcaklığının rüzgâr üzerindeki bağımlılığı

2.3. Rüzgar Hızının Hesaplandığı Algoritma

Krasnopolsky (1995), Stogryn (1994) ve Krasnopolsky (1995), SSM/I gözlemleri temel alınarak rüzgârın eldesi için yapay sinir ağlarının uygulanabilirliğini göstermişlerdir. Buradan hareketle Şekil 2.1'den görüldüğü üzere, rüzgâr hızı, TB19v/h, TB22v ve TB37v/h kullanılan bir giriş tabakası, üç nöron ile bir gizli katman ve bir nöronla bir çıkış katmanını birleştiren üç tabakalı ileri nöron ağı bağlantısı kullanılarak tahmin edilir [5].

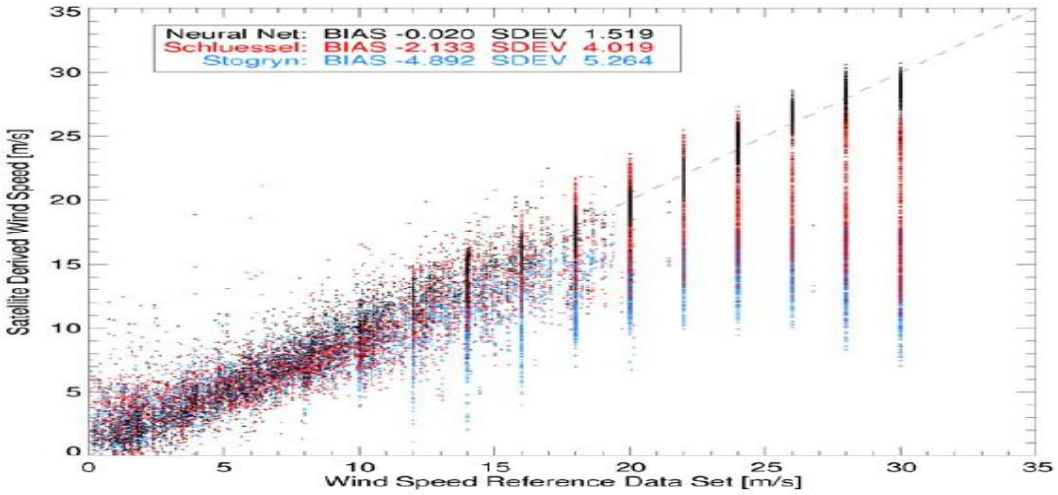


Şekil 2.1: Rüzgâr hızı bilgisi düzeltme için oluşturulan sinirsel ağ mimarisi (ATBD, 2011)

Şekil 2.1'de gösterilen yapay sinir ağı (YSA) mimarisinin eğitimi için gerekli olan yerel veri 2 kaynaktan elde edilmiştir. Bu kaynakların birincisi olan National Data Buoy Center (NDBC) 20 adet şamandıraya sahipken, ikinci kaynak olan Tropical Atmosphere Ocean Project (TAOP) 59 şamandıraya sahiptir.

1997 ve 1998 yılları için bu 2 kaynakta elde edilen rüzgâr verileri F11 uydusunun SSMI serisinde elde edilen parlaklık sıcaklıkları ile eşleştirilerek gerekli olan veri seti elde edilmiştir. [5]

Elde edilen bu veri setiyle yapay sinir ağı, Schlüssel ve Stogryn algoritmaları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Karşılaştırma sonucunda yapay sinir ağı algoritmasının diğer iki algoritmaya nazaran daha düşük bias ve standart sapmaya sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2.3: Schlüssel ve Luthardt (1991) ve Stogryn (1994) algoritmalara göre kıyaslandığında, rüzgâr hızı alma performansı. (ATBD, 2011)

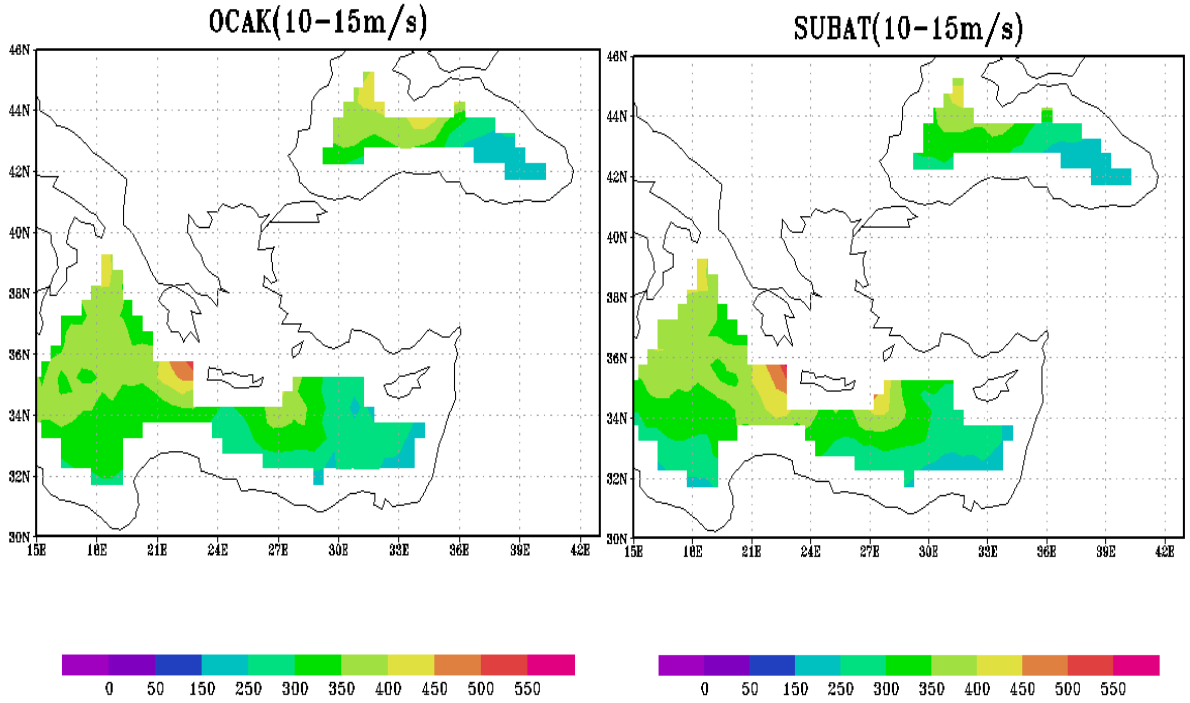
3. UYGULAMA

Bu çalışmada 6 saatlik aralıklarla uydudan elde edilen 10 metredeki rüzgâr verileri kullanılmıştır. Veri setlerinin zaman kapsama aralığı 9 Temmuz 1987 den 31 Aralık 2008 arasında değişmektedir. Bu veriler kullanılarak belirlenen rüzgâr türbini için çalışılan alan olan Doğu Akdeniz veya Karadeniz'de uygun bir bölge bulunarak bu bölgenin yıllık ortalamasına göre elde edilebilecek elektrik enerjisi hesaplanacaktır. Bu hesabın yapılabilmesi ve uygun bölgenin seçilebilmesi için öncelikle çalışılan bölgede 10-15m/s, 15-20m/s ve 4-25m/s aralıklarında esen rüzgârların nerede hangi sıklıkla estiğini ay ay incelenecektir. Ardından bu verilerin yıllık ortalamasına ve maksimum değerlerine bakılacaktır. Bütün bu işlemlerin yapılabilmesi için bu çalışmada CDO ve GRADS yazılımları kullanılacaktır.

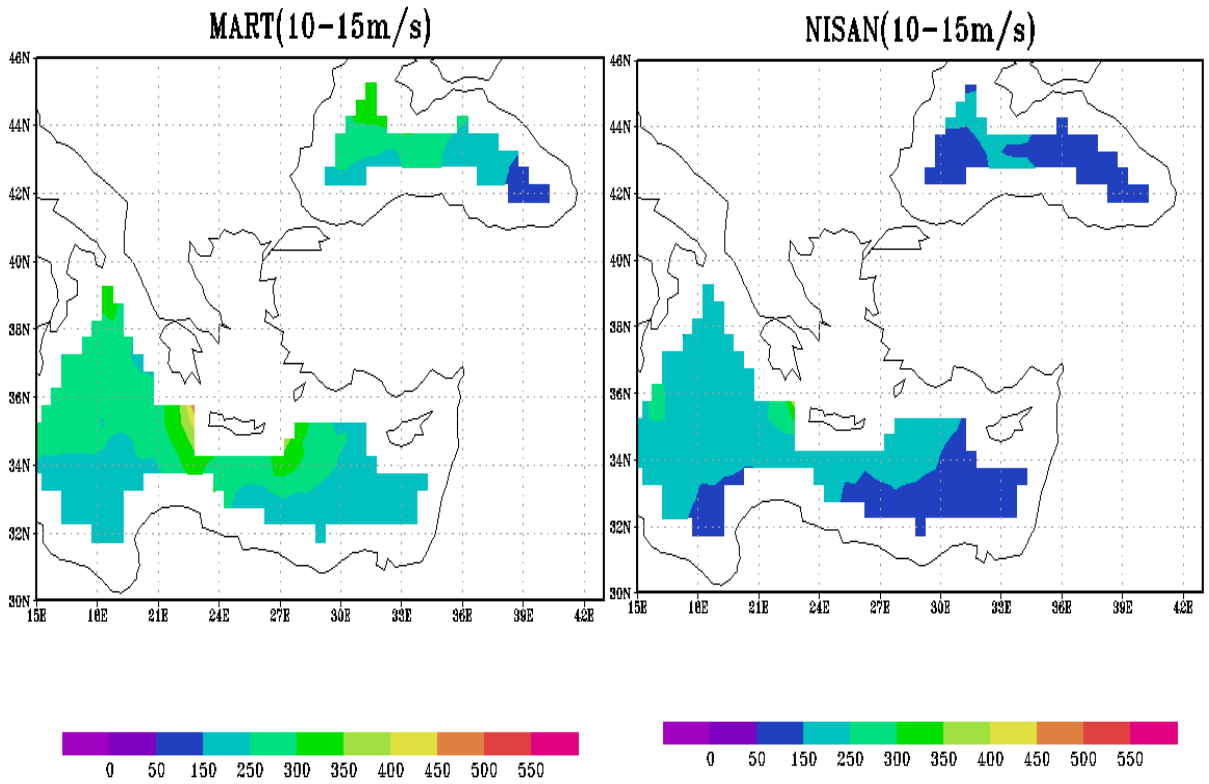
3.1. Elde Edilen Çıktılar

3.1.1. 10 – 15 m/s Aralığının İncelenmesi

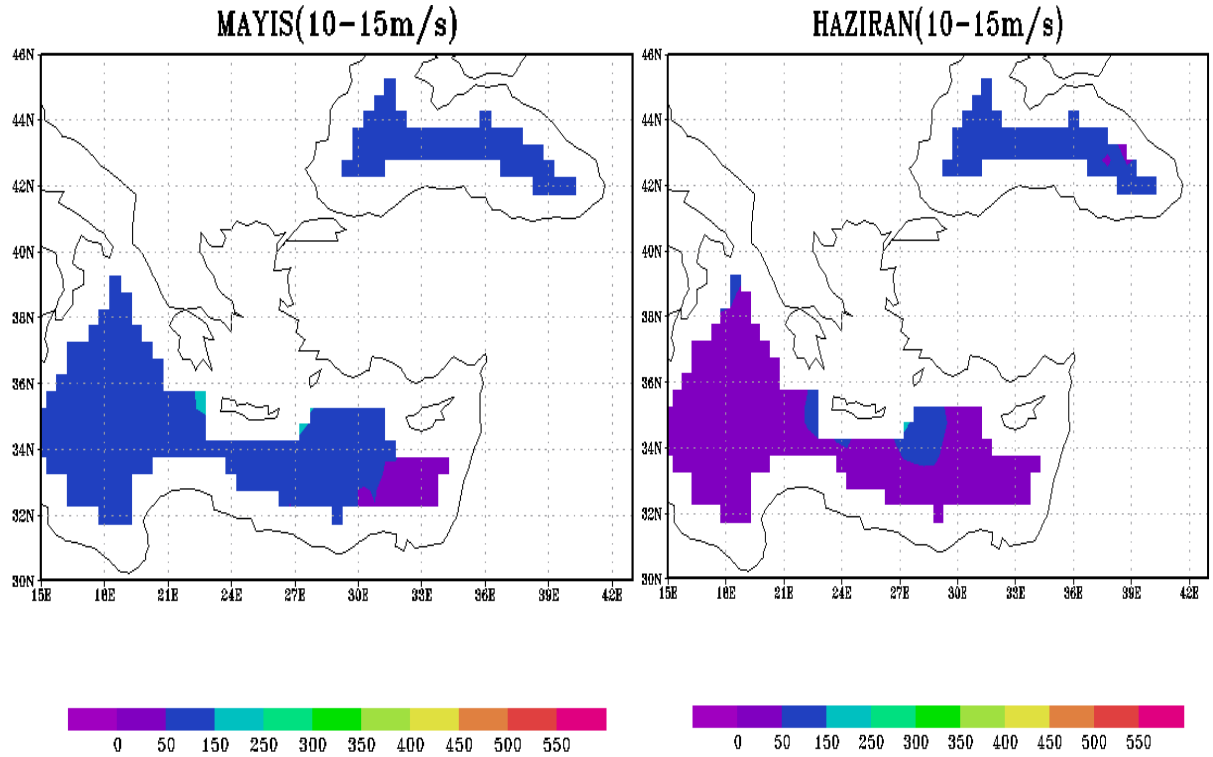
Eldeki veriler ışığında incelenen bölgede, 10-15m/s aralığında ki rüzgârın en sık estiği zaman aralığı Kasım – Şubat aralığıdır (Şekil 3.1 ve 3.6). Diğer aylarda esme sayılarında azalma görülmektedir. Mart ayından itibaren esme sayıları azalmaya başlamaktadır (Şekil 3.2) ve yaz ayları olan Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ise (Şekil 3.3 ve 3.4) bu aralıktaki esme sayıları önemli ölçüde azalmaktadır. Genel olarak, 10-15 m/sn aralığındaki rüzgârların en çok estiği bölgeler İtalya – Yunanistan arası ile Batı ve Orta Karadeniz bölgeleridir.



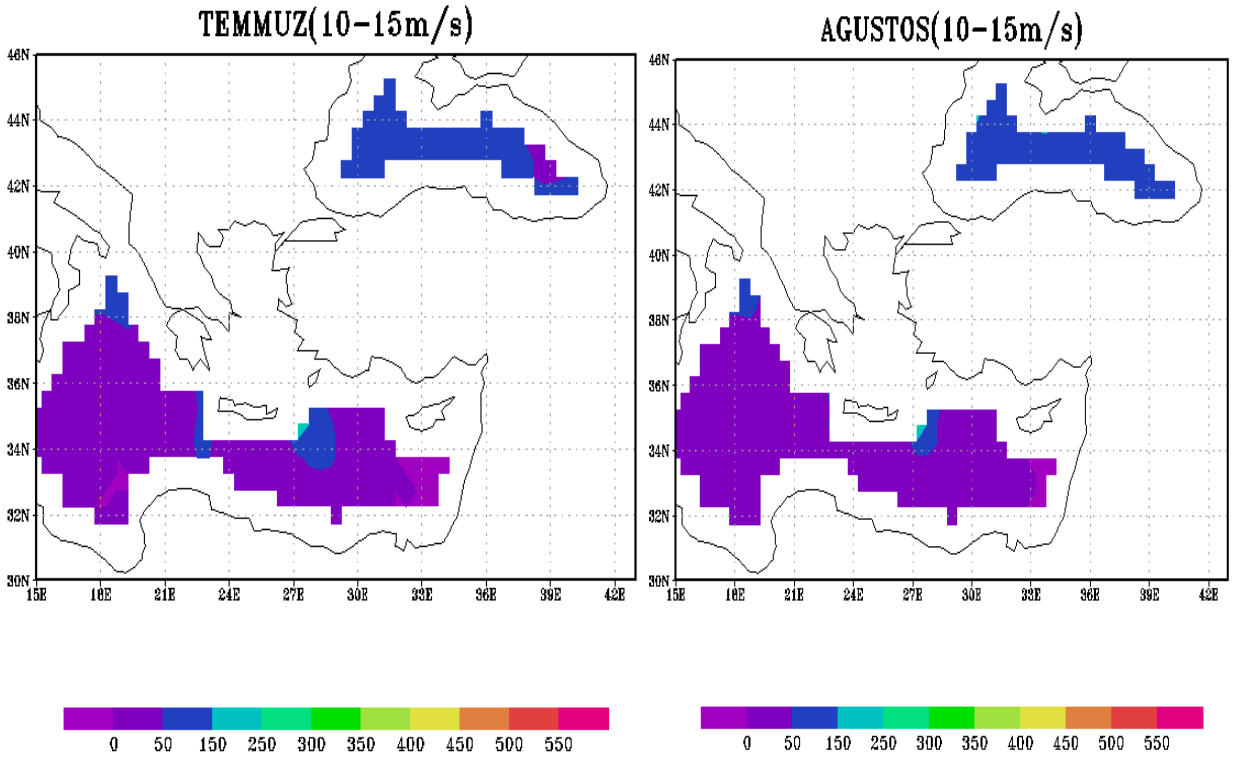
Şekil 3.1: Ocak ve şubat aylarında ki 10-15m/s aralığında rüzgâr sıklığı



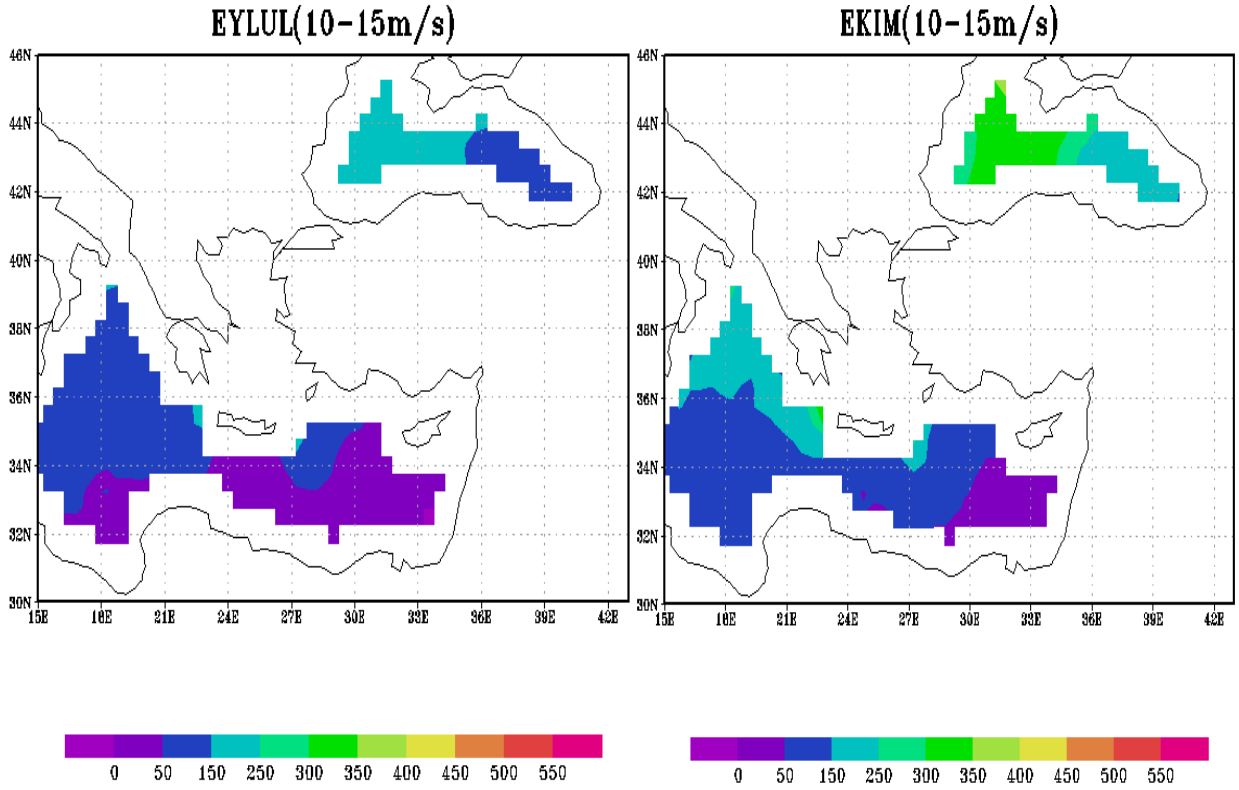
Şekil 3.2: Mart ve nisan aylarında ki 10-15m/s aralığında rüzgâr sıklığı



Şekil 3.3: Mayıs ve haziran aylarında ki 10-15m/s aralığında rüzgâr sıklığı

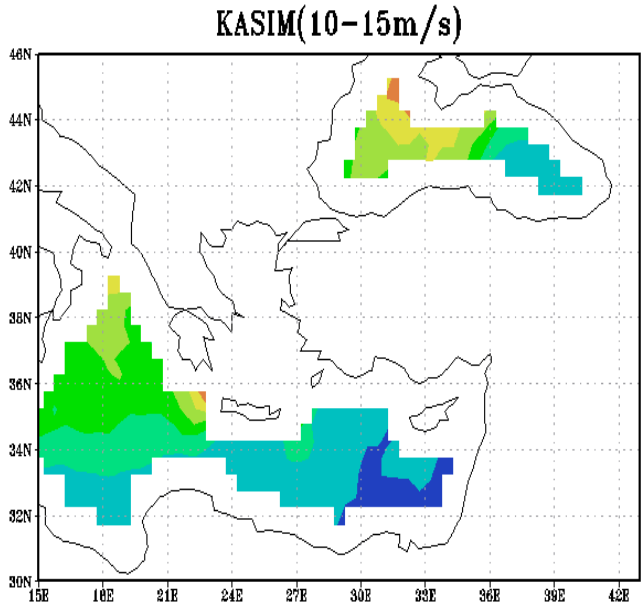


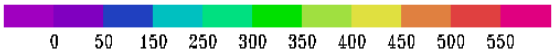
Şekil 3.4: Temmuz ve ağustos aylarında ki 10-15m/s aralığında rüzgâr sıklığı

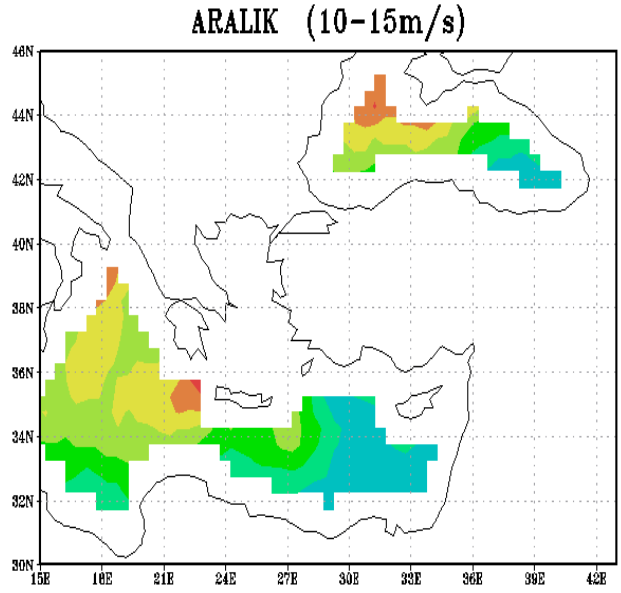


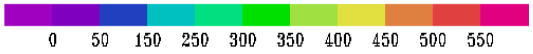
Şekil 3.5: Eylül ve ekim aylarında ki 10-15m/s aralığında rüzgâr sıklığı

a.





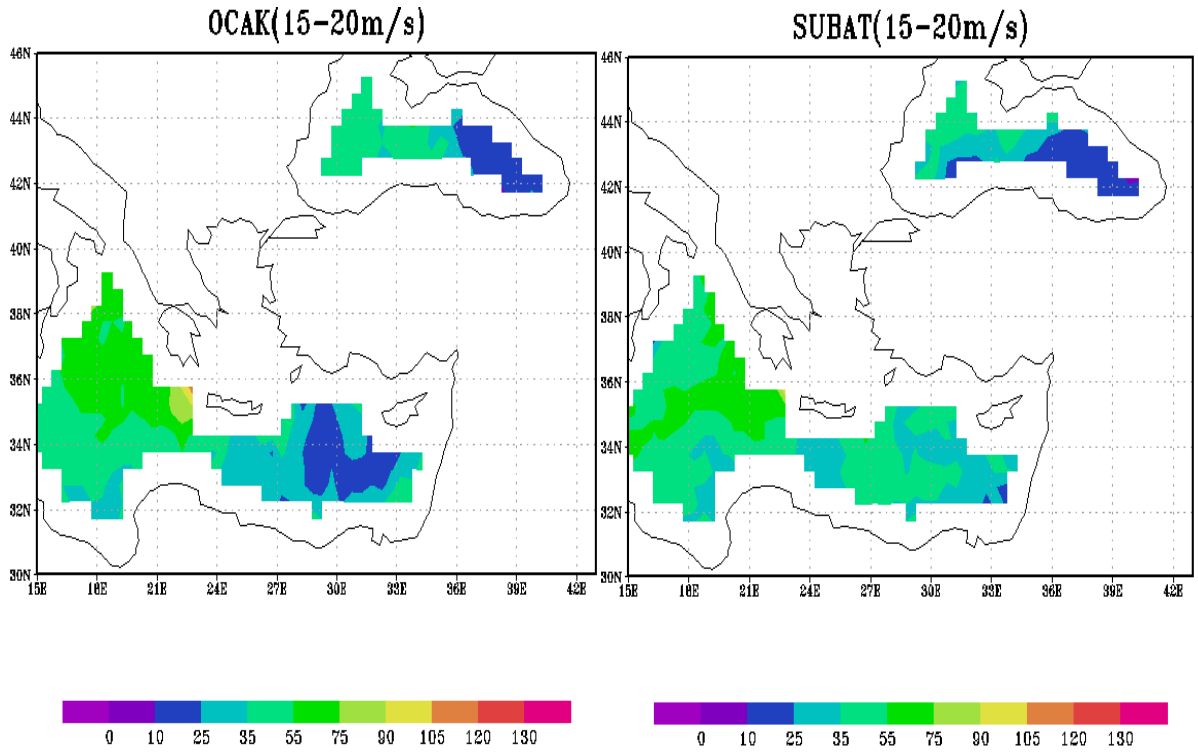




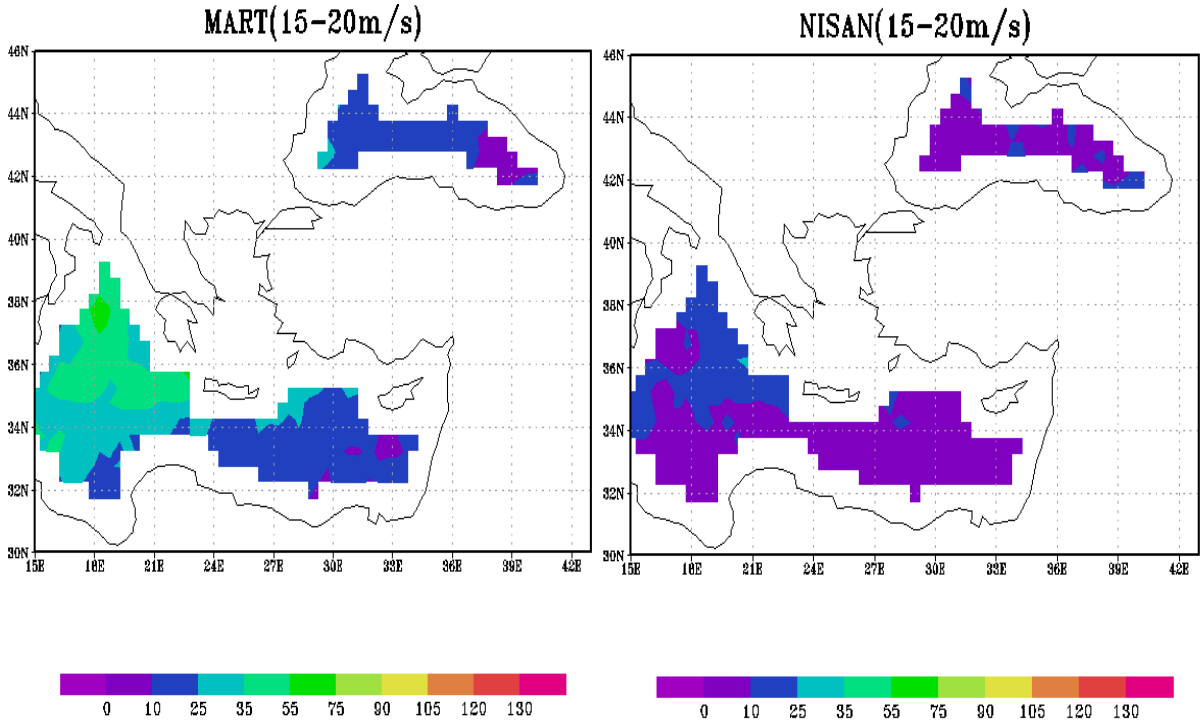
b. Şekil 3.6: Kasım ve aralık aylarında ki 10-15m/s aralığında rüzgâr sıklığı

3.1.2. 15 – 20 m/s Aralığının İncelenmesi

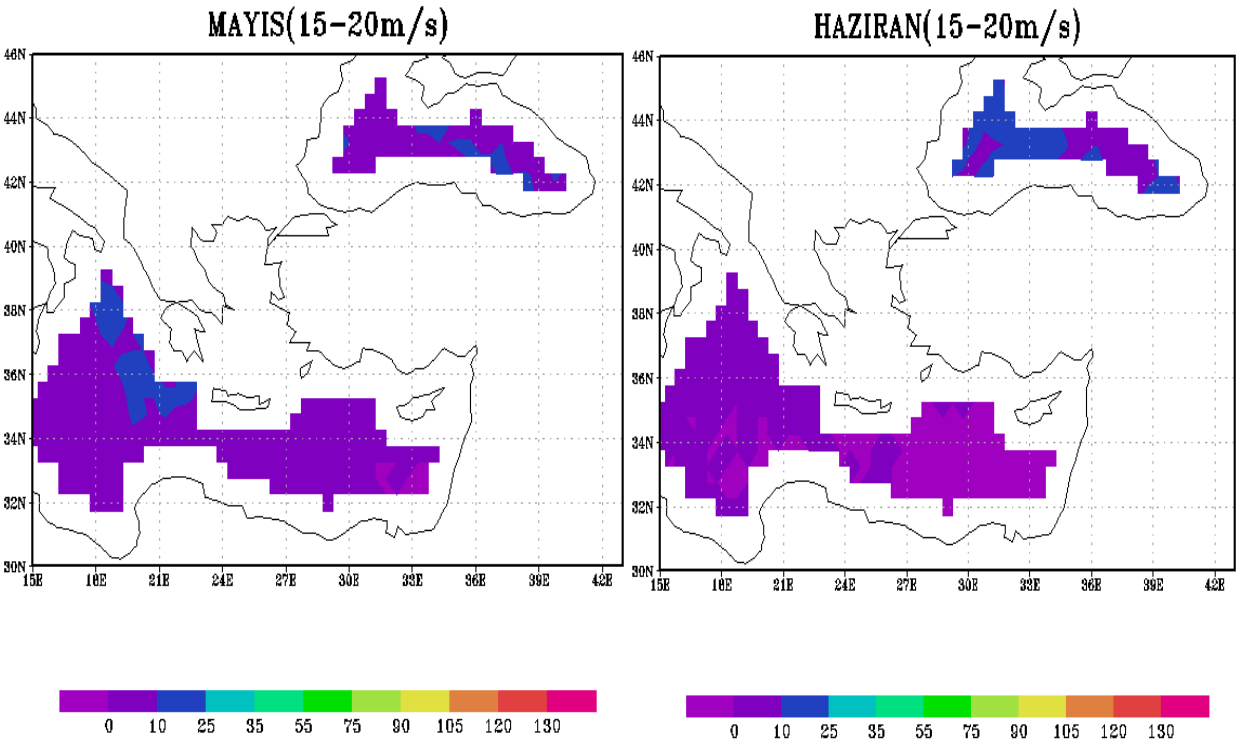
Yaz ayları olan Haziran, Temmuz ve Ağustos'ta (Şekil 3.9 ve 3.10) Akdeniz üzerindeki 15-20 m/sn aralığındaki esme sayıları diğer aylara nazaran en düşük seviyesine ulaşmaktadır ve buradaki en fazla esme değerleri de yine Kasım – Şubat ayları arasında görülmektedir (Şekil 3.7 ve 3.12). Bu aralıktaki esme sayıları da genel olarak yıllık değerlendirmede İtalya – Yunanistan arasındaki bölge ile Batı Karadeniz üzerinde daha yüksek görülmektedir. Bu durum 10-15 m/s'lik rüzgar aralığındaki sonuç ile çok benzerdir.



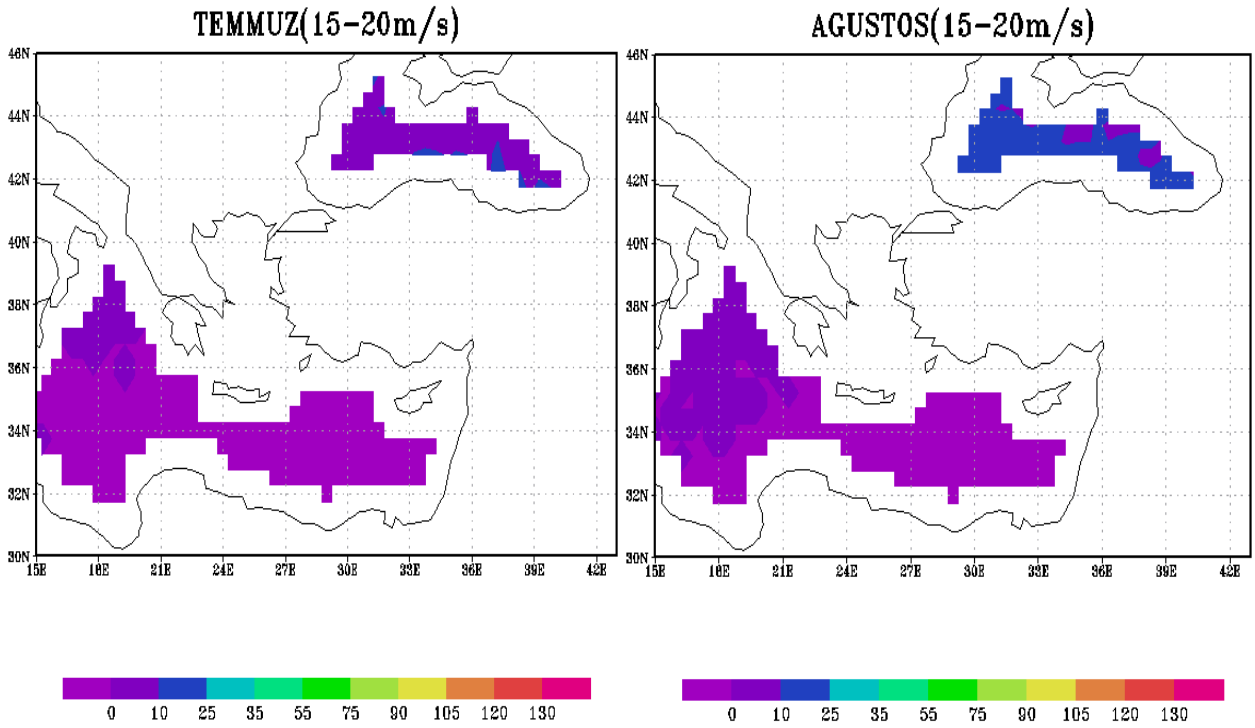
Şekil 3.7: Ocak ve şubat aylarında ki 15-20m/s aralığında rüzgâr sıklığı



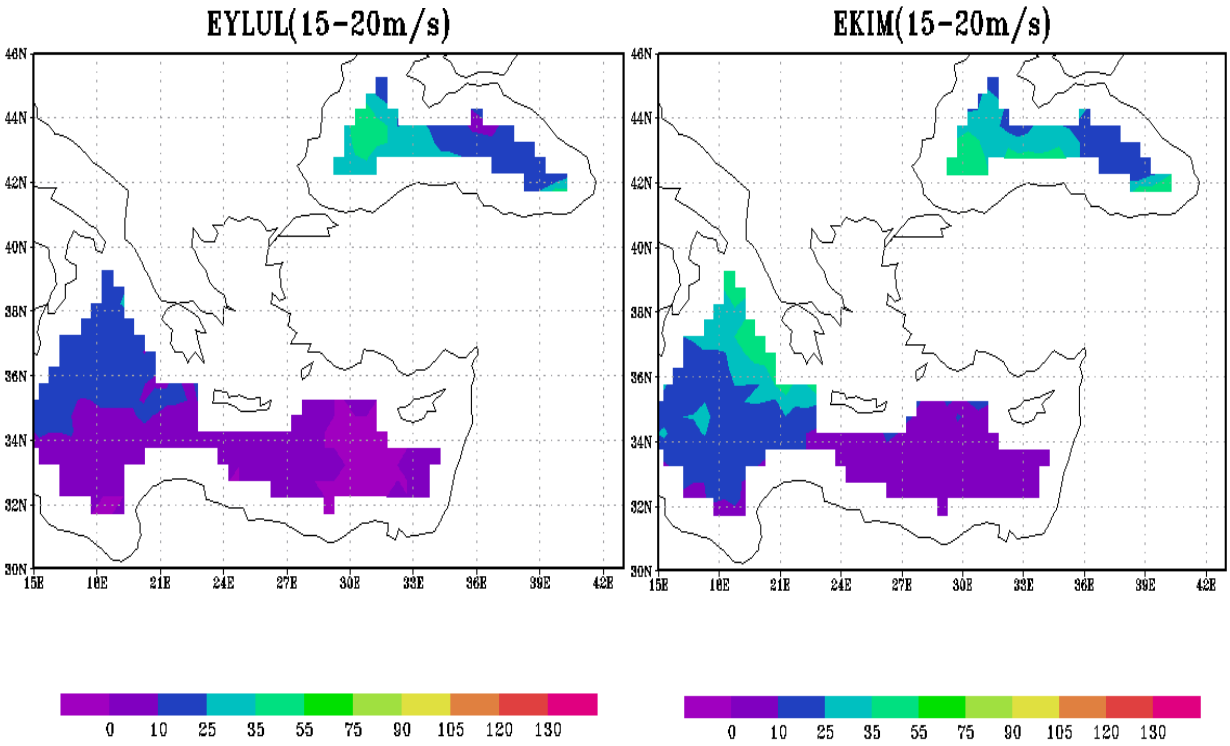
Şekil 3.8: Mart ve nisan aylarında ki 15-20m/s aralığında rüzgâr sıklığı



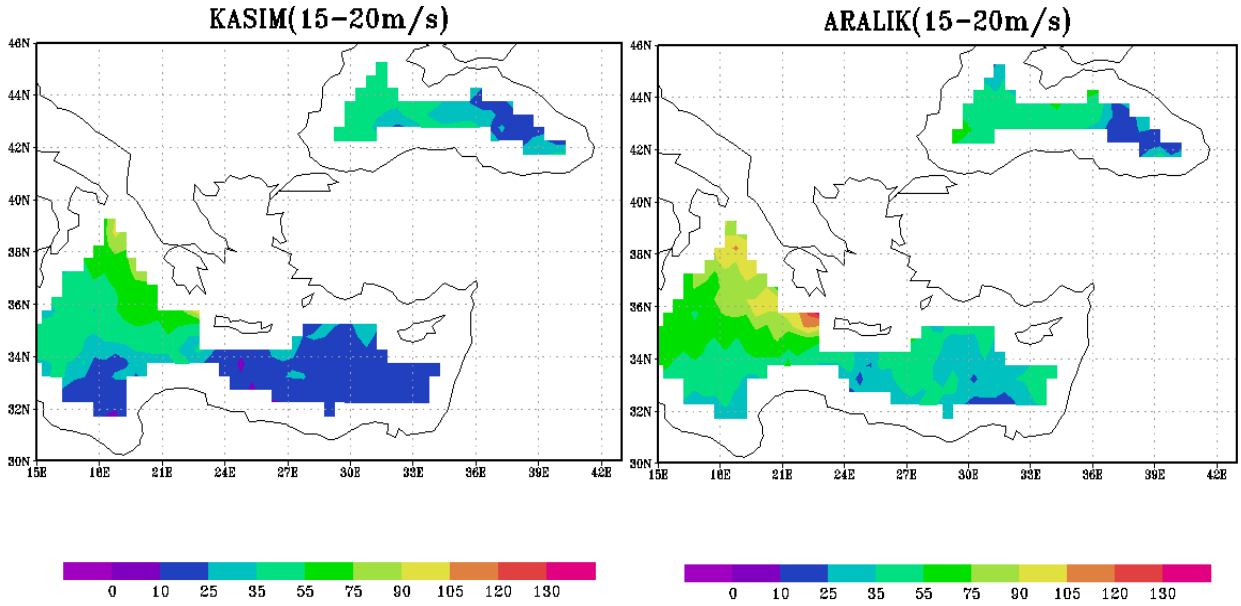
Şekil 3.9: Mayıs ve Haziran aylarında ki 15-20m/s aralığında rüzgâr sıklığı



Şekil 3.10: Temmuz ve ağustos aylarında ki 15-20m/s aralığında rüzgâr sıklığı



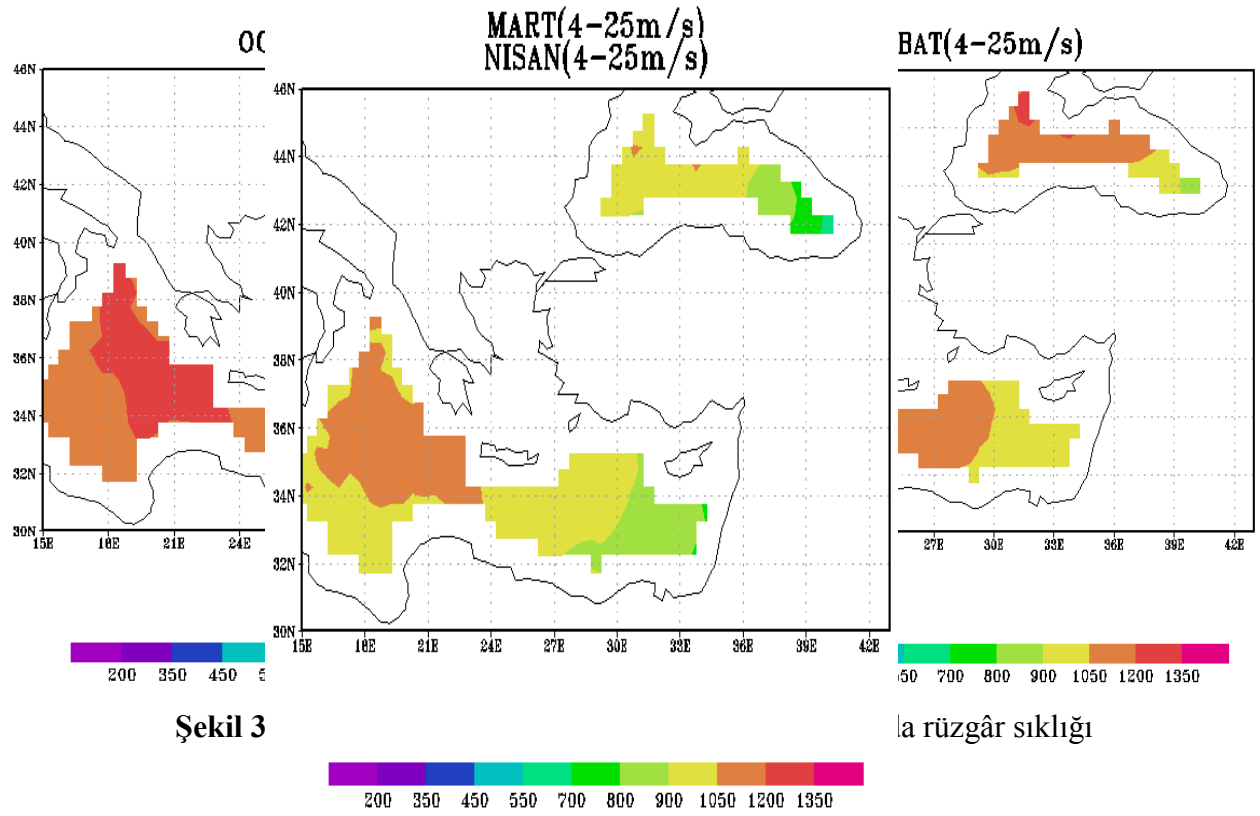
Şekil 3.11: Eylül ve ekim aylarında ki 15-20m/s aralığında rüzgâr sıklığı



Şekil 3.12: Kasım ve aralık aylarında ki 15-20m/s aralığında rüzgâr sıklığı

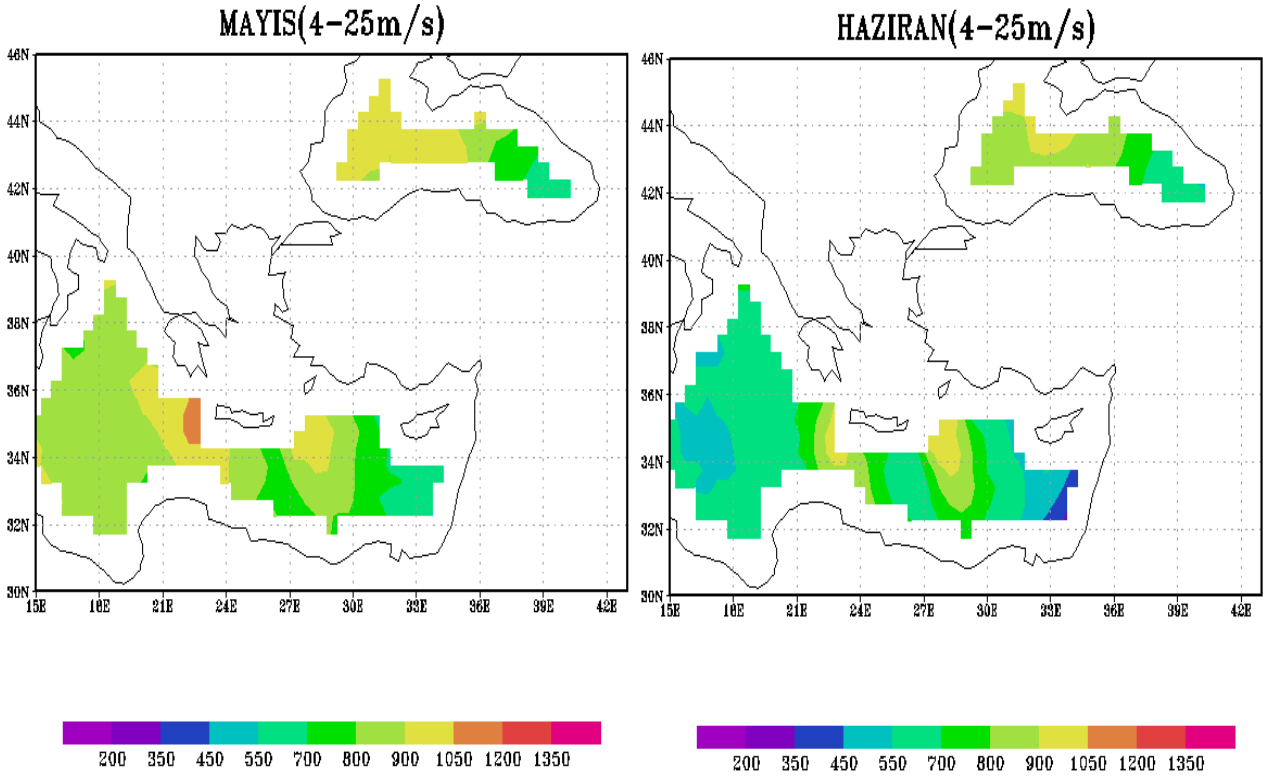
3.1.3. 4-25 m/s Aralığının İncelenmesi

4-25m/s aralığı çalışmada, kullanılan türbinin operasyonel çalışma aralığı olduğu için bu aralığın incelenmesi çalışmanın seyri açısından önem arz etmektedir. İncelenen diğer rüzgâr aralıklarında olduğu gibi Kasım – Mart arasındaki esme sayısı belirgin bir şekilde diğer aylara göre daha fazladır (Şekil 3.13 ve 3.18). Fakat diğer rüzgâr hızı aralıklarına kıyasla bu rüzgâr aralığında Akdeniz ve Karadeniz arasında aşırı belirgin farklılıklar bulunmamaktadır.

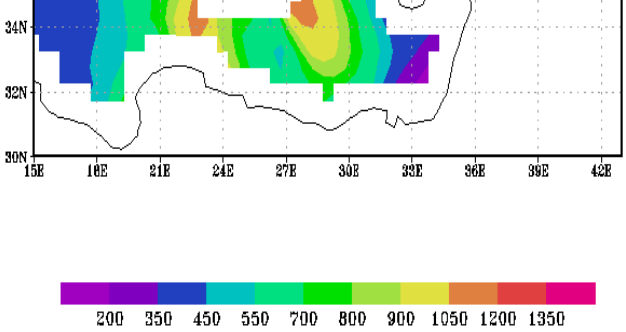


Şekil 3 la rüzgâr sıklığı

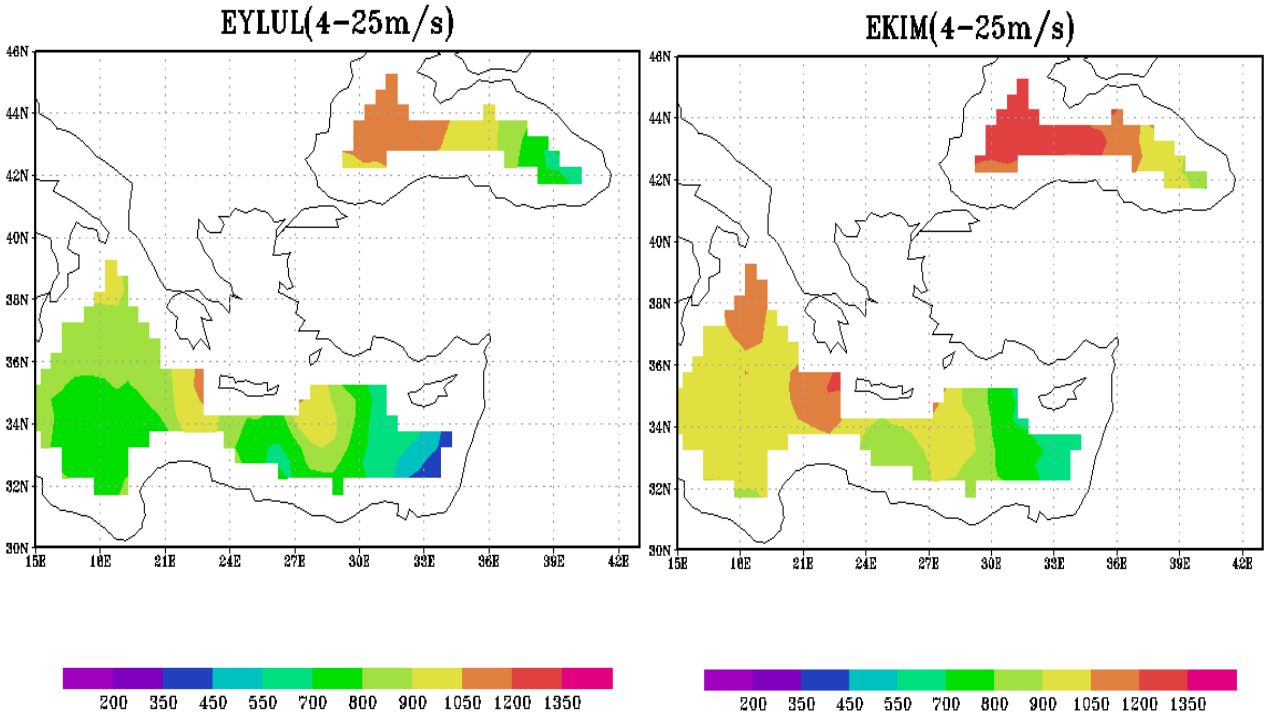
Şekil 3.14: Mart ve nisan aylarında ki 4-25m/s aralığında rüzgâr sıklığı



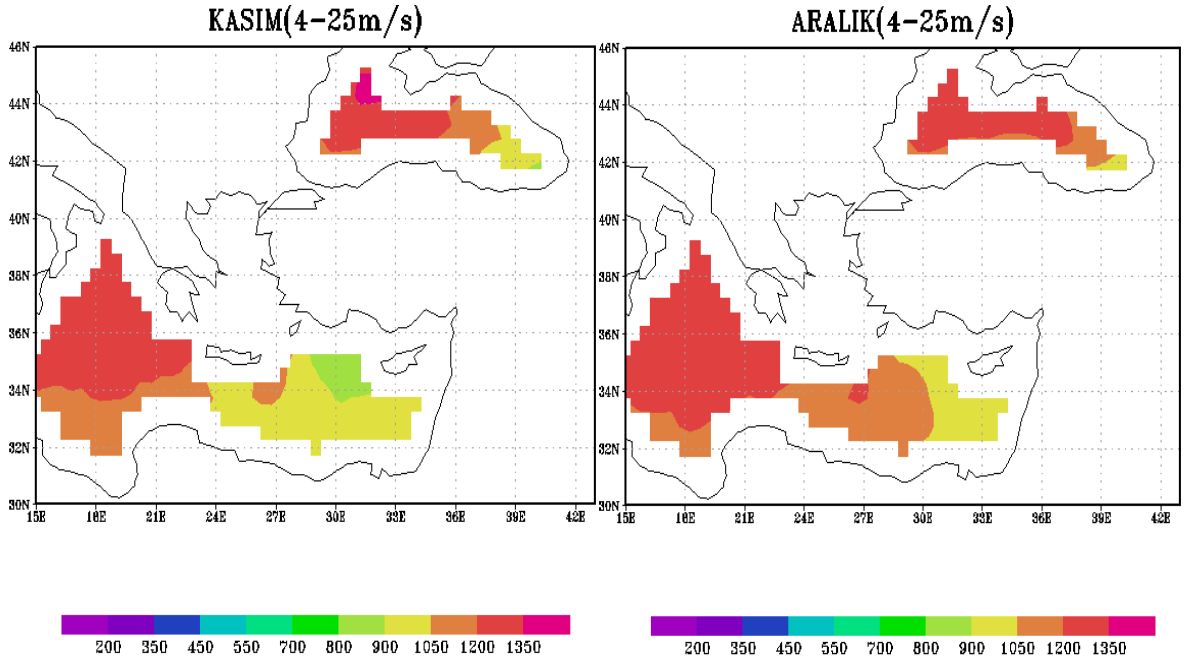
Şekil 3.15: Mayıs ve haziran aylarında ki 4-25m/s aralığında rüzgâr sıklığı



Şekil 3.16: Temmuz ve ağustos aylarında ki 4-25m/s aralığında rüzgâr sıklığı

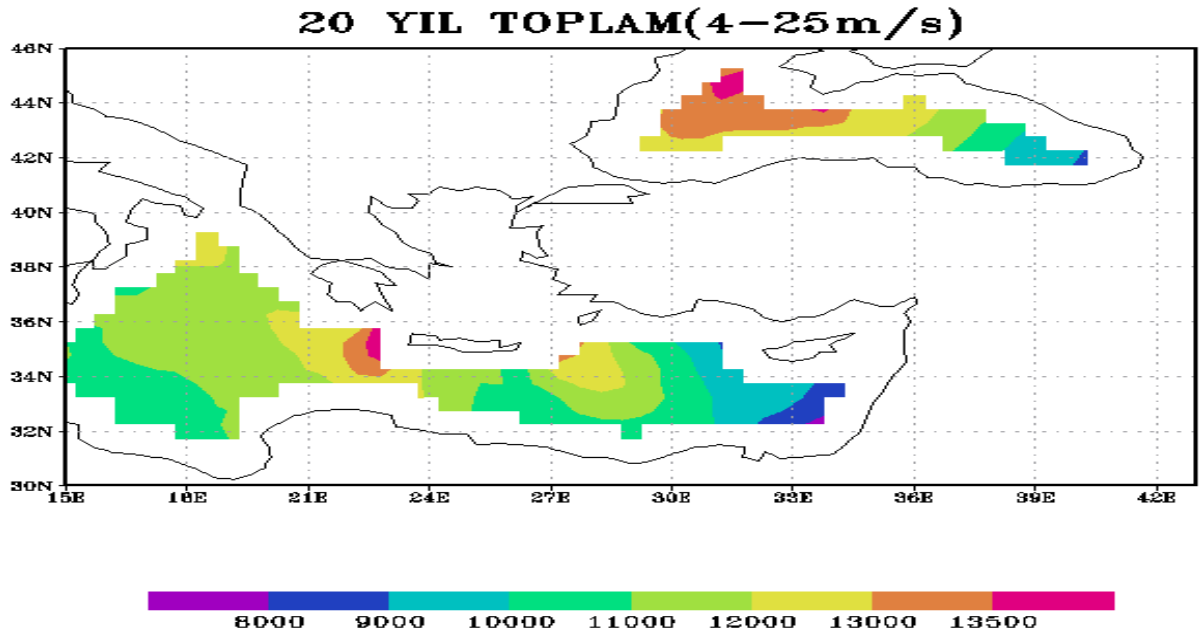


Şekil 5.17: Eylül ve ekim aylarında ki 4-25m/s aralığında rüzgâr sıklığı



Şekil 3.18: Kasım ve aralık aylarında ki 4-25m/s aralığında rüzgâr sıklığı

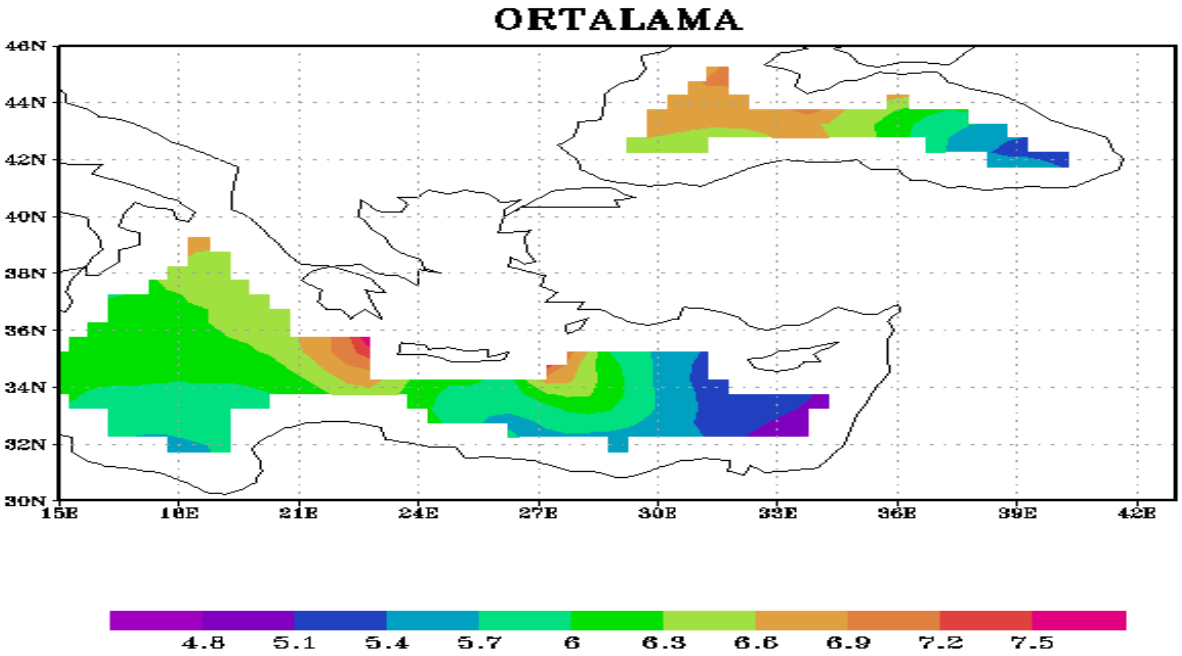
Şekil 3.19 20 yıl boyunca 6 saatte bir uydudan elde edilen anlık değerlerin ortalamasını ifade etmektedir. Bu grafiğe göre, türbinin çalışma aralığı olan 4-25 m/saralığında en çok esme alanına Batı Karadeniz sahiptir. Akdeniz'de ise Girit Adası'nın batısı ve doğusu bu süre içindeki en fazla esme sürelerini içermektedir.



Şekil 3.19: 20 Yıl boyunca gözlenen toplam 4-25m/s aralığında esen rüzgâr miktarı

3.1.4. Bütün Yılların Ortalaması

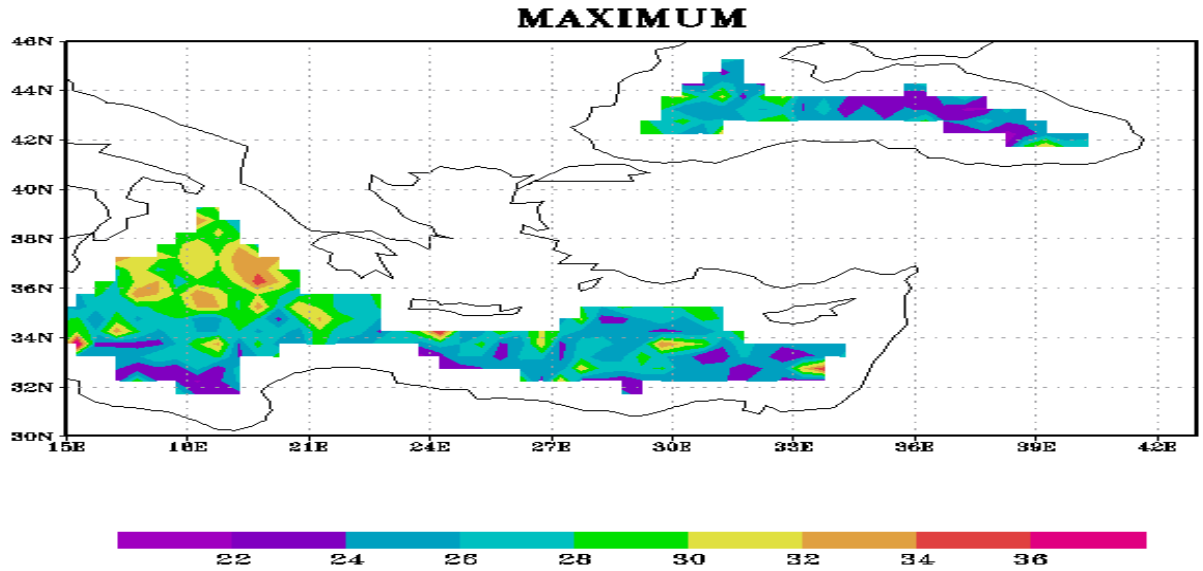
Şekil 3.20'ten görüldüğü üzere, ortalama rüzgâr hızında Karadeniz'deki 30º - 35ºD – 42º - 46ºK bölgesi 6,6 m/s - 7,2 m/sn aralığında rüzgâra sahipken, Akdeniz üzerinde ise 21º - 24 ºD ve 34 º - 36 ºK ve 27º - 28 ºD ve 34 º - 36 ºK bölgeleri (Girit Adası'nın batısı ve doğusu) 7 – 7,5 m/s'lik rüzgâr hızı ile en verimli olabilecek alanlar olarak gözükmektedir.



Şekil 3.20: 1987'den 2008'e kadar tüm yılların ortalaması

3.1.6. Ölçülen Maksimum Değerler

Şekil 3.21 çalışılan alanda 20 yılda görülen maksimum rüzgâr değerlerini göstermektedir. Bu şekle göre, en yüksek değerler (30 – 36 m/s), beklendiği üzere İtalya – Yunanistan arasında kalan bölgededir. Karadeniz üzerinde ise 24 – 30 m/s'lik maksimum rüzgâr değerleri Batı Karadeniz'de görülmektedir.



Şekil 3.21: 1987'den 2008'e kadar gözlenen maksimum değerler

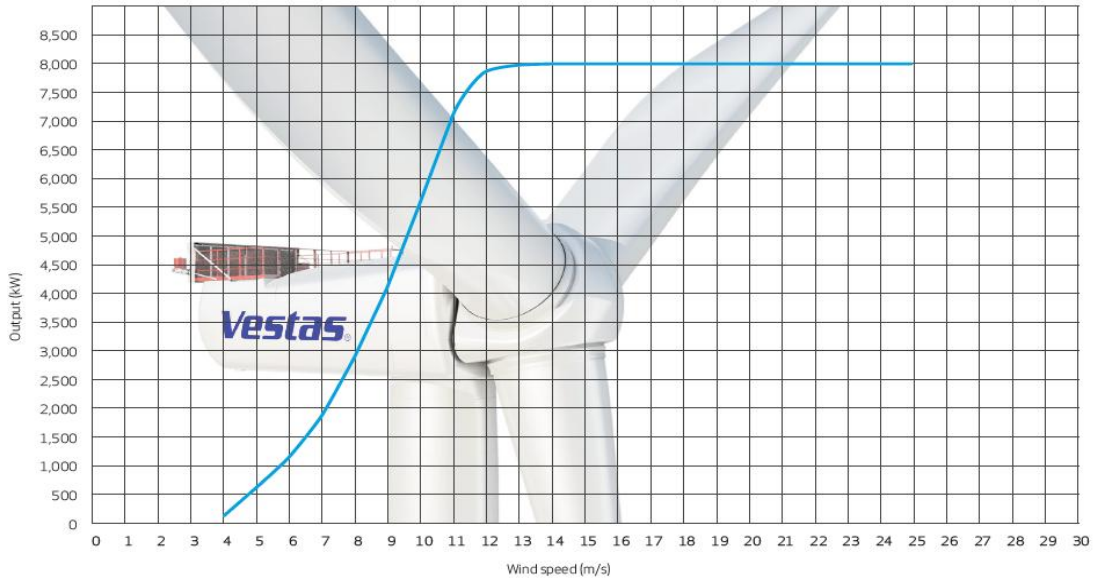
3.2. Çalışmada Kullanılan Türbin

Vestas şirketi 1990 yılından bu yana tüm dünya genelinde toplam kapasitesi 1457 MW olan 597 adet offshore türibini kurulumu gerçekleştirmiştir. Türbinler ağırlıklı olarak İngiltere, Danimarka ve Hollanda gibi açık okyanuslara kıyısı olan Avrupa ülkelerine kurulmuştur. Bu çalışmada Vestas şirketi tarafından tasarlanan üç kanatlı "V164-8MW" model adı verilen türbini kullanacağız. Emsallerine göre oldukça büyük olan bu türbin modeli endüstriyel boyutta ilk defa bu Ocak 2014 ortalarında kullanılmaya başlanmıştır. Vestas şirketi bu modeli tasarlarken daha çok yüksek rüzgâr hızlarına sahip alanlarda kullanılmasını amaçlamıştır.



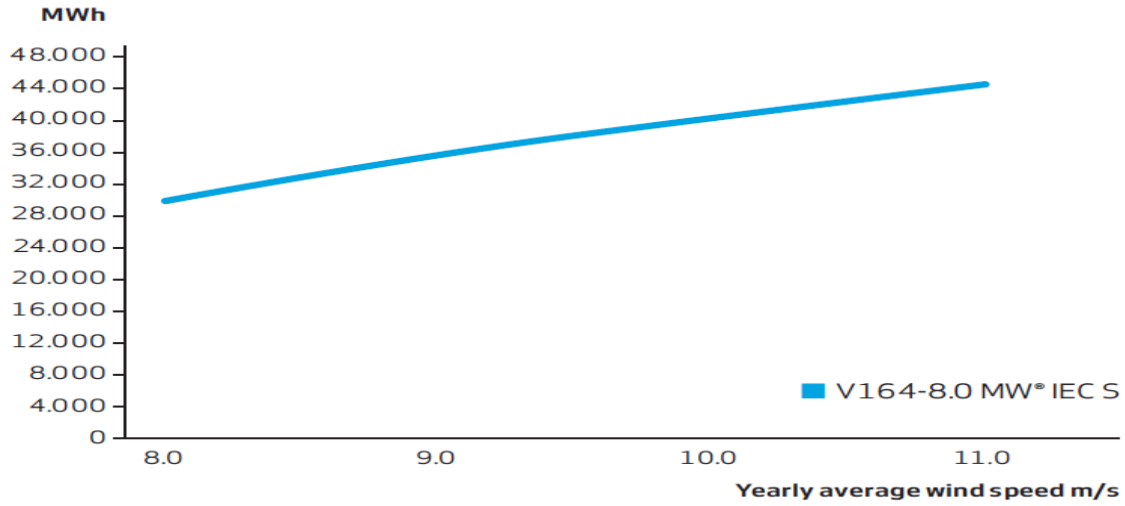
Şekil 3.23: Vestas V164-8MW rotor kısmı

Rotor çapı 164 metre olup, taradığı alan 21,124 m²'dir. Vestas şirketi, yüksek rüzgâr hızı için tasarladığı bu model için kanat uzunluğunu da buna uygun olarak 80m'lik uzun bir kanat imal etmiştir. Toplam yüksekliği 220 m'dir. 8,000 KW'lık güç üretebilen bu türbin -15°C ila +35°C aralığında operasyonel durumda kalabilmektedir. Cut-in diye tabir edilen türbinlerin çalışmaya başlaması için gerekli olan minimum rüzgâr hızı 4 m/s'dir. Cut-off adı verilen ve türbinlerin çalışma güvenliği için maksimum rüzgâr hızı ise 25 m/s'dir. Şekil 3.24'deki güç eğrisinden de görüleceği üzere türbin için optimum rüzgar hızı 14 m/s'dir. [6]



Şekil 3.24: Vestas V164-8MW için güç eğrisi grafiği

8 m/s ile 11m/s rüzgâr hızı referans aralığında yukarıda ki grafik ışığında ortalama olarak beklenen yıllık enerji üretimi ise şekil 3.25'deki grafikte verilmektedir.



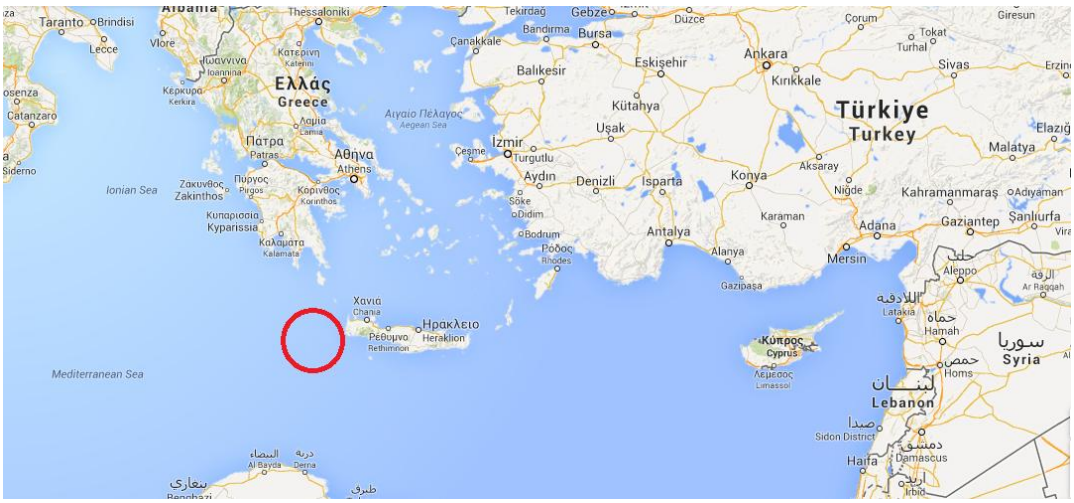
Şekil 3.25: Yıllık Enerji Üretimi

3.3. Girit Adası Uygulaması

Rüzgâr enerjisi kullanarak elektrik üretiminin geleceği denizde yatmaktadır. Daha yüksek rüzgâr hızlarının olması ve rüzgâr koşullarının daimiliği sebebiyle denizde karaya oranla çok daha fazla

enerji üretilebilmektedir. Buna nazaran deniz üzerine kurulan bu türbinler karaya kurulan türbinlere göre, kurulum aşaması ve türbinlerde kullanılan malzeme sebebiyle daha masraflıdır. Sürekli olarak korozyona maruz kalan bu türbinlerde kullanılan malzemeler, karalarda kullanılan emsallerine kıyasla çok daha dayanıklı ve dolayısıyla maliyetli olmaktadır. Off-shore rüzgâr türbinleri temel sistemleri dalga ve rüzgâr yüklerinden oluşan ağır tekrarlı yüklere maruz kalırlar. Bu nedenle çok daha kapsamlı ve kuvvetli bir iskelet üzerine oturtulmalıdır. Tabi bu durum kurulum masraflarını arttırmaktadır. Bu nedenlerden ötürü off-shore rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulumundan önce kurulumun yapılacağı bölgenin rüzgâr verilerinin çok iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Yatırım maliyeti sebebiyle bu denli büyük projeler de hata payı neredeyse hiç yoktur.

Analiz edilen veriler neticesinde incelenen bölgede off-shore rüzgâr türbinleri için en uygun alan Yunanistan'a bağlı Girit adasının batı ve güney batı açıklarıdır. Bu bölge 34°N-36°N kuzey enlemleri ve 21°E-24°E doğu boylamları arasında yer almaktadır. Şekil 3.26'de bu bölgeyi harita üzerinde görmek mümkündür. Kırmızı yuvarlak içine alınmış bölge kurulabilecek olası bir off-shore rüzgâr enerjisi santrali için incelenen alanda ki en iyi mevkidir.



Şekil 3.26: Off-shore rüzgâr enerjisi santrali kurulumu için ne uygun bölge (Google Maps)

Bu analizi yaparken kullanılarak türbin için optimum rüzgar hızlarının yanında bölgede esen maksimum rüzgar hızlarının da incelenmesinin önemi büyüktür. Bunun önemli sebeplerinden biri türbinin rüzgâr hızının belirli bir değeri aştığı anda kendi güvenliği için cut-off dediğimiz

prosedürü uygulayarak kendini kapatmasıdır. Ayrıca aşırı yüksek rüzgâr hızların türbinlerin yıkılmasına varan zararlar vereceği düşünülürse aşırı yüksek rüzgâr hızlarının sürekli görüldüğü yerler bu santral için uygun olmaktan çıkar. Neyse ki bu tür rüzgârlar genellikle okyanus bölgelerinde görülmektedir. Vestas V164-8MW için cut-off rüzgâr hızı 25m/s dir. Yani türbinimiz 25m/s'den daha hızlı bir rüzgâr hızında kendini işletmeye kapatır. Bizim seçtiğimiz bölgede 1987'den 2008'e kadar gözlenen en yüksek rüzgâr değeri elimizde ki verilere göre 30m/s den yukarı çıkmamıştır. İncelenen bu bölgede, ele aldığımız tarihler aralığında rüzgâr hızının yıllık ortalaması 7.5m/s'dir. Bu değer 10m yükseklikte ki rüzgâr hızıdır. Doğru sonuç elde etmemiz için 10m'de ki rüzgâr değerini, kullandığımız türbinin direk yüksekliği olan 140m mertebesine modellememiz gerekmektedir. Denklem 1'den yapılan hesaplama neticesinde bu yükseklikte rüzgâr hızı 9,33m/s bulunmuştur. (z_0=0.0002 alınmıştır)

$$v_2 = v_1 \frac{\ln\left(\frac{h_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{z_0}\right)} \qquad 1$$

Bu ortalamayı kullanarak kurulumu planlanan türbinin güç eğrisine bakarak bir saatte elde edebilecek elektrik gücünü kabaca hesaplanabilir. Tek bir türbin için yaklaşık 36,000 MWs'lik bir güç eldesi mümkündür. Bu değer teorik bir bulgudan ibaret olsa da pratik için bize ipuçları sağlamaktadır. Girit adasının nüfusu 2005 itibariyle 650,000'dir. Adadaki kişi başı elektrik tüketimi 2,500 kWs, yani dünya ortalaması ile aynı kabul edilirse, adanın yıllık elektrik ihtiyacı 1,625,000MWs olur. Bu değerler ışığında, belirlenen bu türbinden 45 adedini içeren bir santral Girit adasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada EUMETSAT'ın CM-SAF merkezinde elde edilen denizler üzerindeki 10 m rüzgâr verilerinin değerlendirilmesi sonucu aşağıdaki sonuç ve önerilere varılmıştır [8].

1) 10-15 m/s ve 15-20 m/s rüzgâr hızı aralıkları incelendiğinde yaz aylarındaki esme sayıları Akdeniz üzerinde önemli derecede azalmaktadır. Karadeniz üzerindeki esme değerleri Akdeniz'den daha fazla görülmektedir. Fakat 4-25m/s rüzgâr aralığı incelendiğinde iki bölge arasında görülen net farklılıkların ortadan kalktığı görülmektedir.
2) 1987 – 2008 dönemini kapsayan tüm anlık değerlerin ortalamasının bulunması neticesinde Akdeniz'de özellikle Girit Adası civarı rüzgâr enerjisi eldesinde verimli bir alan olarak gözükmektedir. Karadeniz üzerinde ise Batı Karadeniz en verimli alandır.

3) Elde edilen bu bulgular neticesinde Girit civarına kurulacak bir enerji santrali ile bu adanın elektrik ihtiyacı karşılanabilmektedir.
4) Karadeniz'deki rüzgâr enerjisi potansiyelini kullanabilmek için Karadeniz'e kıyısı bulunan ülkeler bir araya gelerek özellikle Batı Karadeniz'e rüzgâr enerjisi santralleri kurabilirler. Bu senaryo üzerine Girit Adası için yapılan hesaplama bir sonraki çalışmada Karadeniz için de yapılabilir.
5) Uydu gözlemlerinin günde sadece 4 defa olması nedeniyle bu çalışmadaki analizlerin geliştirilmeye açık olduğu unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

[1] TEKE, O., 2013. "Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji AR-GE Stratejilerinin Değerlendirilmesi" Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 640, s. 54-62.

[2] YELMEN, B. ve ÇAKIR, M. T., 2011:Yeşil Enerji Kaynakları ve Teknolojileri

[3] DOĞANAY, H.,1991.*Enerji Kaynakları*, Atatürk Üniv. Yay. No:707, Kazım Karabekir Eğitim Fak. Yay. No:18, Ders Kitapları Serisi No:13, ERZURUM.

[4] YEŞİL EKONOMİ (t.y.) : <http://www.yesilekonomi.com/en-buyuk-deniz-ustu-ruzgar-tarlasi-devreye-alindi> alındığı tarih: 31.05.2014

[5] ATBD, 2011: *Algorithm Theoretical Basis Document* <www.cmsaf.eu/bvbw/generator/CMSAF/Content/Publication/atbd__pdf/SAF__CM__DWD__ATBD__HOAPS__1__1,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/SAF_CM_DWD_ATBD_HOAPS_1_1.pdf>

[6] VESTAS (t.y.). <http://www.vestas.com/> alındığı tarih: 27.05.2014

[7] Google Maps (t.y.) < https://www.google.com/maps/@36.4033389,25.3480246,6z> alındığı tarih: 06.06.2014

[8] AY, E. C., 2014, Doğu Akdeniz ve Karadeniz üzerindeki rüzgar enerjisi potansiyelinin uydu verileri ile belirlenmesi ve Girit Adası örneği, Lisans Tezi, İTÜ, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü.

TÜRKİYE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİNİN UYDU VERİLERİ YARDIMIYLA BELİRLENMESİ

Atagün Unan

Meteoroloji Mühendisliği Bölümü

İstanbul Teknik Üniversitesi

İstanbul

atagununan@gmail.com

Ahmet Öztopal

Meteoroloji Mühendisliği Bölümü

İstanbul Teknik Üniversitesi

İstanbul

oztopal@itu.edu.tr

ÖZET

Günümüz dünyası, teknoloji alanındaki yeni buluşların getirdiği gereklilikler doğrultusunda her yıl daha fazla enerjiye ihtiyaç duyuyor. Yaygın olarak günümüzde kullanılan kısıtlı enerji kaynakları ve bunların küresel iklim değişikliğine olan etkileri dünyanın geleceğini tehdit eden unsurlar olarak göze çarpıyor. Bu açıdan bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr, güneş, dalga ve jeotermal enerji gibi yeni enerji kaynakları, dünyanın enerji tüketimi için kalıcı bir çözüm olma özelliği taşıyor. Güneş enerjisi bu kaynaklar içinde daha etkin olabilecek bir konumda bulunuyor. Son 30 yılda, uydular sayesinde yapılan yüzeye gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu ölçümleri gelişmiştir. Diğer bir yandan bu durum Türkiye için çok geçerli değildir. Yer ölçüm istasyonlarının Türkiye gibi geniş bir bölgeye yayılmış bir ülkede yaygın olmaması sağlıklı ölçümlerin yapılmasında sorunlara neden olmaktadır. Bunun bir sonucu olarak güneş radyasyonunun ölçümünde yer gözlemlerinin yanı sıra uydu verilerini kullanmak kaçınılmaz bir duruma dönüşmüştür. Yüzeye gelen güneş radyasyonunun bilimsel ve meteorolojik uygulamalar açısından önemi düşünüldüğünde ve Türkiye'de bulunan güneş ışınımı ölçüm cihazlarındaki süreklilik, kalibrasyon ve doğruluk sorunları göz önüne alındığında mevcut durumun çözümü için bu çalışmanın yapılması hedeflenmiştir. Buradaki amaç, EUMETSAT'ın CM-SAF'ı tarafından MSG uydusu kullanılarak elde edilen günlük güneşlenme miktarı verilerinden Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini belirlemektir. Ayrıca GEPA tarafından oluşturulan Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini gösteren harita ile uydu verilerinin kullanımıyla elde edilen harita karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ileride kurulacak

güneş santralleri ve gelecekte yapılacak yatırımlar için Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini belirlemesi açısından büyük önem arz etmektedir. Kullanılan METEOSAT uydu verileri 1 Ocak 1983'ten 31 Aralık 2015'e kadar ki yüzeye gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu değerlerini içermektedir. Alansal çözünürlüğü 0.03x0.03 derece ve zamansal çözünürlük ise günlüktür. Bunlara ek olarak netcdf3 formatındaki ve METEOSAT'tan elde edilen verilerin hesaplamaları CDO programı kullanılarak 22 yıllık aylık ve yıllık olarak yapılmıştır. Daha sonra da yapılan bu hesaplamalar GrADS programı kullanılarak görselleştirilip harita çıktısı haline getirilmiştir. Bu çalışmanın sonucu olarak, gözüken odur ki yüzeye gelen kısa dalga boylu radyasyon açısından GEPA tarafından yapılan yer ölçümlerinin kullanıldığı harita ile uydu tabanlı verilerin kullanılmasıyla GrADS sonucu elde edilen harita arasında ciddi farklılıklar vardır. Bu yüzden uydu tabanlı haritalar, ileride kurulacak güneş enerjisi santrallerinin yer analizinde ve yapılacak yatırımlarda ilk olarak tercih edilmelidir. Son olarak bu çalışma, Türkiye'de ki enerji üretimi için güneş enerjisi kullanacak güneş enerjisi santralleri için uygun bölgeleri belirlemeyi de amaçlamıştır.

Anahtar Kelimeler — uydu; Türkiye; güneş; enerji.

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında, enerji talebinin artmasının bir sonucu olarak yenilenebilir enerji kaynakları büyük önem kazanmıştır. Enerji kaynaklarının azalması ve bu kaynaklara olan ilgi dünya atmosferi ve çevresinde çeşitli fiziksel değişikliklere yol açmıştır. Her geçen gün insanlar iklim değişikliğinin, sınırlı fosil kaynakların ve sera gazları salınımının daha çok farkına varmaya başlamıştır. Bu durum göze alındığında, yakın gelecek için yenilenebilir enerji kaynakları en önemli alternatif enerji kaynaklarından biri olarak kendini göstermeye başlamıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, jeotermal, biokütle ve rüzgâr enerjisi ile hidroelektrik olarak kategorize edebilir.

Dünyanın iklimini ve atmosferini etkileyen en önemli faktörün güneş enerjisi olduğu aşikârdır. Her geçen gün vazgeçilmez bir faktör olan güneş enerjisi, iklim değişikliğinin insan yaşamında olan etkisinin artmasının bir sonucu olarak daha fazla incelenen önemli bir konu olmuştur. Bu amaçla, dünyanın yüzeyine ulaşan güneş enerjisi miktarının belirlenmesi çok önemlidir.

Güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için yapılan meteorolojik gözlemler işgücünün yanında önemli miktarda ekonomik yatırımlar da gerektirmektedir. Ölçüm aletlerinin fiyatı, sürekliliğin olmaması, tecrübeli personel sayısının yetersizliği ve verilerin depolanması ile iletilmesi gibi problemler ve aletlerin ayarlanmasında oluşan sorunlar gözlem istasyonlarının kurulmasını ve işletilmesini olumsuz etkilemektedir. Yüzey gözlemlerinde meydana gelen bu sorunlar, güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için güneş radyasyon tahmini modellemesi çalışmalarına hareket kazandırmıştır. Daha önceleri sadece yer istasyonlarından alınan verilerle yapılan modelleme çalışmaları, uydu teknolojisinin gelişmesinin ardından herhangi bir yer verisine ihtiyaç duyulmadan uydu görüntüleri kullanılarak yapılmaya başlanmıştır. Buna ek olarak, uyduların sahip olduğu bir başka avantaj daha vardır. Uydular okyanus, çöl, dağlık alanlar ve Kutup Bölgeleri gibi yer gözlem istasyonları için uygun yerin olmadığı geniş alanlardan meteorolojik verinin elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, uydu teknolojisini kullanarak Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini belirlemektir. Bu açıdan uydular, enerji ve güneş enerjisi kullanımı hakkında bilgi verilmiştir. Türkiye'de güneş enerjisi kullanımı çok gelişmiş değildir. Bu çalışma, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin ortaya çıkarılması ve güneş enerjisinin verimli olarak kullanılması için uygun olan bölgeleri belirlemekte yararlı olabilir. Böylece enerji kaynakları sorunu çözülebilir ve yenilenebilir

enerji günümüz enerji kaynakları yerine bir çözüm olabilir. Ayrıca, uydu verilerinin önemi bu belirleme sürecinde göz ardı edilemez.

Bilinen bir gerçektir ki eğer yüzeye gelen güneş radyasyonu sadece bir saatliğine depolanabilseydi, tüm dünyanın bir yıllık enerji ihtiyacı karşılanabilirdi. Diğer bir açıdan, günümüz teknoloji sistemleri bu depolama kapasitesine sahip değildir. Bu yüzden gelen enerjinin çok az bir miktarı kullanılabiliniyor. Dünyanın temiz ve sınırız enerjiye ulaşması için daha gelişmiş teknolojilere ihtiyaç duyduğu yadsınamaz bir gerçektir.

2. ENERJİ

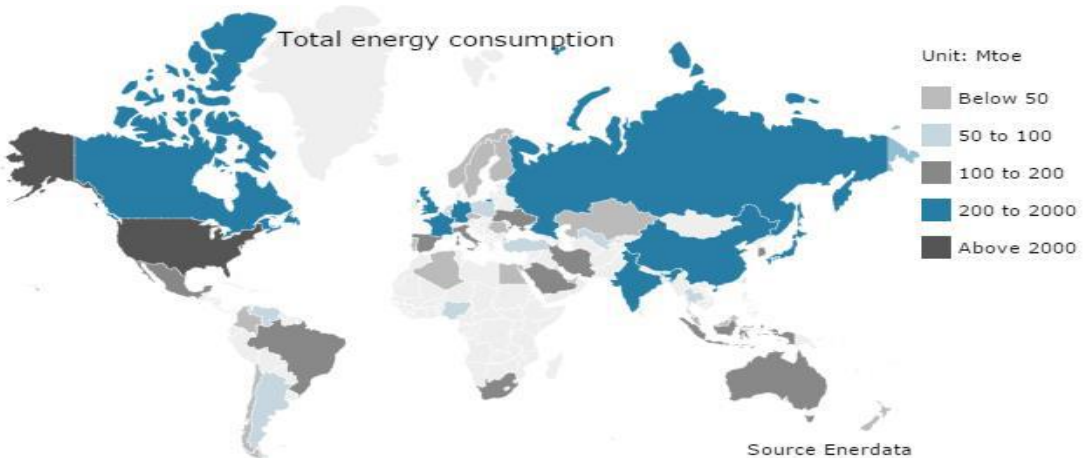
İlk olarak, enerji basit anlamıyla nesnelerinin özelliklerinin bir başka nesneye iletilmesi veya farklı formlara çevrilmesi olarak tanımlanabilir. Enerji yoktan var edilemez ve olan enerjide yok edilemez. "Biomechanics and Biology of Movement" da belirtildiği üzere, enerjinin çeşitli formları yüzünden ayrıntılı bir anlamını vermek zordur. [1] Enerjinin formlarından biri olarak elektrik ve ısı ile enerjinin diğer türleri evlerde, iş yerlerinde ve ulaşımda güç kaynağı olarak kullanılır.

Enerjinin potansiyel, kinetik, mekanik, mekanik dalga, kimyasal, elektrik, manyetik, radyan, nükleer, iyonlaşma, elastik, yer çekimi, termal, ısı ve mekanik iş gibi birçok türü vardır. Temel enerji durumları potansiyel ve kinetik olarak iki şekilde sınıflandırılabilir. Potansiyel enerji depolanan enerjidir, öte yandan kinetik enerji potansiyel enerjisinin boşalarak hareket yaratması durumu ve sonunda işe dönüşmesi halidir. Bu basit tanımlardan sonra asıl çalışmanın da konusunu oluşturan güneş enerjisine giriş yapmadan önce dünya enerji kullanımı ve yenilenebilir enerji hakkındaki bilgilere de değinmek gerekmektedir.

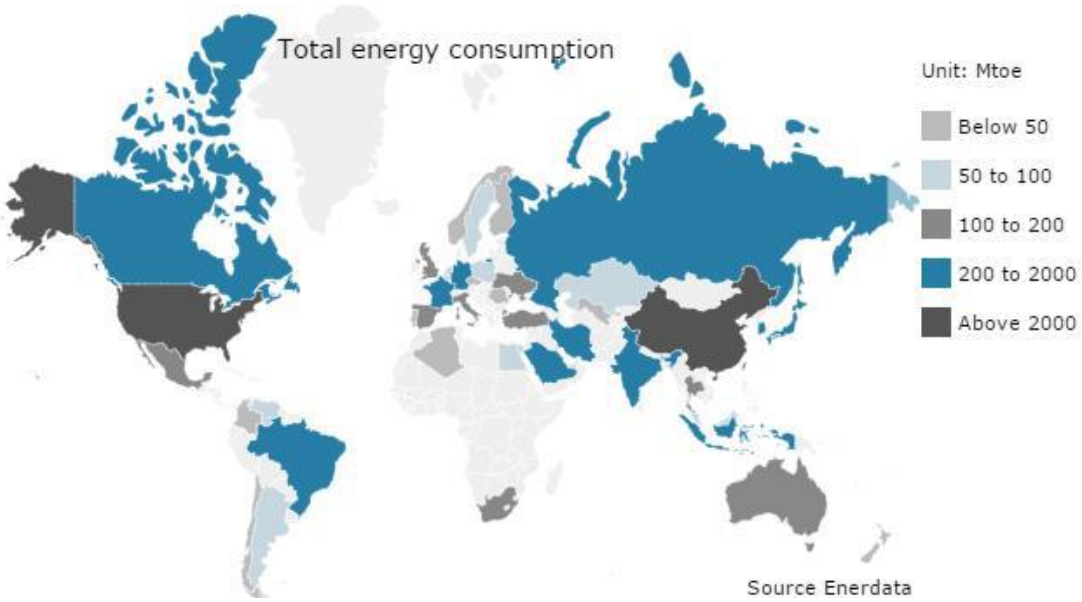
2.1 Dünya Enerji Kullanımı

Dünya fiziksel bir sistem olarak göz önüne alındığın da, açıkça görülmektedir ki yeryüzüne ulaşan enerji ve yeryüzünde ayrılan enerji olarak enerjinin kazancı ve kaybından oluşan bir denge vardır. Bu dengede, gelen ve giden radyasyon miktarının toplamları neredeyse eşittir. Günümüz dünyası düşünüldüğünde enerji talebi her geçen yıl daha fazla olmaktadır. Günümüzde temel enerji kaynağı olan fosil yakıt enerjisi bile gelecekte yeterli olmayacaktır.

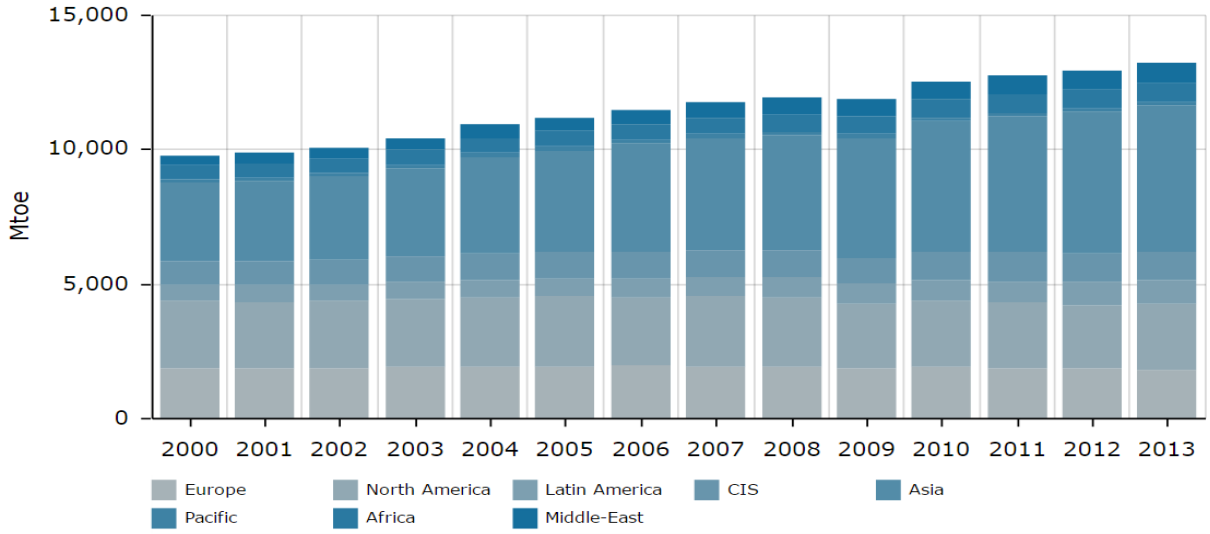
Aşağıda verilen şekiller ve tablolar dünya çapında en fazla ve en az enerji tüketen on ülkeyi ortaya koymaktadır. Şekil 1, 2000 yılında dünya genelinde olan toplam enerji tüketimini göstermektedir. Şekil 2, 2013 yılında olan dünya geneli toplam enerji tüketimini ve Şekil 3 ise 2000 ve 2013 yılları arasın toplam dünya geneli enerji tüketimi istatistiklerini bölgelere göre vermektedir.



Şekil 1: 2000 yılı toplam dünya geneli enerji tüketimi (Enerdata).



Şekil 2: 2013 yılı toplam dünya geneli enerji tüketimi (Enerdata).



Şekil 3: 2000 ve 2013 yılları arası toplam dünya geneli enerji tüketimi istatistikleri (Enerdata).

İlk iki şekilden görüleceği üzere, dünya genelinde ki toplam enerji tüketimi 2000 yılında 2013 yılına gelindiğinde Türkiye, Çin, Brezilya, İsveç vb. ülkelerde artmıştır. Ayrıca, Asya bölgesinde gözlemlenebilir bir artış göze çarpmaktadır. Bu yüzden, dünyadaki kaçınılmaz enerji talebi, enerjiye duyulan ihtiyacın artmasının bir sonucu olarak açık bir şekilde yükselmektedir.

Bunlara ek olarak aşağıda verilen Tablo 1 ve Tablo 2, enerji tüketimi açısından 2013 yılında dünya genelindeki en fazla ve en az kullanımı yapan on ülkeyi göstermektedir.

Tablolarda verilen birim olan "Mtoe" nin İngilizcede ki karşılığı "The megaton of oil equivalent"dır. Bu da 4.1868 x 1016 Joule'e karşılık gelmektedir.

2.2. Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji kendi kendini dolduran güç veya enerji kaynağı olarak tanımlanabilir. Yenilenebilir olmayan enerji kaynakları sınırlıdır. Bu kaynaklar sabit bir miktardaki rezervlere ve tedarik edilmeye bağlıdır. Diğer bir açıdan, yenilenebilir enerji doğasının gereği olarak sınırsız enerji olarak düşünülebilir.

Tablo 1: Dünya çapında enerji tüketimi ki en yüksek olan on ülke (Enerdata).

En Yüksek 10 Ülke	Yıl: 2013 – Birim: Mtoe
Çin	3,013
ABD	2,187
Hindistan	819
Rusya	730
Japonya	455
Almanya	323
Brezilya	293
Güney Kore	267
Kanada	254
Fransa	253

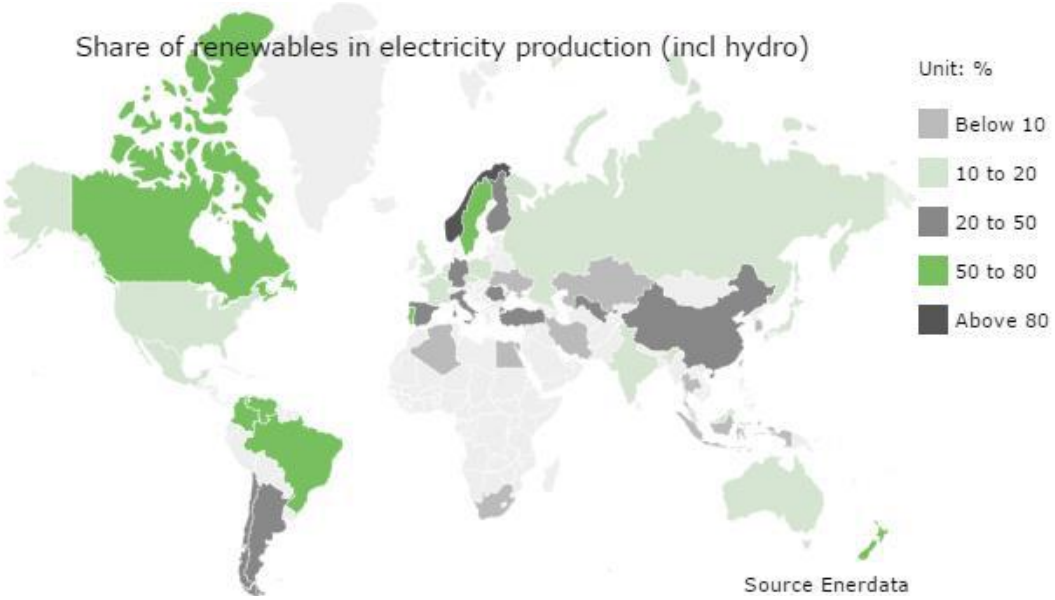
Tablo 2: Dünya çapında enerji tüketimi ki en düşük olan on ülke (Enerdata).

En Düşük 10 Ülke	Yıl: 2013 - Birim: Mtoe
Yeni Zelanda	20
Portekiz	22
Norveç	30
Romanya	31
Finlandiya	33
Colombiya	35
Şili	35
Kuveyt	36
Çek Cumhuriyeti	42
Özbekistan	47

Yenilenebilir enerjinin de birçok formu mevcuttur. Bu enerjilerin çoğu herhangi bir açıdan güneş ışığına bağlıdır. Rüzgâr ve hidroelektrik gücü, havanın yükselip yağış oluşmasına ve havanın hareketine (rüzgâr) sebep olan Dünya yüzeyindeki ısı farkının direk bir sonucudur. Güneş enerjisi, güneş ışığının paneller ve kolektörler kullanılarak direk dönüşümüdür. Biokütle bitkilerde bulunan depolanmış güneş enerjisidir. Diğer güneş ışığına bağlı olmayan yenilenebilir enerjiler, Dünya'yı ivmelendiren orijinal ısı ile birleştirilen kabukta meydana gelen radyoaktif çürümenin sonuç olan jeotermal enerjidir ve bu aynı zamanda yerçekimi enerjisinin bir dönüşümüdür. [2]

Yenilenebilir enerji, yenilenebilir olmayan enerjilerin aksine insanları ve çevreyi olumsuz yönden etkileyen kirleticiler ve toksinler üretmediğinden temiz bir enerji kaynağı olarak söylenebilir. Günümüzün yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının tükenmeye başlaması ve onların zararlı

etkileri göz önüne alındığında, ülkeler kendi enerji kaynaklarını yenilenebilir enerji yönünde değiştirmeye çalışmaktadırlar. Yenilenebilir enerji türlerinde ki çeşitlilik, insanların hayatlarını sürdürmesini sağlar. Şekil 4, 2013 yılında dünya çapında elektrik üretiminde ki yenilenebilir enerjinin paylaşımını göstermektedir.



Şekil 4: 2013 yılında dünya çapında elektrik üretiminde ki yenilenebilir enerjinin paylaşımı (Enerdata).

3. TÜRKİYE'DE VE DÜNYADA GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMI

Bu bölümde; dünyada güneş enerjisinin gelişimi, Türkiye'de yenilenebilir enerjiyi de kapsayan enerji talebi, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ile güneş enerjisinin diğer enerji türleriyle karşılaştırıldığında ki avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuştur.

3.1. Dünyada Güneş Enerjisinin Gelişimi

Dünyada olan enerji krizi, teknolojik gelişmeleri ve güneş enerjisinin geleceğini büyük ölçüde etkilemektedir. Isıtma, aktif ve pasif form olarak yapılan havalandırma, PV (fotoelektrik metotlarıyla güneş enerjisi toplama) veya ısı olarak güneşten elektrik üretimi ve su açısından geleceğin yakıtı olan hidrojen üretimi için güneş enerjisi kullanma konularında Araştırma & Geliştirme ve uygulamalar başlamıştır.

1980 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde, 5.610.000 m^2 güneş ışığı su ısıtıcı toplayan alan vardı. 1950'ler de başlamış güçlü termal sistemlerin işlerinin ürünü olarak 1970'lerin sonlarında güneş termik güç santrali yapılmaya başlanmıştır.

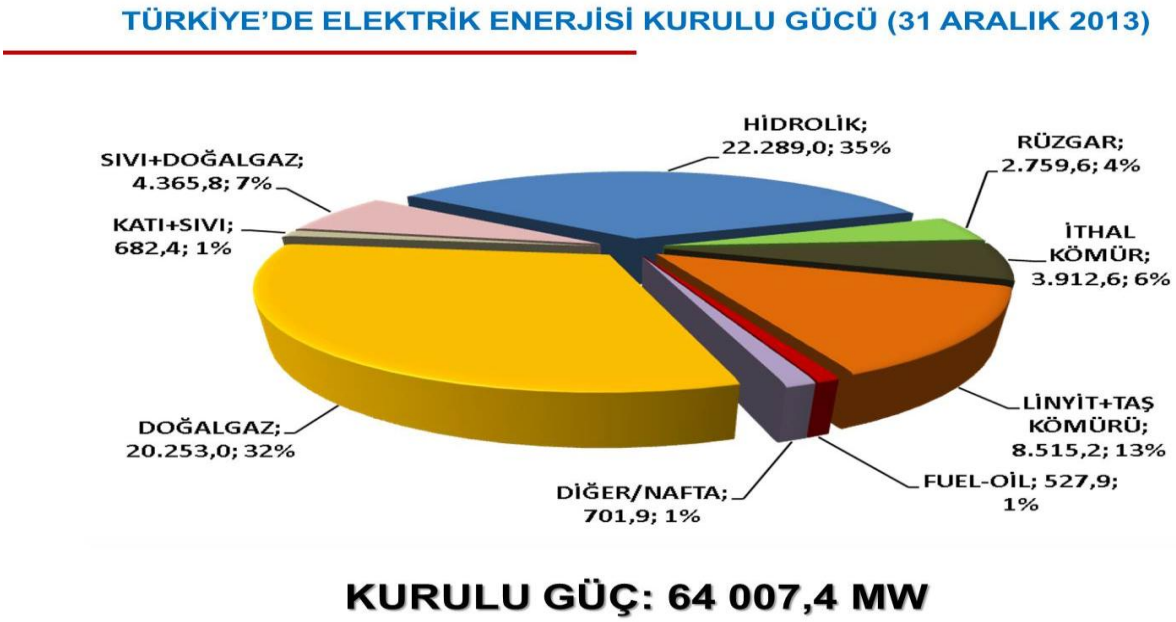
"Solar One" isimli ve 19 megawatt güce sahip solar termik santral ABD'nin Kaliforniya Mojave çölünde yapılan ilk santrallerden biridir. Aynı yıl, "Themis" isimli 2,5 megawatt güce sahip bir güç santrali Fransa'da; "CESA-1" isimli 1,2 megawatt güce sahip bir güç santrali de İspanya'nın Almeria şehrinde inşa edilmeye başlanmıştı.

1980'lere gelindiğinde, fotoelektrik güneş enerjisi santralleri, su pompalarının işletilmesi ve haberleşme sistemlerinin güç kaynağı olmasının yanı sıra evlerin elektrik ihtiyaçları için kullanılıyordu. 1981 yılında "Solar Challenger" isimli ve fotoelektrik bataryalardan elektrik enerjisi üretimi ile yürütülen iki pervaneli güneş paneli Manş Denizi'ni geçmişti. Bundan sonraki yıllarda ise bu tarz bataryalar özel arabaların işletilmesi için kullanıldı.

Fotoelektrik santrali 1982 yılında elektrik üretmek amacıyla Kaliforniya'da inşa edildi. Bundan sonra ki fotoelektrik santral San Francisco çizgisinin ortasında inşa edildi. Dünya enerji konseyinin 1992'de ki raporuna göre; Almanya, Avustralya, Burundi, Çin, Fransa, Gana, İspanya, Japonya, Meksika ve Norveç fotoelektrik kurulu gücü olan ülkelerdi. [3]

3.2. Türkiye'de Enerji Talebi

Türkiye enerji ihtiyaçlarını büyük ölçüde termik güç santrallerinden, kömürden, linyitten, doğal gazdan, petrol yakıtından, jeotermal enerjiden ve hidroelektrik santrallerinden üretilen elektrikten karşılamaktadır. Linyit, Türkiye'de enerji üretiminin ana kaynağıdır. Aşağıda verilen Şekil 5, Türkiye'de elektrik kapasitesini göstermektedir.



Şekil 5: Türkiye'de elektrik kapasitesi (TEİAŞ).

Yukarıdaki şekilden de görüleceği üzere Türkiye çeşitli enerji kaynaklarına sahiptir. Yıllık elektrik üretimi yaklaşık olarak 179,5 kWh (kilowatt saat)'dır. [4] Türkiye'nin toplam son tüketimi, son üç yılda ortalama yıllık 9,6% oranında büyüdü. Bu ortalama yıllık büyüme oranı 1999 ve 2005 yılları arası 10,6%, 2005 ve 2010 yılları arası 5,4%, 2010 ve 2020 yılları arası 7,0% olarak yansıtılır. Demirbaş'a göre, Türkiye'nin kurulu elektrik gücü kapasitesi 2010 da 2 katı ve 2020 de ise 4 misli artmak zorundadır. [5] Aşağıda verilen tablo 3, Türkiye'nin kaynaklara göre son enerji tüketimini vermektedir.

Türkiye'nin elektrik gücü talebi sürekli olarak artmaktadır. Geçtiğimiz 40 yılda yıllık ortalama 11% büyümüştür. Devlet tarafından yapılan öngörüler gelecek 15 yılda yıllık 8% lik büyümeyi göstermektedir. Şekil 6 Türkiye'nin yıllık enerji tüketimini göstermektedir.

2012 yılıyla kıyaslandığında, Türkiye'de elektrik tüketimi 1,3% yükselerek 245K GWh seviyesine gelmiştir. En yüksek enerji tüketimi ürün kullanımının hafiflemesinden dolayı Temmuz ayında 22K GWh olarak ortaya çıkmıştır. [4]

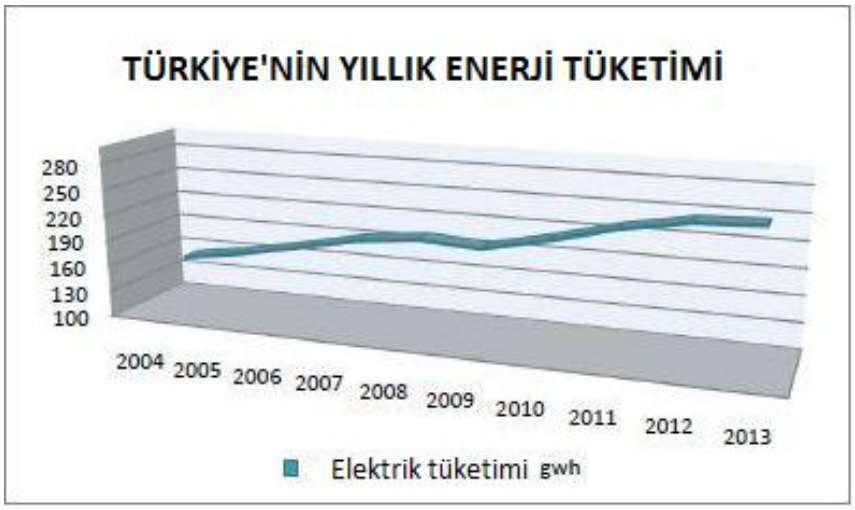
3.2.1. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji

Türkiye önemli bir miktarda yenilenebilir enerji potansiyeline sahip bir ülke ve bundan yararlanma oranları artıyor. Hidroelektrik, rüzgâr ve güneş enerjisi kaynakları Türkiye'nin yenilenebilir

portföyün de temel yeri almaktadır. Biokütle ve jeotermal enerji kaynakları da buna dâhildir. Akat'a göre; Türkiye en azından 160.000 GWh/a. ekonomik hidroelektriğe, 48.000 MW rüzgâr kapasitesine, ortalama güneş radyasyonun 1.500 kWh/m^2-yıl'ne, 31.500 MWt jeotermal kapasitesine, 8,6 Mtoe biokütleye ve 1,5-2 biyogaza sahiptir. [6]

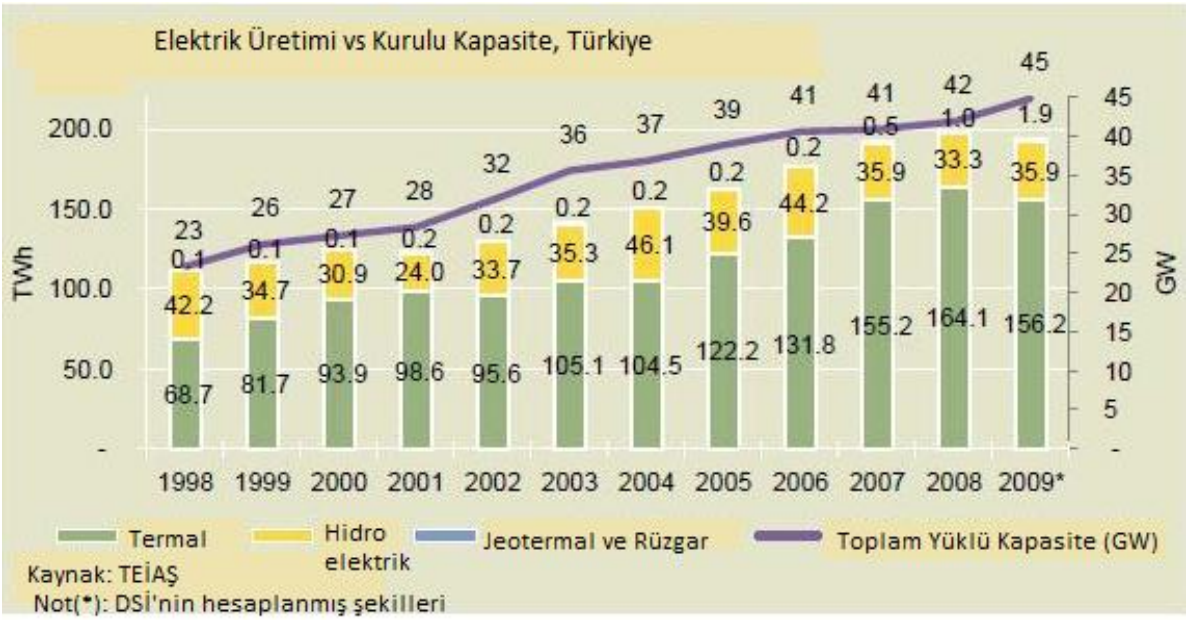
Tablo 3: Türkiye'nin kaynaklara göre son enerji tüketimi (Erdem, 2010, p. 39).

	2000	2005	2010	2020
Maden Kömürü (kton)	7.066	15.405	30.123	93.535
Linyit (kton)	10.600	15.837	16.012	16.562
Petrol (kton)	29.955	37.150	43.243	60.994
Asfaltit (kton)	35	100	100	100
Doğal Gaz (mcm)	6.532	15.903	19.812	25.450
Elektrik (GWh)	100.453	174.304	250.342	483.462
Jeotermal Isı (ktoe)	100	1.303	2.877	6.269
Güneş (ktoe)	129	759	1.312	2.756
Odun (kton)	16.983	13.819	11.275	10.250
Gübre (kton)	5.981	5.127	4.493	3.696
İkincil Kömür (kton)	2.032	6.366	9.143	19.889
Toplam Son Tüketim (ktoe)	62.244	92.926	122.685	217.103
Büyüme oranları (%)		8,3	5,7	5,9



Şekil 6: Türkiye'nin yıllık enerji tüketimi (TEİAŞ).

Türkiye'de yenilenebilir enerji pazarı hala başlangıç aşamasındadır. Elektrik üretimi kapasitesinin çoğu hala termik santrallerden gelmektedir (2008 yılı itibariyle toplam kurulu kapasitenin yüzde 66'sı). 2008 yılının sonu itibariyle hidroelektrik santralleri 33%'lük bir katkı sağlarken, geri kalan 1%'lik kısım jeotermal (0.1%) ve rüzgâr enerjisi (0.9%) kaynaklarından sağlanmaktaydı. [7] Şekil 7 Türkiye'de elektrik üretimiyle ile kurulu kapasite arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 7: Elektrik üretimi vs. kurulu kapasite, Türkiye (TEİAŞ).

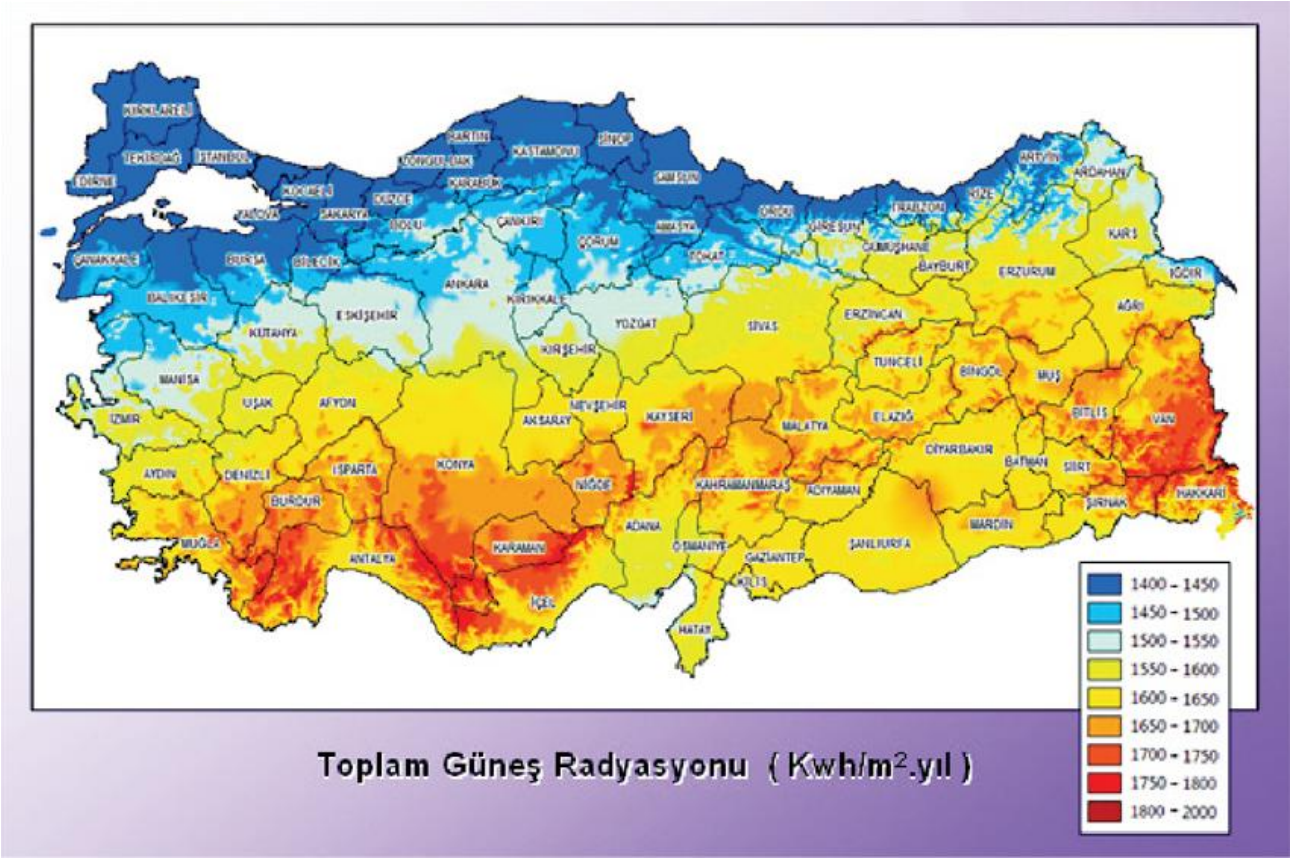
Türkiye'de ki güç pazarında olan liberalleşme ve yenilenebilir enerji kısıtlamalarında olan değişiklikler gibi yeni gelişmeler yenilenebilir enerji kaynaklarında gelişmeye ve spekülasyon fırsatlara giriş yolu açmıştır.

Türkiye 2023 yılına kadar yenilebilir enerji kaynaklarından toplam kurulu kapasitesini 30% geliştirme sözü verdi. Bu görev için 34 GW hidroelektrik, 20 GW rüzgâr enerjisi, 5 GW güneş enerjisi, 1 GW jeotermal enerji ve 1 GW biokütle eklenmelidir. Ayrıca ülke ulaşım sektörünün ihtiyaçlarının 10%'nunu yenilenebilir enerji ile karşılamayı amaçlamaktadır. [8]

3.2.2. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye'nin coğrafik konumu güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça elverişlidir. Diğer bir açıdan, dünyadan örneklerle karşılaştırıldığında gerekli yapılanma açısından çok düşük tesislere sahiptir. Güneş enerjisi potansiyelinin daha fazla önem kazanması durumu devleti ve yatırımcıları bu tarz enerji kaynaklarına daha çok yatırım yapmaya teşvik etmiştir.

Türkiye'nin konumu 36^0-42^0 Kuzey enlemleri ile 26^0-45^0 Doğu boylamları arasında güneşli bir kemerde bulunmaktadır. Güneş enerjisi, ülkenin iklimi açısından en çok gelecek vadeden kaynaklardan biri gibi görünmektedir. Türkiye'nin yıllık ortalama güneş radyasyonu 1303 kWh/m^2'dir. Ayrıca 1966 ve 1982 yılları arasında Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde ölçülen güneş ışıma süresi ve ışın yoğunluğu verilerinin avantajı alınarak EIE (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü) tarafından yapılan çalışmaya göre, Türkiye'de yılda ortalama 2640 saat güneşlenme süresi vardır. Ancak daha sonradan yapılan çalışmalar göstermiştir ki aslında bu değerler Türkiye'nin gerçek potansiyelinin oldukça altındadır. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA), 1992 ile 2008 yılları arasında EIE ve Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) tarafından yapılan ölçüm çalışmalarının bir sonucu olarak oluşturulmuştur. (Şekil 8) Yeni ölçümlerin bir sonucu olarak, görülen odur ki Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli eski değerlerden 20-25% daha fazlaydı. Türkiye'nin brüt güneş enerjisi potansiyeli yıllık 88 milyar ton petrol eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Türkiye, yıllık ortalama 3,6 kWh/m^2 güneş yoğunluğuna sahiptir. Bu da her gün 7,2 saat güneşlenme süresine denk gelmekte ve ekonomik açıdan 40% kullanılabilecek toplam 110 gün demektir. Termal güneş enerjisi hali hazırda yaygın durumdadır. Aşağıda verilen Şekil 8, GEPA tarafından Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini göstermektedir.



Şekil 8: Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli (EIE, GEPA).

Yukarıda GEPA'nın haritasından görüldüğü üzere, Türkiye'nin topraklarının yarısı 1600 kWh/m^2'den daha fazla güneş radyasyonu almaktadır. Güneş enerjisi potansiyeli açısından Karadeniz Bölgesi çok fazla bir potansiyele sahip gözükmemektedir. Diğer bir açıdan, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgesi ile Ege Bölgesi Türkiye için potansiyelin büyük olduğu yerlerdir. Özellikle Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde potansiyel 1800 kWh/m^2'ye yükselmektedir. Orta Anadolu'nun düz arazileri ise güneş enerjisi yatırımları için diğer bir yüksek profilde alanlardır. Batı Akdeniz Bölgesi'nde ki üç il güneş enerjisi yatırımları için oldukça yüksek değerlere sahip gözükmektedir. Ayrıca GEPA'nın haritasına göre Türkiye'nin ortalama küresel güneş radyasyonu 1500 kWh/m^2-yıl gözükmektedir.

3.3. Diğer Enerji Türleri ile Kıyaslandığında Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dejavantajları

Güneş enerjisi yenilenebilir bir enerji olarak, getirdiği avantajlar sayesinde dünya çapında enerji alanında yükselen trendlerden biridir. Diğer bir açıdan, diğer enerji türlerini de düşünürsek güneş enerjisinin avantajlarının yanında dezavantajları olduğu da kaçınılmaz bir gerçektir. Bu avantajlar ve dezavantajlar aşağıda sıralanmıştır.

<u>Avantajlar</u>

- Güneş neredeyse sınırsız bir enerji kaynağıdır.
- Hava kirletme açısından etrafa kirletici saçmayan temiz bir enerjidir.
- Bölgesel uygulamalar için elverişlidir. Güneş enerjisi neredeyse ihtiyaç duyulan her alan için kullanılabilir.
- Dışarıdan gelen bir enerji olduğu için ekonomik krizlerden etkilenmez.
- Güneş enerjisinin birçok uygulaması için karmaşık teknolojiler gerekmez.

- Ulaşım sıkıntısı yoktur, çünkü güneş her yerdedir.
- Kurulu sistemlerin maliyeti yok denecek kadar azdır.
- Boş yer açısından binaların çatısı kullanılabilir, dolayısıyla uygulamalar için yer ihtimali çoktur.

Dezavantajlar

- Güneş radyasyonu birim yüzeye geldiğinden azdır. Daha büyük yüzeylere ihtiyaç vardır.
- Depolanması gerekmektedir, çünkü sürekli olan bir kaynak değildir. Bataryalarda depolanabilir.
- Kış gecelerinde daha çok enerjiye ihtiyaç olmaktadır, ama bu zamanda güneş radyasyonu yok denecek kadar azdır.
- Güneş radyasyonunun panellere ulaşması için panellerin etrafı açık bir yerde olması gerekmektedir.
- Su ısıtma sistemlerinde 60% verim var iken bu oran güneş bataryalarında 15%'tir. Diğer bir açıdan, yeni hibrit sistemler sayesinde bu oran elektrik üretimi için 55%'e ulaşabilir.

4. VERİ VE ÇALIŞMA ALANI

Bu bölümde, bu çalışma için kullanılan veriler açıklanmış ve çalışma alanı tanımlanmıştır.

4.1. Veri

Yüzeye gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonunu belirlemek için kullanılan veriler CM SAF (EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring)'ın internet sitesinden indirilmiştir ve yayınlanma yılı ise 2015'tir. Bu veriler CM SAF'ın internet sitesinde "10.5676/EUM_SAF_CM/SARAH/V001" kodlu doi kullanılarak indirilebilir. Verilerin ismi Surface Solar Radiation Data Set - Heliosat (SARAH) - Edition 1 (SIS-Surface Incoming Shortwave Radiation from METEOSAT 3, Daily, Mean, and Version 001)'dir. The Surface Solar Radiation Data Set - Heliosat (SARAH), sabit yörüngeli Meteosat uyduları kartındaki MVIRI ve SEVIRI aletlerinin görülebilir kanallarının uydu gözlemlerinden türetilen güneş yüzey ışınımının, yüzeye direk gelen normalize ışınımın ve etkili bulut albedosunun uydu tabanlı klimatolojisidir. Verilerin tarih aralığı 01/01/1983 ile 31/12/2005 arasındadır. Veriler, ±70° boylamı ve ±70° enlem (METEOSAT Disk) bölgesini kapsar ve 0,03° x 0,03° mekânsal çözünürlükle düzenli enlem/boylam ızgarasında günlük ortalamalardır. Ayrıca verilerin kaynağı METEOSAT olmasına rağmen, bu çalışmada netcdf3 formatındaki verilerin 22 yıllık mevsimlik ve toplam olarak hesaplaması için CDO programı kullanılmıştır. CDO programı kullanılarak hesaplanan veriler GrADS programı kullanılarak harita çıktıları olarak görüntülenmiştir.

4.2. Çalışma Alanı

Bu çalışmada, yüzeye gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonunu analiz etmek için 26^0-45^0 doğu ve 36^0-42^0 kuzey koordinatlarında bulunan Türkiye seçilmiştir. Şekil 9, çalışma alanı olan Türkiye haritasını vermektedir.



Şekil 9: Türkiye haritası ve Türkiye'nin bölgeleri.

5. ANALİZ

Bu bölümde, bu çalışmanın ana konusu olarak Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli uydu verileri kullanılarak gösterilmiştir. Uydu verilerinin bir sonucu olarak, burada Türkiye'nin mevsimlik ve 22 yıllık toplam ortalama haritaları verilmiştir. Ayrıca zamana göre Türkiye'nin güneş potansiyeli haritası göz önüne alınarak yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi için yatırımın uygun olduğu bölgeler belirlenmiştir.

Haritaların lejantı W/m^2 birimindedir. GrADS kullanılarak çıktısı alınan haritalar ile GEPA karşılaştırıldığında, her bir birimin dönüşümünün bilinmesi gerekmektedir ve bu dönüştürme "1 kWh/m^2= 0,1142 W/m^2," olarak hesaplanır. Bu demektir ki, GEPA haritasının lejantındaki maksimum değer olan 2000 kWh/m^2, GrADS haritasının lejantında 230 W/m^2 değerine karşılık gelmektedir. Ayrıca GEPA'nın minimum değerleri olan 1400 kWh/m^2 ise GrADS haritasında 160 W/m^2 değerine karşılık gelmektedir.

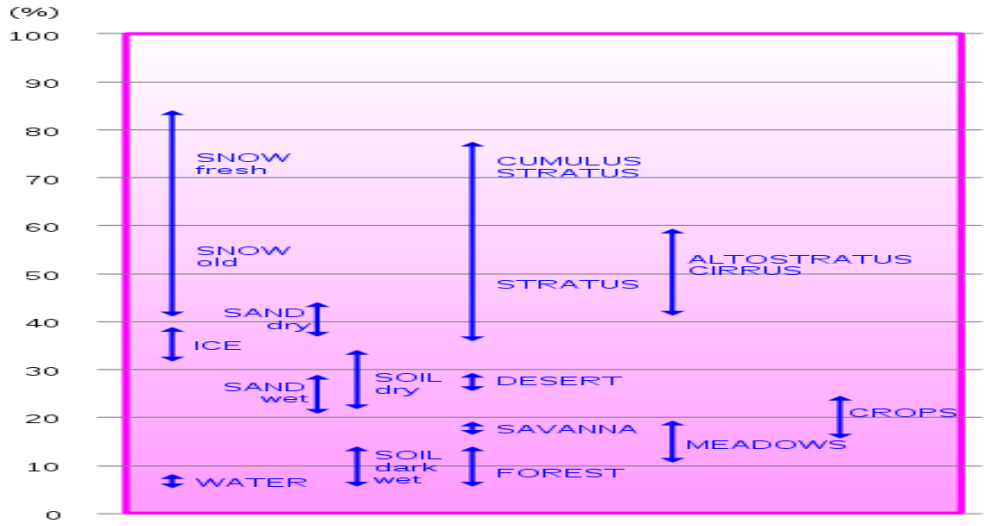
Yukarıda verilen bilgiler göz önüne alındığında haritaların yorumlanması daha sağlıklı bir şekilde yapılabilir. Yüzeye gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu bulut kapalılığından, günün zamanlarından, mevsimden, enlemden ve yüzey albedosundan etkilenmektedir. Türkiye'nin enlemi sabit olduğundan buradaki çalışmada enlem etkisinden göz ardı edilebilir. Diğer önemli bir faktör olan yüzey albedosu artıkça, yüzeyden çıkan uzun dalga boylu güneş radyasyonu miktarı artacaktır ve bu da yüzeyin ısınma oranının çok yüksek olmayacağı anlamına gelir. Bu yüzden bu etkiyi göz ardı etmemek gerekmektedir. Şekil 10, dağınık yansıyan güneş ışığı yüzdesini farklı yüzeylerle ilişkisi içinde vermektedir.

Mevsimler ve günün zamanları, güneşe göre Dünya'nın konumunu direk etkiler; çünkü yüzeye gelen güneş ışını, güneşin gökyüzündeki konumuna göre değişkenlik gösterir. Dünya'nın güneş etrafındaki rotasyonu güneş radyasyonunun mevsimsel farklılıklarını oluşturur. GrADS programı kullanılarak çıktısı alınan haritalar, 22 yıllık ortalama olarak mevsimlik yüzeye gelen güneş radyasyonu farklılığını açık şekilde gözler önüne sermektedir. Son olarak bulut kapalılığı zaten yüzeye gelen güneş ışınlarını doğrudan ve her yerde etkileyen faktörlerdendir.

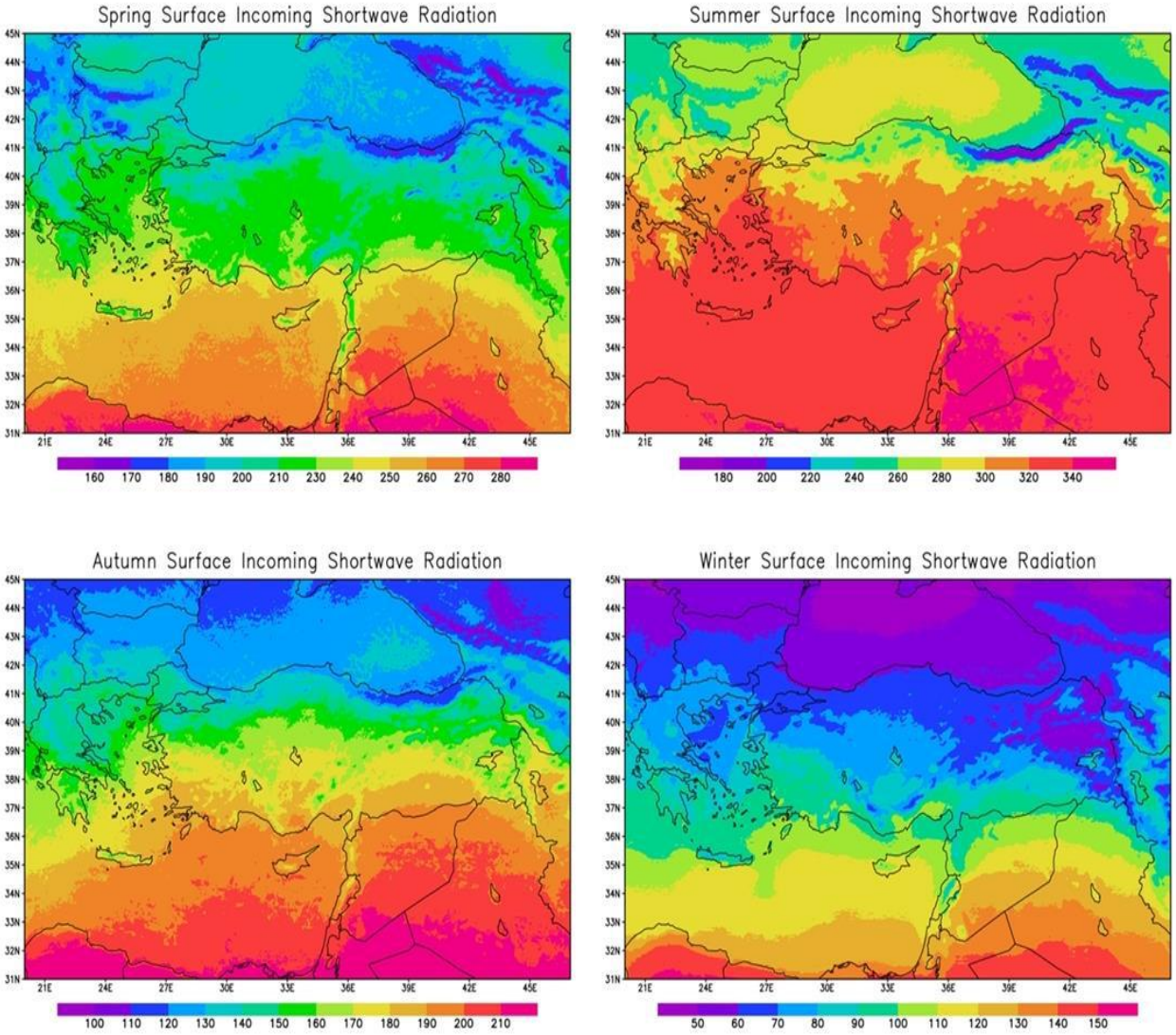
5.1. Türkiye'de Yüzeye Gelen Kısa Dalga Boylu Güneş Radyasyonunun Mevsimlik Analizi

Güneş santralleri tarafından üretilen enerji açısından Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için mevsimlik yüzeye gelen güneş radyasyonu analiz edilmelidir. Bu analiz Türkiye'de

güneş santralleri kurulabilmesi için genel durumu göstermektedir. Şekil 11; ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için yüzeye gelen güneş radyasyonu haritalarını göstermektedir.



Şekil 10: Dağınık yansıyan güneş ışığı yüzdesinin farklı yüzeylerle ilişkisi.



Şekil 11: Dört mevsim için Türkiye'de yüzeye gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu.

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere en yüksek değerler, yaz mevsiminde ve 260 W/m^2 ile 340 W/m^2 arasında gözlenmiştir. Özellikle güney bölgelerde yüzeye gelen güneş radyasyonunun etkisi gözükmektedir. Yaz mevsiminde bulut kapalılığının yok denecek kadar az olması veya kış kadar uzun süreli olmaması bu yüksek değerlerin en büyük sebeplerinden biridir. Diğer bir yandan, kuzey kesimleri haritadaki mavi çizgiden de görüleceği üzere güneye göre daha düşük değerlere sahiptir. Bunun sebebi bölgenin konumu ve diğer belirtilen sinoptik koşullar olabilir. Bu yüzden yaz mevsimi için bakıldığında Akdeniz ve Ege bölgeleri solar santrallerin kurulumu için ilk sırada yer almalıdır. Marmara ve İç Anadolu bölgeleri de uygun gözükse de Akdeniz ve Ege bölgesi kadar elverişli değildir. Kesin olan Türkiye'nin doğu tarafı ve özellikle kuzeydoğu kısmı yatırımlar için kesinlikle kullanılmamalıdır. Ayrıca genel olarak Türkiye'nin kuzey tarafı da güneş enerji üretimi için çok uygun gözükmemektedir.

Yaz mevsiminden sonra en yüksek değerlere sahip olan mevsim ilkbahardır. Bu değerler 230 W/m^2 civarındadır. Daha sonra ise sonbahar mevsimi değerleri yaklaşık olarak 130 W/m^2 ile 200 W/m^2 arasında gözükmektedir. Bu mevsimler geçiş mevsimleri oldukları için yaz ve şimdi bahsedilecek kış mevsimleri gibi ayrıntılı açıklanmamıştır. Çünkü ilkbahar mevsiminin özellikleri yaza yakın, sonbaharın ki ise kışa yakın bir şekilde olacaktır.

Kış mevsimine gelindiğinde ise değerler yaklaşık olarak 60-80 W/m^2 aralığındadır. Dünya ile Güneş arasındaki mesafe 5 Ocak'ta minimumdur, dolayısıyla bu da yüzeye gelen güneş radyasyonunu etkileten bir faktördür. Bu tarihte güney yarım kürede yaz yaşanırken, kuzey yarım kürede kış yaşanır. Ayrıca kış koşulları yüzey albedosunu etkiler, çünkü kış aylarında özellikle Türkiye'nin orta ve doğu kısımlarında yüzeyde kar kapalılığı artar. Bu da yüksek albedo seviyesine neden olur ve yüzeye gelen güneş radyasyonu daha fazla yansır, bunula birlikte yüzey yeteri kadar ısınamaz. Ayrıca kış mevsiminde bulut kapalılığı fazla olacağından atmosfere gelen ışınlarının çoğu daha yere ulaşamadan uzaya geri yansır. Buna dayanarak görülen şu dur ki bu mevsimde; Akdeniz İç Anadolu ve Ege bölgeleri güneş radyasyonuyla alakalı yatırımların yapılması ve güneş santrallerinin kurulması için oldukça uygundur. İkinci yer olarak Marmara bölgesi düşünülebilir. Ayrıca yine Türkiye'nin doğu ve ikincil olarak kuzey kesimleri bu yatırımlar için uygun gözükmemektedir.

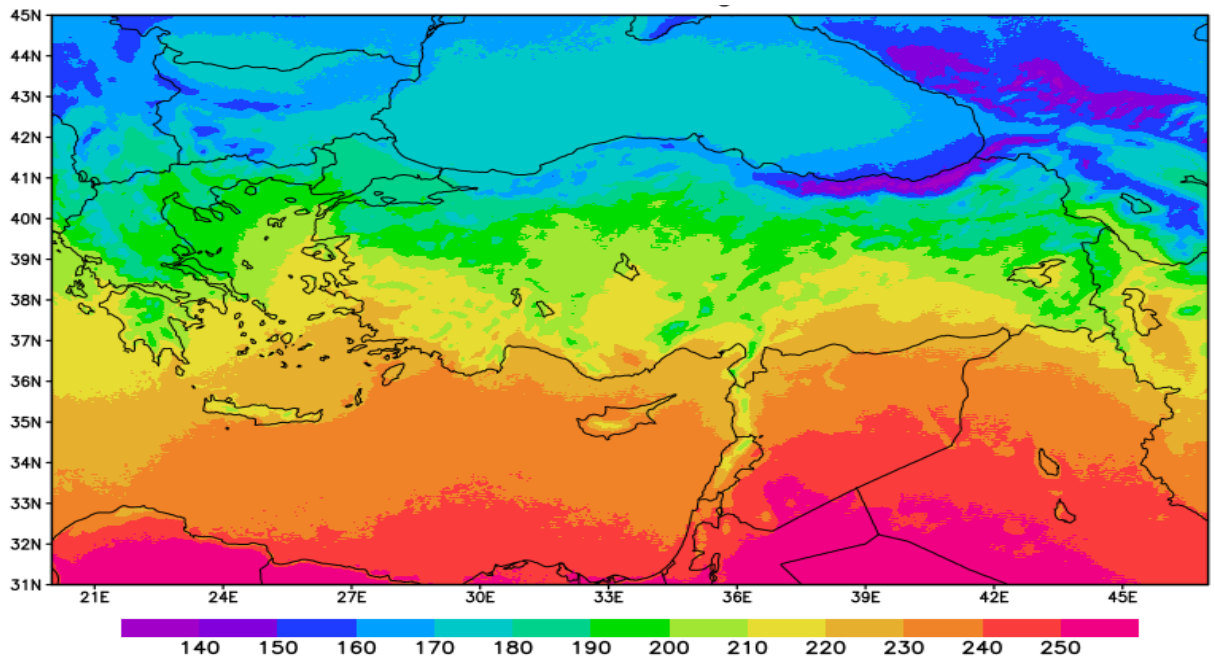
Genel olarak bakıldığında, mevsimlere göre yüzeye gelen güneş radyasyonu ve gelen radyasyonun büyüklükleri gözlemlendiğin de Akdeniz Bölgesi güneş santralleri yatırımları için ilk sırada yer almaktadır. Bunu Ege ve İç Anadolu bölgeleri takip etmektedir. Marmara bölgesi mevsimlik olarak uygun gözükse de bütün olarak bakıldığında kış mevsimiyle yaz mevsimi arasında yüzeye gelen güneş radyasyonunun da olan önemli değişiklikler yüzünden güneş enerjisinin etkili kullanımı için çok uygun durmamaktadır. Son olarak kuzey ve kuzeydoğu bölgelerine kesinlikle yatırım yapılmaması gerekmektedir, çünkü hem en düşük güneş radyasyonu değerlerine sahipler hem de yıl içinde değerlerde olan değişiklikler oldukça fazladır.

5.2. Türkiye Haritasında Yüzeye Gelen Kısa Dalga Boylu Radyasyonun 22 Yıllık Ortalamasıyla ile GEPA'nın Karşılaştırılması

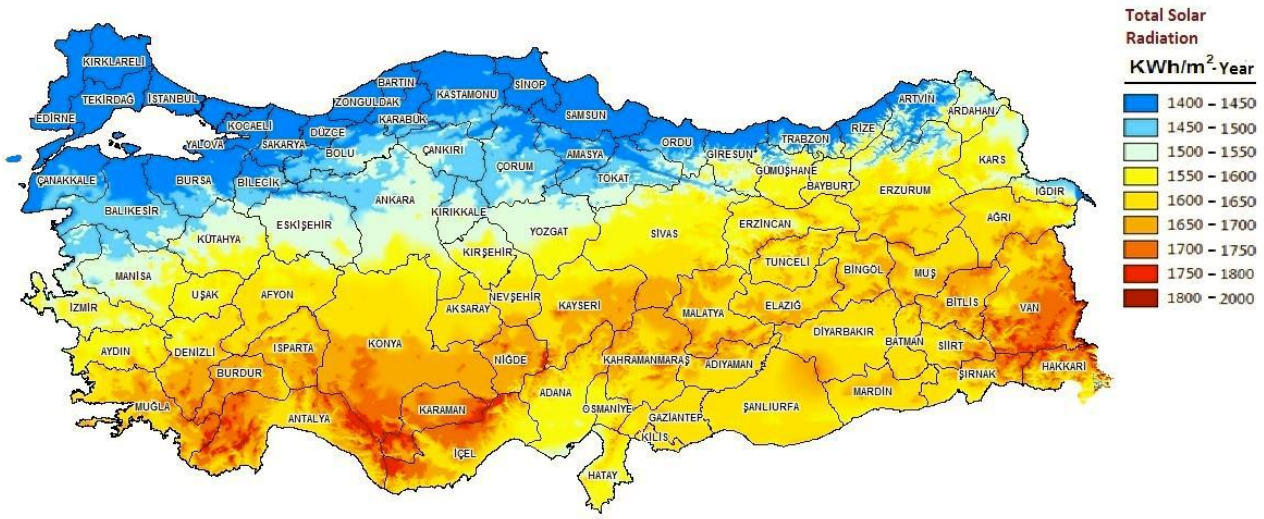
Bu bölümde ise uydu verileri kullanılarak yapılmış Türkiye için 22 yıllık ortalama yüzeye gelen güneş radyasyonu haritası verilmiştir. Ayrıca Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) da gösterilmiştir. Aşağıda verilen Şekil 12 ve Şekil 13 sırasıyla 22 yıllık ortalama haritasını ve GEPA'yı vermektedir.

Çalışmanın başında "1 kWh/m^2 = 0,1142 W/m^2" dönüşümü verilmişti. Bu yüzden GEPA'da ki 1400,1450, 1500, 1550, 1600, 1650, 1700, 1750 ve 1800 kWh/m^2 değerleri sırasıyla 160, 166, 171, 177, 183, 188, 194, 200 ve 206 W/m^2 değerlerine karşılık gelmektedir. Bu değerleri de anladıktan sonra iki harita arasında ki farklılıklar açık şekilde ortaya çıkmaktadır. İlk olarak, Marmara Bölgesi'nde ki Şekil 12 de ki değerlere bakarsak 170-190 W/m^2 gözükmektedir, ama GEPA'da bu değerler 160-166 W/m^2'dir. Karadeniz Bölgesi'nde GrADS çıktıları 130-170 W/m^2 arasında iken GEPA'da 160-177 W/m^2'dir. Ege Bölgesi'nde GrADS çıktıları 200-220 W/m^2 iken GEPA'da 188-

200 W/m^2'dir. Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgesi'nin güney kısmı GEPA'da kısmi oalrak yüksek değerlere sahip gözükürken GrADS çıktılarına tüm alanda yüksek değerler vardır ve bu değerler 210-240 W/m^2 civarındadır. İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinin değerleri de yine iki haritada farklılıklar göstermektedir. Tüm bu farklılıklar göstermektedir ki GEPA aslında güneş santralleri için yer seçiminde çokta uygun gözükmemektedir. Bunun sebebi, GEPA yer istasyonu verileri kullanılarak hazırlanmıştır, ama Türkiye genelinde yer istasyonu sayısı yüzeye gelen güneş radyasyonunu ölçmesi açısından yetersizdir. Bu yüzden, uydu verileri kullanılarak hazırlanan GrADS haritaları bu çalışmanın odak noktasını oluşturarak Türkiye'de güneş enerjisi yatırımları için daha iyi bir yol gösterici olabilir. GEPA'nın referans haritası olarak kullanılması ileride kurulan santrallerden verim alma konusunda sıkıntılar doğurabilecek gibi durmaktadır. Dolayısıyla referans alınması gereken harita GEPA olmamalıdır.



Şekil 12: Türkiye'de 22 yıllık ortalama yüzeye gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu.



Şekil 13: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA, EIE).

6. SONUÇLAR

Bu çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir [9].

Bu çalışmada, yüzeye gelen kısa dalga boyla güneş radyasyonu her mevsim için ayrı ayrı 1 Ocak 1983 ile 31 Aralık 2005 tarihleri arası uydu verileri kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca bu tarihler arasında 22 yıllık ortalama yüzeye gelen güneş radyasyonu haritası verilmiştir. İlk olarak, uydu verileri kullanılarak çıktısı alınan haritalarda güney radyasyonu değerlerinin güney enlemlerden kuzey enlemlere doğru azaldığı gözlemlenmiştir. Yani güneş radyasyonunda ki değişim beklenildiği gibi enlemler paralel bir görünüm sergilemektedir. Yüzeye gelen güneş radyasyonunun en büyük değeri Türkiye'nin güney bölgesinde iken en düşük değer kuzeydoğu bölgesinde gözlenmiştir. Ayrıca enlemlere paralel olan değişikliklerin dağılımı, Türkiye'nin kuzeydoğu kısmında biraz bozulmalara uğramış gözüküyor. Bunun sebebi, bu bölgenin oldukça yüksek dağlık alanlara sahip olmasından ve Türkiye'yi etkileyen atmosferik döngünün bir sonucu olabilir. Elde edilen veriler ışığında, Türkiye'de 22 yıllık ortalama yüzeye gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu değerleri 130 W/m^2'den 240 W/m^2' ye değişmektedir. Ortalama değer ise yaklaşık olarak 200 W/m^2'dir.

İkinci olarak; yer istasyonu verileri kullanılarak oluşturulan GEPA, Türkiye'de toplam güneş enerjisini potansiyelini göstermektedir. (Şekil 13) Yer gözlemleri güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için gereklidir. Diğer bir yandan, Türkiye'de güneş enerjisi ölçümleri alabilecek yeterli sayıda istasyon bulunmamaktadır. Uydu verilerinin zamansal ve mekânsal çözünürlüğü yüksektir. Yer gözlemleriyle bu çözünürlüklere ulaşmak mümkün değildir. Sıcaklık, nemlilik ve rüzgâr gibi çeşitli veriler uydu yardımıyla elde edilebilir. Uydu verileri küresel iklim değişikliği gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir. Bu çalışmada METEOSAT uydu verileri kullanılmıştır. Ayrıca CDO programı uydu verilerinin hesaplanması için kullanılan programlardan biridir. Son olarak ise GrADS programı, hesaplanmış verileri 22 yıllık ortalama yüzeye gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonunun mevsimlik ve toplam olarak görsel çıktı haline dönüştürmüştür. Bu bilgilerin ışığında görülen odur ki uydu verilerinin kullanımıyla yapılan haritalar yüzeye gelen güneş radyasyonu değerleri açısından GEPA ile örtüşmemektedir.

Sonuç olarak, gözüken odur ki güneş enerjisi Türkiye için en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Bu açıdan, güneş enerjisi potansiyeli çok doğru belirlenmelidir. Yukarıda verilen güneş radyasyonu haritaları bilgilerinin ışığında uydu verileri kullanılarak oluşturulan haritalar, güneş enerjisi potansiyelinin ölçülmesi açısından GEPA'dan daha güvenilir bir kaynak olacaktır. Bu yüzden yapılacak olan yatırımlarda ve güneş santralleri kurulumunda referans alınması gereken harita GEPA değil de bu çalışmada verilen haritalar olmalıdır. Bunlara ek olarak, güneş radyasyonunun olan değişikliler gözlemlendiğin de genel olarak gelen güneş radyasyonunun büyüklüğü açısından Akdeniz Bölgesi yatırımlar ve güneş santralleri için en uygun bölge olarak gözükmekte ve bu bölgeyi Ege ile İç Anadolu bölgeleri takip etmektedir. Marmara Bölgesi ise güneş radyasyonundan verim alabilmek için çok uygun gözükmemektedir, çünkü gelen radyasyon değerlerinde kıştan yaza önemli değişiklikler olmaktadır. Son olarak, güneş santralleri asla kuzey ve kuzey doğu kısımlara kurulmamalıdır. Bu bölgeler en düşük değerlere sahip olmasının yanı sıra mevsimsel arası değişiklikleri de fazladır. Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda, bu çalışmanın sonuçları göz önüne alınarak yer istasyon verileri ile uydu verileri Türkiye'de ki her yer istasyonu için ayrı ayrı karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

[1] Benno M. N., Brian R. M., Joachim M. (2000). Biomechanics and Biology of Movement. Human Kinetics. p. 12. ISBN 9780736003315.

[2] Alternative Energy. (n.d.). Renewable Energy. Alınan adres; http://www.altenergy.org/renewables/renewables.html

[3] Güneş Enerji Sistemleri.(n.d.).Retrieved from http://www.gunessistemleri.com/dunyadan.php

[4] Attorneys, H. (2014, February 28). Turkey: 2013 Turkey Energy Report. Alınan adres; http://www.mondaq.com/x/296340/Oil Gas Electricity/2013 Turkey Energy Report
[5] Demirbas, A. (pp. 527-535). (n.d.).Turkey's Renewable Energy Facilities in the Near Future, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 28:6.
[6] Akat, S. (n.d.). RENEWABLE ENERGY IN TURKEY. Alınan adres; http://better-project.net/sites/default/files/Renewable Energy in Turkey_Directorate General for Renewable Energy.pdf
[7] Bodimeade, M. (2012, April 4). Turkey's Renewable Energy Market. Alınan adres; http://www.companiesandmarkets.com/MarketInsight/Energy-and-Utilities/Turkey-s-Renewable-Energy-Market/NI2705
[8] Rosca, O. (2015, February 16). EBRD supports Turkey's shift to renewable energy. Alınan adres; http://www.ebrd.com/news/2015/ebrd-supports-turkeys-shift-to-renewable-energy.html
[9] Unan, A. (pp. 77-78). (2015). Determination of Solar Energy Potential of Turkey by Using Satellite Data.

Tropical Rainfall Measuring Mission Uydu Kaynaklı Yağmur Verilerinin Yer Gözlemleri ile Karşılaştırılması

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

Muhammad Amjad
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Ankara
amj.mani@gmail.com

Meriç Selamoğlu
Çankaya Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Ankara
mericselamoglu@cankaya.edu.tr

ÖZET

Sayısız uygulamada zamansal, mekansal ve şiddet olarak değişim bilgisi çok kritik olan yağmur, değişik metodlarla ölçülebilmektedir. Tutarlı ve homojen veri sağlaması açısından hidrolojik model gibi bir çok uygulamada tercih edilen uydu kaynaklı yağmur verilerinin doğruluğunun araştırılması ve bu yağmur verilerinin hata paylarının elde edilmesi çok önemlidir. Uydu kaynaklı verilerin doğrulanması ve hata oranlarının çıkarılması istasyonlarda direkt olarak ölçülen yağmur verileri ile yapılmaktadır. Bu çalışmada mekansal çözünürlüğü 25km olan Tropik Yağmur Ölçme Misyonu (Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)) uydu kaynaklı yağmur verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 257 istasyonda ölçülmekte olan yağmur verileri ile doğrulanmıştır. Çalışma su kaynakları odaklı çalışmalar göz önünde bulundurularak uydu kaynaklı aylık toplam yağmur miktarlarının karşılaştırılmasını ve doğrulanmasını amaçlamaktadır. İstasyonlara en yakın TRMM hücresel verileri karşılaştırmalarda kullanılmak üzere seçilmiştir. 1998 ve 2014 yılları

arasında yapılan analizler, istasyonlarda ölçülen ve uydu kaynaklı yağmur verilerinin korelasyonlarını, mevsimsel ve anomali varyans hesaplamalarını, uydu verilerinin hata oranlarının varyanslarını ve uydu verilerinin uzun dönem yağış ortalamalarını incelemiştir. Anomali bileşenlerinin varyansı mevsimsel bileşene göre çok daha yüksek bulunmuştur (yüzde 63 ve yüzde 37). Bu sebeple, anomali değerlerinin doğruluğu bütün zaman serisinin doğruluğunu mevsimsel bileşene kıyasla daha fazla etkilemektedir. Bulgular genel olarak uydu verilerinin istasyon verileri ile büyük benzerlik gösterdiğini (ortalama korelasyon 0.85) ve uydu kaynaklı yağmur sinyalinin mevsimsel bileşeninin anomali bileşenine kıyasla çok daha doğru olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler — uzaktan algılama; istasyonda ölçülen yağış; uydu kaynaklı yağış hata oranı

1. GİRİŞ

Yağış verileri bir çok hidrometeorolojik çalışma için kuşkusuz en önemli değişkenlerden birisidir. Uygulama alanları küresel iklim modelleri, hidrolojik yeryüzü modelleri, taşkın ve kuraklık tahmin çalışmaları, ürün rekolte tahmini ve su kaynaklarının tahmini gibi çok değişik alanları kapsamaktadır. Su kaynaklarının %70'lik bir bölümü tarımsal sulamaya ayrıldığı için toplam su rezervlerinin ve bu rezervlerin aylık ve mevsimsel değişimlerinin elde edilmesi su kaynakları ile ilgili çalışmalarda çok kritik bir öneme sahiptir.

Genel itibariyle istasyon ölçümleri, uzaktan algılama metodları yardımıyla uydu ve radar gözlemleri ve iklim modellerinden elde edilen çıktılar olmak üzere yağış verileri üç değişik metodla elde edilebilmektedir. İstasyon verileri çoğunlukla ekonomik sebeplerden ötürü seyrek dolayı ve bakım zorlukları sebebiyle insanların yaşadıkları coğrafyalara daha yakın konumlandırılmasından dolayı, geniş ölçekli yağış verilerinin elde edilmesi hata içermektedir. Buna rağmen istasyonlardan elde edilen yağış verileri genel itibariyle en güvenilir veriler olarak düşünülmektedir. Ülkemizde Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından kurulmuş ve işletilmekte olan istasyonlar (Sönmez, 2013) ülkemiz üzerindeki verilerin kuşkusuz en önemli örneklerindendir.

Sayısal modeller tarafından yapılan yağış tahminleri gözlemlenmiş veriler değildir fakat diğer birçok gözlemlenmiş verinin asimilasyonu sonucu ile su/enerji/momentum bütçelerinin korunumuna dayanan denklemlerin doğru uygulanması sonucu, bu modeller özellikle kısa süreli tahminlerde çok doğru sonuçlar elde edebilmektedir. Öte yandan konveksiyonel yağışların yağış miktarlarının elde edilmesinde halen sorun yaşanabilmekte olan bu modellerin mekansal

çözünürlüklerinin düşük olması (genellikle 0.40° – 1.0° arasında) da bu verilerin değişik hidrolojik ve su kaynakları ile ilgili çalışmalarda kullanımını sınırlandırmaktadır.

Uzaktan algılama prensibine dayalı radarlardan elde edilen yağış verileri, yüksek çözünürlükte yağış verisi elde edebilmekte fakat bu radarların okyanus ve denizlerin üzerinde sayıca çok sınırlı olması, elde edilen yağışların Z-R ilişkisine bağlı olması, dağların bloke etmesi ve yapay ekhoların radar ışınlarının anormal bir şekilde ilerlemesinden ötürü bu verilerin küresel veya geniş ölçekli alanlarda kullanımı sınırlı kalmaktadır. Öte yandan yine uzaktan algılama prensibine dayalı ve genellikle mikrodalga bantlarında yapılan uydu gözlemlerinden elde edilen yağış verileri, küresel olarak yağışın tutarlı bir şekilde elde edilmesini sağlamaktadır.

Mikrodalga temelli yağış algoritmalarının ana prensibi, yağışlardan elde edilen sinyalin altta yer alan yüzeyden gelen sinyalden emisyon ve polarizasyon karakterlerine bağlı olarak ayrıştırılmasına dayanmaktadır. Göreceli olarak modellerden daha yüksek mekansal çözünürlükte yağmur verisi vermesi sebebiyle olsa gerek, uydu kaynaklı yağış verileri birçok su kaynakları ve hidrolojik uygulamada yaygınlıkla kullanılmaktadırlar. Aktif ve pasif mikrodalga gözlemlerinin birleştirilmesi ile elde edilen bu veri setlerinin en yaygınlıkla kullanılan örneklerinden birisi ise şüphesiz TRMM uydusu gözlemlerine (Huffman ve diğ., 2010) dayanan verilerdir.

Birçok çalışmada çok kritik önemi olmasına rağmen ülkemiz üzerinde TRMM verilerinin doğrulanmasına yönelik çalışmalar günümüze kadar çok sınırlı sayıda kalmıştır (Özcan ve diğ. 2013). Bu çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından tüm Türkiye üzerinde değişik bölgelerde istasyonlarda elde edilmiş yağış verileri kullanarak TRMM verilerinin 1998-2014 yılları arasında doğrulanması gerçekleştirilmiştir.

2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

a. İstasyonlarda Ölçülen Yağış Verileri

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından ülkemizin değişik bölgelerinde toplanan yağış verileri bu çalışmada uydu verilerini doğrulamak amaçlı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan 257 istasyonun numaraları Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1: *Analizlerde kullanılan verilerin toplandığı 257 MGM istasyonunun listesi*

MGM İSTASYONLARI								
17015	17086	17184	17262	17618	17695	17778	17852	17944
17020	17088	17186	17265	17622	17700	17780	17854	17948
17022	17089	17188	17270	17624	17702	17784	17860	17950
17024	17090	17190	17275	17626	17704	17786	17862	17952
17026	17094	17191	17280	17628	17712	17792	17864	17954
17030	17096	17192	17282	17631	17716	17793	17866	17956
17033	17097	17193	17285	17632	17718	17796	17868	17958
17034	17099	17196	17287	17634	17720	17798	17870	17960
17037	17100	17199	17290	17636	17722	17802	17871	17962
17040	17110	17201	17292	17646	17726	17804	17872	17966
17042	17111	17203	17294	17648	17728	17806	17874	17968
17045	17112	17204	17296	17650	17730	17808	17880	17970
17046	17114	17205	17297	17652	17732	17810	17882	17974
17050	17116	17210	17298	17656	17734	17812	17884	17979
17052	17119	17220	17300	17658	17736	17820	17886	17980
17054	17120	17221	17310	17662	17740	17822	17890	17981
17056	17123	17232	17320	17664	17742	17824	17892	17986
17059	17128	17233	17330	17666	17746	17826	17898	
17061	17129	17234	17340	17668	17748	17828	17900	
17062	17130	17237	17351	17674	17750	17832	17902	
17066	17135	17238	17355	17676	17752	17833	17906	
17069	17140	17239	17370	17679	17754	17835	17908	
17070	17145	17240	17372	17680	17756	17836	17910	
17072	17155	17242	17375	17681	17760	17837	17912	
17074	17160	17244	17380	17682	17762	17840	17914	
17078	17162	17246	17602	17683	17764	17843	17920	
17080	17165	17248	17604	17684	17766	17844	17924	
17083	17172	17250	17606	17688	17768	17846	17926	
17084	17175	17255	17608	17690	17774	17847	17928	
17085	17180	17261	17610	17692	17776	17850	17936	

b. Uydu Kaynaklı Veriler

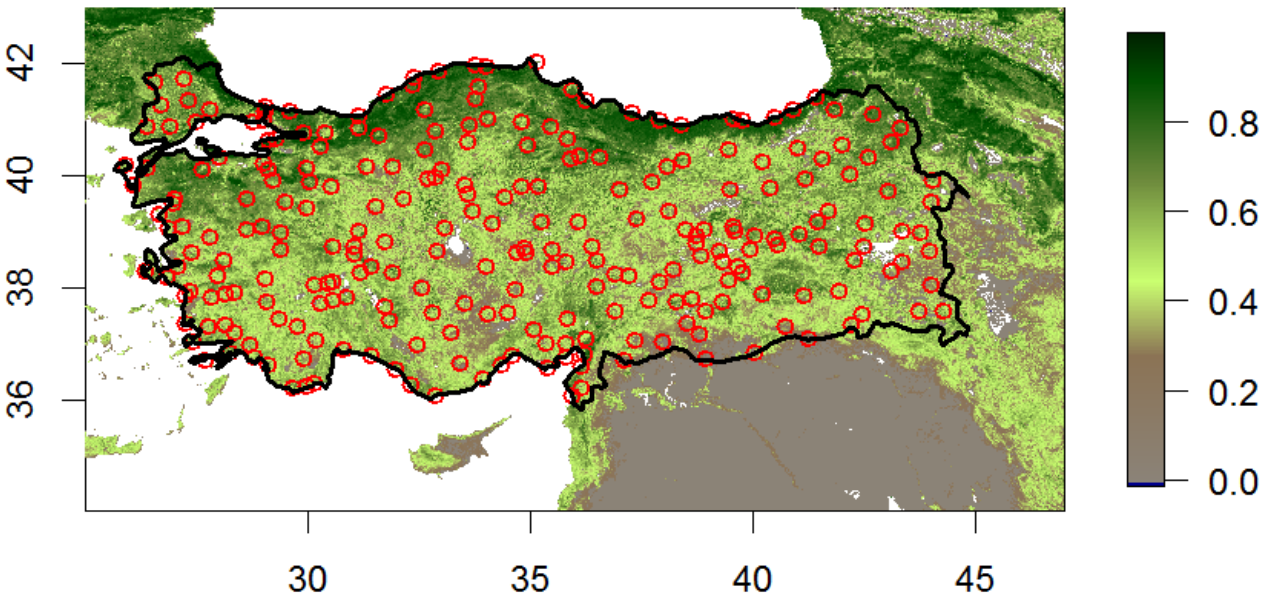
Tropik Yağmur Ölçme Misyonu (TRMM) NASA ve Japon Uzay Araştırma Ajansı tarafından ortaklaşa gerçekleştirilen bir uzay misyonudur. Bu misyon tropik yağmurun araştırılması ve incelenmesi amacıyla tasarlanmıştır. TRMM hem misyonun hem de bu misyon için kullanılan uydunun ismidir. TRMM uydusunun üzerinde yağış radarı, mikrodalga ve kızılötesi görüntü elde ediciler ve şimşek görüntüleme sensörü olmak üzere değişik alanlarda araştırmaya olanak sağlayan sensörler bulunmaktadır. TRMM 3B42 V7 ürünü (Huffman ve diğ., 2007) 1998'den günümüze kadar 50° kuzey ve 50° güney enlemleri arasındaki alanların gözlemlenmesinden elde

edilen toplam yağış miktarlarını, 25 km mekansal ve günlük çözünürlükte sunmaktadır. Bu yağış ürünü mikrodalga ve kızılötesi bantlarındaki gözlemler birleştirilerek elde edilmektedir.

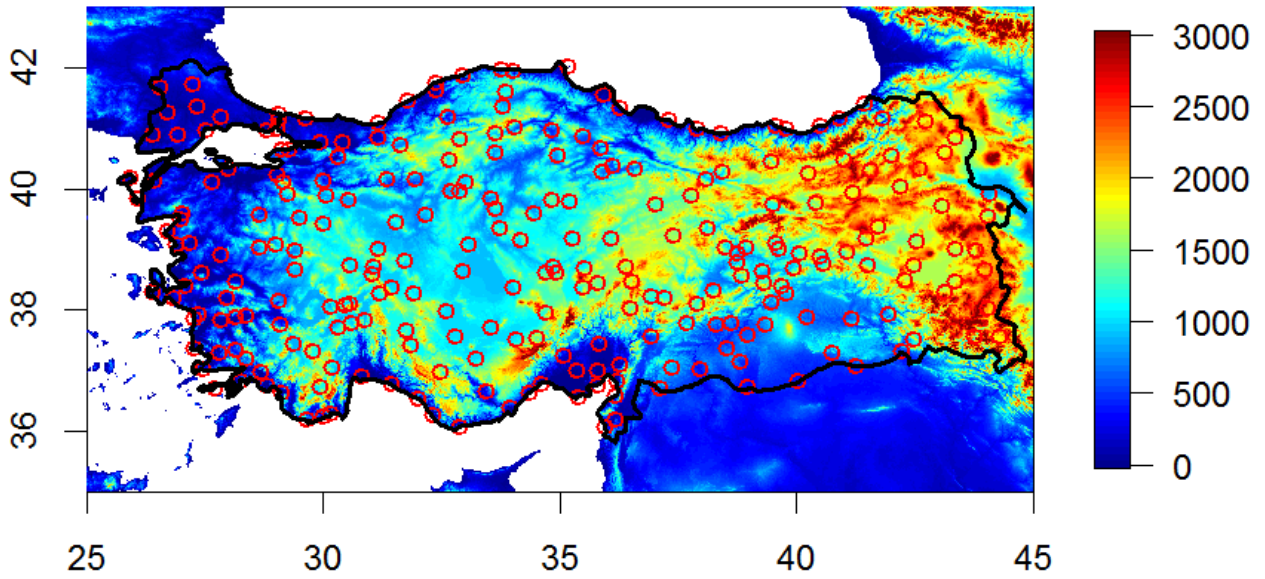
Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Terra ve Aqua uydularının üzerinde bulunan çok kritik bir enstrümandır. Bu uydulardan Terra, kuzeyden güneye ekvatoru sabahları geçerken Aqua uydusu ise güneyden kuzeye ekvatoru akşamları geçmektedir. Bu iki uydu tüm dünyayı 1-2 günde tarayarak 36 bantta görüntü toplamaktadır. Bu görüntülerden kızılötesi ve görünür (kırmızı) banttaki veriler kullanılarak normalleştirilmiş fark bitki indeksi (NDVI) (Rouse ve diğ., 1974) ürünü (MOD13A2) elde edilmekte ve NASA tarafından dağıtılmaktadır. Mekansal çözünürlüğü 1km olan MODIS NDVI ürünü https://lpdaac.usgs.gov adresinden elde edilmiştir ve Sioux Falls, South Dakota'da USGS/EROS merkezinde bulunan NASA EOSDIS LP DAAC tarafından sağlanmaktadır.

c. Çalışma Alanı ve Karşılaştırmalar

TRMM uydu verilerinin doğrulanması Türkiye'nin değişik bölgelerinde bulunan 257 istasyonda elde edilen yağmur gözlemleri kullanılarak yapıldı. Bu istasyonların bulunduğu coğrafyaların bitki örtüsü ve yükseklik bakımından incelenmesi açısından Türkiye'nin NDVI ve yükseklik haritaları elde edildi ve bu istasyonlar bu haritaların üzerinde gösterildi (Şekil 1 ve 2).



Şekil 1: İstasyonların Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) Haritası Üzerinde Dağılımı



Şekil 2: İstasyonların Yükseklik Haritası Üzerinde Mekansal Dağılımı

Aktif fotosentez yapılma oranı NDVI ile direkt ilintili olduğundan yeşil alanlar yüksek NDVI değerlerine ve yeşil alanları az olan yerler ise düşük NDVI değerlerine sahip olmaktadır. Şekil 1 ve 2'deki istasyonların mekansal dağılımları bitki örtüsü yeşilliği ve yükseklik bakımından istasyonların yerleşiminin Türkiye'yi homojen bir şekilde temsil ettiğini göstermektedir. Bu tutarlı homojen dağılıma tek istisna olarak özellikle Doğu ve Güney Doğu Anadoluda 2500m'den daha yüksekte bulunan alanlar gösterilebilir. Yükseklikle yağış rejiminin değişmesi mümkün olduğundan istasyon sayısı yok denecek kadar az olan bu yükseklikteki bölgelerin yağış doğruluğunun diğer bölgelerle mukayesesi gereklidir.

Su kaynakları ve hidroloji ile ilintili özellikle kuraklık ve taşkınların geri dönüş aralığı veya frekansı ile ilgili çalışmalarda özellikle mevsimsel normal değerlerden sapma değerlerinin önemli olması sebebiyle yağış verilerinin mevsimsel ve anomali parçaları da ayrı olarak incelenmiştir. 1998 ve 2014 yılları arasında 17 yıllık bir dönemi kapsayan bu çalışmada herhangi bir istasyonun mevsimsel değeri tüm aylar için ayrı ayrı ortalamaların hesaplanması ile elde edilmiştir. Örneğin Ocak ayının mevsimsel değeri 17 adet Ocak ayı yağış miktarlarının ortalamasının alınmasıyla elde edilmiştir, benzer şekilde Şubat ayı mevsimsel değeri 17 adet Şubat yağış değerinin ortalamasının alınmasıyla elde edilmiştir. 12 ay için ayrı ayrı mevsimsellik değerleri elde edildikten sonra anomali değerleri her aydan o aya ait mevsimsellik değeri çıkarılarak bulunmuştur. Örneğin 17 adet Ocak ayından Ocak ayının mevsimsellik değeri çıkarılarak 17 adet anomali değeri elde edilmiştir. Ocak ayı için elde edilen bu 17 anomali değerinin ortalaması beklendiği gibi 0'dır. Tüm

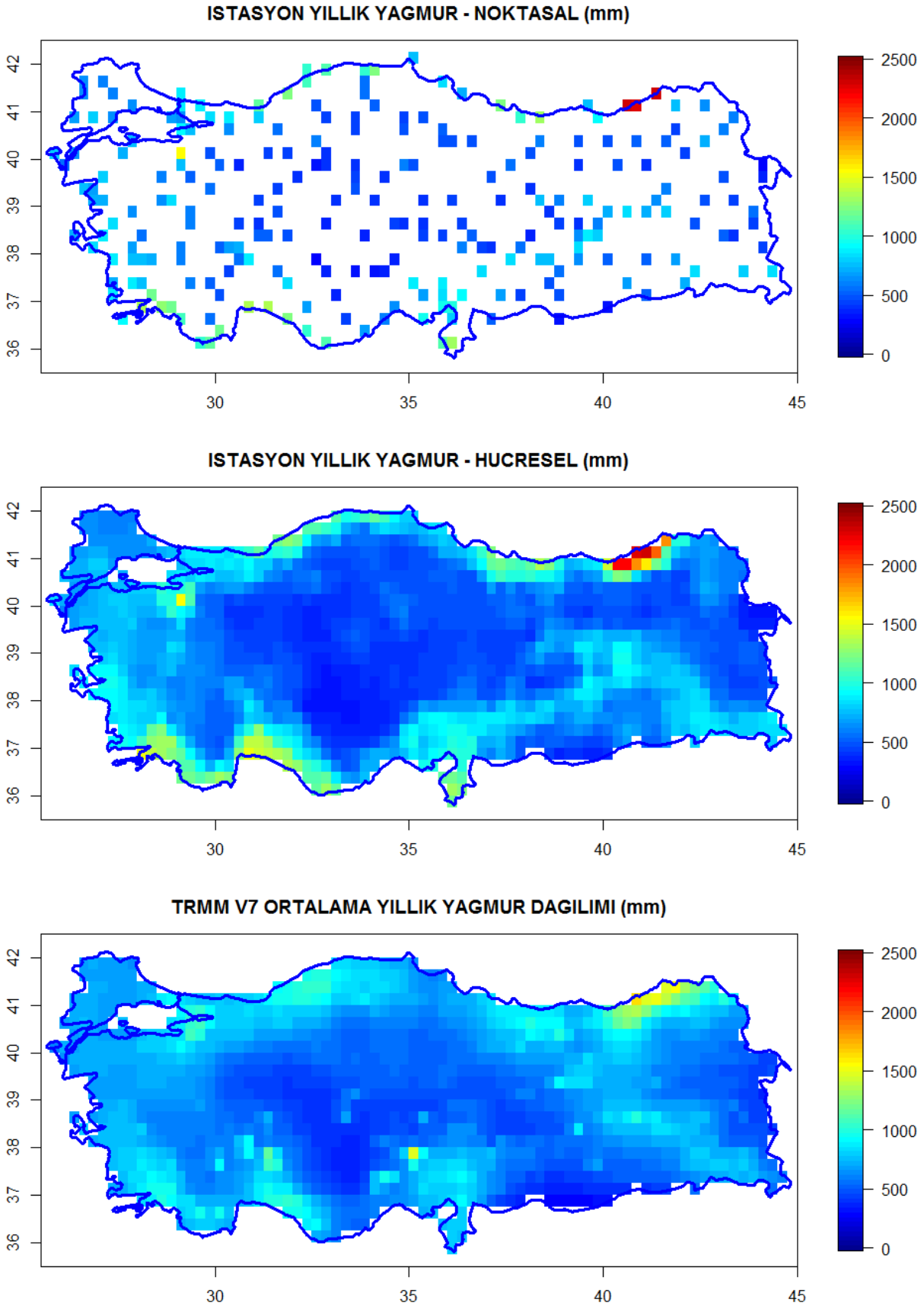
aylar için anomali değerleri ayrı ayrı elde edilerek 17ay*12yıl = 204 aylık bir zaman serisi elde edilmiştir.

Yukarda bahsi geçen zaman serileri çalışmada kullanılan 257 istasyon için ayrı ayrı elde edilmiştir. TRMM uydu verileri ise bu istasyonları içine alan hücrelerdeki günlük zaman serilerinin aylık zaman serilerine dönüştürülmesiyle ve daha sonra bu aylık zaman serilerinin benzer şekilde yukarıdaki yöntemle mevsimsellik ve anomali değerlerine dönüstürülmesiyle elde edilmiştir.

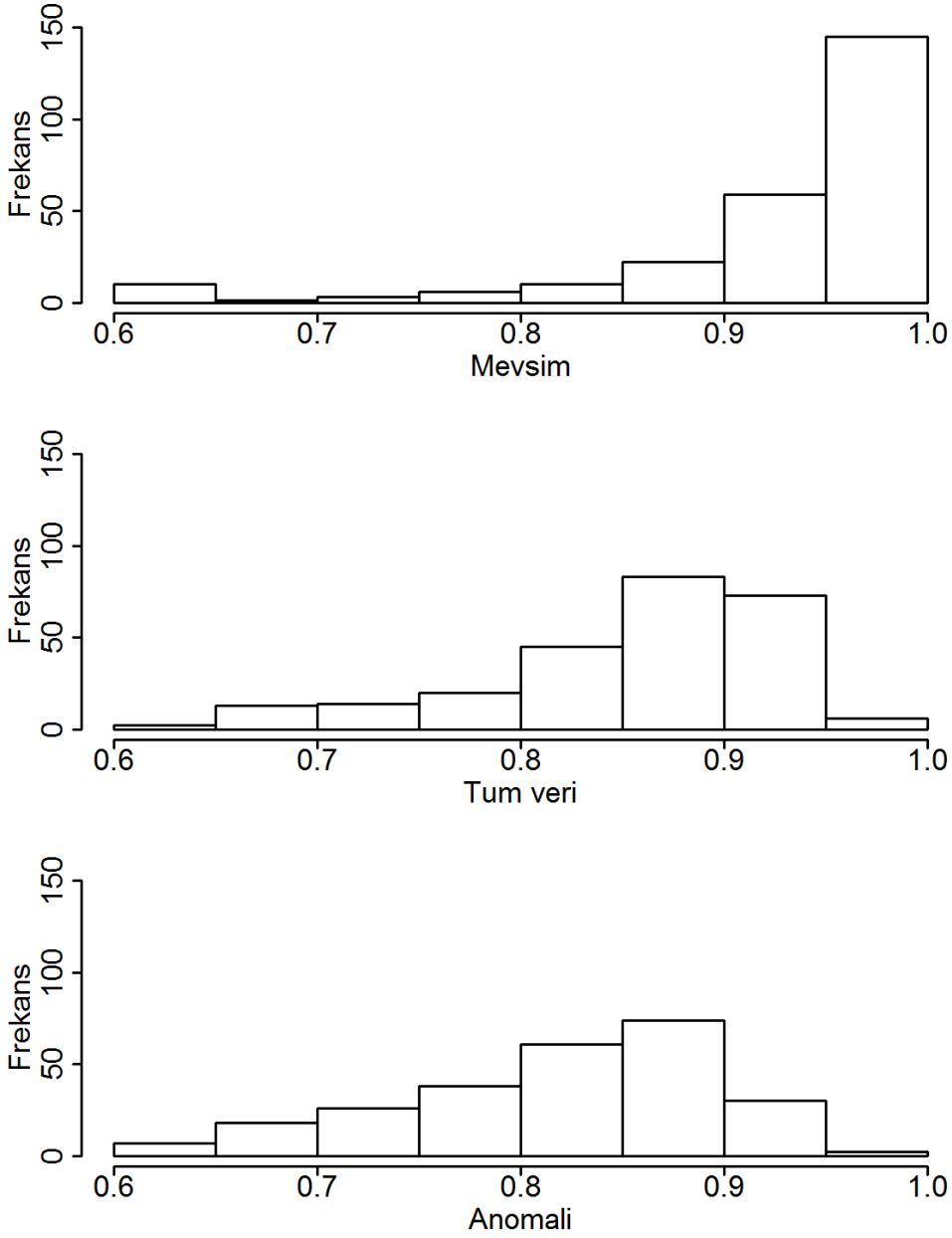
İstasyonlardan elde edilen aylık yağış verilerinin doğru kabul edilmesiyle aylık uydu verilerinin hata oranları bulunmuştur. Hata oranlarının ve zaman serilerinin standart sapmaları 1) tam zaman serisi, 2) anomali zaman serisi ve 3) mevsimsel zaman serileri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yine istasyon ve uydudan elde edilen bu üç zaman serisi kullanılarak istasyon ve uydu arasındaki korelasyonlar bulunmuştur. Çalışmada kullanılan 257 istasyonun hepsi için ayrı ayrı elde edilen bu istatistiklerin ortalamaları alınıp ve histogram analizi yapılarak uydu verilerinin doğruluğuna dair genel durum değerlendirmesi yapılmıştır.

3. SONUÇLAR

Şekil 1'de mekansal dağılımları gösterilen istasyonlardan elde edilen yağış verilerinin uzun süreli ortalamaları Şekil 3'te gösterilmektedir. Noktasal olarak elde edilen bu değerlerin görsel olarak uydu verileriyle örtüşmesi amacıyla, en yakındaki 3 istasyonun uzaklıklarıyla ters orantılı olacak şekilde ağırlıklandırılarak, mekansal olarak tüm Türkiye'yi kapsayacak bir yağış haritası elde edilmiştir. Benzer şekilde uydu verilerinin de 17 yıllık ortalaması tüm Türkiye üzerinde elde edilerek haritalanmıştır. Tüm bu veriler Şekil 3'te gösterilmektedir. Bu şekilde, uydu verilerinin ıslak bölgelerde istasyon ölçümlerine göre daha kuru olduğu (örneğin Doğu Karadeniz ve Akdeniz sahil şeridi), buna karşılık kuru bölgelerde ise istasyonlara göre daha ıslak olduğu (örneğin Konya) gözlemlenmiştir. Bunun bir sebebi sahillerden iç kesimlere doğru ilerledikçe yağışın azalması ve uydu verilerinin 25 km çözünürlükte olması sebebiyle gözlemlerinin bağıl olarak daha kurak bölgeleri de içine alması olabilir. Öte yandan bu yaklaşım iç kesimlerde bulunan ve mekansal olarak çok daha geniş alanları kapsayan daha kurak bölgelerdeki değerleri açıklamamaktadır.



Şekil 3: İstasyonda ölçülen ve uydu kaynaklı elde edilen yağmur verileri



Şekil 4: İstasyon ve uydudan 1998 – 2014 yılları arasında elde edilmiş aylık yağmur verilerinin 257 istasyon üzerindeki korelasyonlarının iklim tum veri ve anomali kısımlarına gore frekans dağılımı.

Tablo 2: *İstasyon ve uydudan 1998 – 2014 yılları arasında elde edilmiş aylık yağmur verilerinin 257 istasyon üzerinde ortalama korelasyonları ve uydu verilerinin ortalama hata standart sapması*

	TÜM	**İKLİM**	**ANOMALİ**
Korelasyon	0.85	0.92	0.82
Hata Stand. Sapmasi	27.96	13.45	24.65

Tablo 3: *İstasyon ve uydudan 1998 – 2014 yılları arasında elde edilmiş aylık yağmur verilerinin istatistikleri*

	İSTASYON	**TRMM**
Ortalama	56.07	56.50
Stand. Sapma (tüm)	47.70	45.83
Stand. Sapma (iklim)	28.91	28.49
Stand. Sapma (anomali)	38.05	35.43

Şekil 4'te çalışmada kullanılan 257 istasyon üzerinde istasyon ve uydudan elde edilen yağmur verileri arasında tüm veriler, mevsimsel zaman serisi ve anomali zaman serileri için ayrı ayrı hesaplanan korelasyon değerlerinin histogramları gösterilmektedir. Uydu verilerinin mevsimsel değerlerinin istasyonlar ile 0.90 üzerinde korelasyon değerinin olması, buna karşılık anomali korelasyonlarının ağırlıklı olarak 0.80 ve 0.90 arasında olması, uydu kaynaklı yağış verilerinin sahip olduğu yağış sinyalinin iklim değerlerine daha fazla bağlı olduğu ve anomali değerlerinin doğruluk payının tüm veri setinden daha düşük olduğu sonucunu doğurmaktadır. Bu sonuç Tablo 2'de verilen 257 korelasyon değerinin ortalaması ile bulunan ortalama korelasyon değerlerinde de açıkça görülmektedir.

Uydu verilerinin istasyonlarla olan korelasyonları aralarındaki lineer ilişkiyi ortaya koyarken bu verilerin standart sapmaları ve ortalama değerlerinin karşılaştırılması uydu verilerinin istasyonlara oranla yanlı yağış verilerine sahip olup olmadığını göstermektedir. Tüm istasyonlar için elde edilen aylık yağış ortalama ve standart sapma değerlerinin ortalamasının alınmasıyla istasyon ve uydu verilerinin ortalama yağış karakteristikleri ortaya konmuştur (Tablo 3). Yağış ortalamaları arasındaki farkın %1'den daha az olması, uydu verilerinin havzalara düşen yıllık yağışların toplam hacimlerinin bulunmasında rahatlıkla kullanılabileceği anlamına gelmektedir. Bu istasyonların yüksekliğe bağlı dağılımı, bu doğruluk oranlarının coğrafi olarak dağılımını ortaya koyabilmekteyken bu çalışmada bu inceleme henüz yapılmamıştır. Öte yandan tüm veriler incelendiğinde 204 aylık (17 yıl) veri kullanılarak yapılan analizde uydu verilerinin ortalama standart sapmasının istasyonlardan %4 oranında daha düşük olduğu görünmektedir. Bu fark yapılan F-testlerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu farkın mevsimsel ve anomali bileşenlerine ayrıldığında ağırlıklı olarak anomali (%7) kaynaklı olduğu ve mevsimsel bileşenin (%1) çok daha düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Uydu verilerinin standart sapmasının düşük olması kıyı (daha yüksek yağış alan) kesimlerdeki daha kuru ve iç bölgelerde (daha düşük yağış alan) kesimlerdeki daha ıslak verilerle de örtüşmektedir. Genel itibariyle standart sapmalar arasında bulunan %4'lük farkın önemli bir hataya sebebiyet verip vermeyeceği ise tamamen

uygulamaya bağlıdır. Bu farklılıkların büyüklüğünün önemli olduğu çalışmalarda, bu farklar normalleştirilerek tamamen giderilebilmesi mümkündür, bu sebeple bu fark birçok çalışma için (özellikle zamansal olarak ortalamadan sapma analizlerini içeren kuraklık gibi uygulamalarda) bir sorun teşkil etmeyeceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W.**, *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. Third earth resources technology satellite-1 symposium, volume 1: technical presentation, NASA SP-351 (pp. 309−317). Washington, D.C: National Aeronautics and Space Administration, 1974.

[2] **Huffman, G.J., R.F. Adler, D.T. Bolvin, E.J. Nelkin,** *The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA). Chapter 1 in Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology,* Springer Verlag, ISBN: 978-90-481-2914-0, 3-22, 2010.

[3] **Özcan, O., Musaoğlu, N., Bookhagen, B., Örmeci**, C., Uydu Ve Yersel Yağış Verilerinin Noktasal Frekans Analizi İle Mekansal Değerlendirmesi, Tmmob Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 13 Kasım 2013, Ankara.

[4] **Sönmez, I.**, Quality control tests for western Turkey Mesonet, Meteorological Applications, 20, 330–337, 2013.

Uzaktan algılama araçlarının dolu yağışının tahmininde kullanımı

Mehmet ÜNLÜER
3. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü
Eskişehir
munluer@mgm.gov.tr

İlker KOÇ
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Ankara
ikoc@mgm.gov.tr

Göksel TURAN
3. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü
Eskişehir
gturan@mgm.gov.tr

ÖZET

Dolu, updraftlar ile üst seviyelere taşınan yağmur damlalarının, cb'nin ekstrem soğumuş kısımlarında buz haline gelmesiyle oluşan bir yağış türüdür. Tane çapı 5 mm ve daha büyük olduğu zaman dolu olarak tanımlanır ve herzaman orajla birlikte meydana gelir. Ülkemizde bahar ve yaz aylarında, rakımı yüksek yerlerde daha sık görülür. Özellikle tarımsal ürünlere zarar veren, ulaşımda aksamalara neden olan dolu zaman zaman da ölümcül olabilmektedir. Önceleri çokta öngörülemeyen bu nedenle bahar ve yaz aylarında meydana gelen her yağışta ihtimal olarak görülen bu hadise, son yıllarda gelişen radar teknolojisi yardımıyla tahmincilere yer, zaman ve hatta tane büyüklüğü hakkında ipuçları vermeye başlamıştır. Bu çalışmada 20 Mayıs 2015 İzmir, 25 Mayıs 2015 Ankara ve 23 Haziran 2015 tarihinde Eskişehir'de yaşanan dolu hadiseleri radar, uydu ve yıldırım takip sistemi gibi uzaktan algılama araçları yardımıyla incelenerek, dolu tahiminene yönelik ipuçlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler — dolu; dolu tahmini; uzaktan algılama.

1. GİRİŞ

Dolu, çapları 5-50 mm bazı durumlarda çok daha büyük küresel veya düzensiz buz parçacıklarının yağışıdır. 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. Bilhassa ilkbahar ve yazın ilk aylarında meydana gelen şiddetli oraj ve fırtınalarla beraber dolu görülür.

Nemli ve kararsız hava kütlelerinde ılık mevsimlerde alttan ısınma veya başka bir nedenle oluşan Cb bulutları çok yüksektir ve alt bölümleri su, üst bölümleri buz tanelerinden oluşmaktadır. Bulut içinde yükselici akımlarla, alt kısımlardan yükseklere taşınan su damlacıkları, taşındığı yerdeki sıcaklık donma noktasının çok altında olduğu için donar. Daha sonra düşmeye başlar ve tekrar yukarıya doğru bir akıma yakalanabilir. Bu kez de ikinci bir defa etrafına buz tabakaları eklenebilir ve damlacığı daha büyütür. Bu çevrim, ta ki damlacıklar bu akımlarla havada tutulamayacak büyüklüğe (ağırlığa) erişene kadar sürer. Sonra da dolu olarak yeryüzeyine düşer.

Bulut içindeki bu oluşuma neden olan dikey hava hareketleri ne denli kuvvetli olursa, dolunun gelişimi o kadar uzun sürer ve yere düşmesi esnasında daha büyük bir dolu oluşturur [1]. Aşağıda sıralanan faktörlerin dolu meydana gelme ihtimalini yada dolu çapını arttırdığı belirtilmektedir [2].

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 izlenibilir: eğer donma seviyesi 650 milibara yerden daha yakınsa kuvvetli orajlar ve dolu oluşumu için daha uygun durum mevcuttur.

Wet Bulb Zero Level: Islak hazne sıcaklığının sıfır derecenin altında düştüğü seviyedir. Kuvvetli konvektif fırtınalarda bu seviyenin 7.000 ila 10.500 feet aralığında olmasının yere düşen dolu çapının büyük olmasını sağlayan şartlardan olduğu belirtilmektedir [3]. Bu değerin yüksekliği orta ve yüksek seviyenin kararlı olduğunu ayrıca düşen dolu tanesinin daha çok erime mesafesi kat edeceğini göstermektedir. Eğer atmosferin orta seviyelerinde kuru hava mevcutsa bu seviye daha düşük olacaktır.

CAPE (Potansiyel konvektif enerji) : Bir noktaki 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.

Rüzgar Sheari : Kuvvetli yüksek seviye rüzgarları ve rüzgar sheari gelişmekte olan fırtına bulutuna eğim kazandırır. Bu eğim hava parselinin yükselme hızını arttırarak kuvvetli hava olaylarının oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Böylece kuvvetli üst seviye rüzgar ve sheari mevcudiyetinde CAPE değerinin ve dolu çapının daha büyük olması beklenir.

PW (Yağışa dönüşebilir su) : Hava sütunundaki su buharının toplam değeridir ve genellikle milimetre yada santimetre olarak gösterilmektedir. Su damla ve buharının ağırlığı updraft kuvvetini etkiler. Ağırlık nedeniyle yerçekiminin etkisiyle su damlalarının aşağı itilmesi CAPE değerini de azaltıcı rol oynamaktadır. Bunlara bağlı olarak yüksek pw değeri potansiyel olarak büyük çaplı dolu oluşumunu engellemektedir. Yüksek pw değerlerinin kuvvetli sağanaklara neden olması beklenirken, düşük pw ile yüksek CAPE değerlerinin dolu çaplarını potansiyel olarak arttırdığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak; yüksek rakım, donma seviyesinin düşüklüğü, düşük pw değeri, orta seviyede kuru hava, yüksek CAPE ve kuvvetli rüzgar sheari dolu ihtimalini ve dolu büyüklüğünü arttırmaktadır. Tersine düşük rakım, yüksek donma seviyesi, yüksek pw değeri, nemli orta seviye, düşük CAPE ve zayıf rüzgar sheari dolu ihtimalini ve çapını azaltan faktörlerdir.

Ülkemizdeki bazı meteoroloji istasyonlarının uzun yıllar dolulu günler sayıları ve aylara göre dağılımı Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre en fazla dolu yağışı 5.8 gün ile Kars, 5.2 gün ile Bitlis

ve 4.8 gün ile Erzurum illerinde görülmektedir. Aylık dağılım incelendiğinde iç ve doğu bölgelerdeki dolu yağışlarının çoğunlukla ilkbahar ve yaz aylarında, İzmir ve Antalya gibi sahil illerinde ise soğuk dönemde gerçekleştiği görülmektedir.

Tablo 1: Ülkemizdeki bazı istasyonların dolulu günler sayısı

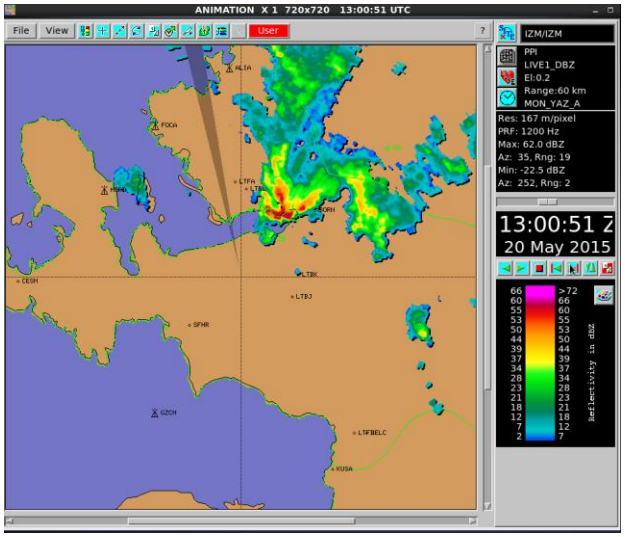
	AYLAR												
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Yıllık**
Antalya	0.4	0.5	0.3	0.2	0.0		0.0			0.2	0.2	0.4	2.2
Kars			0.0	0.9	1.7	1.5	0.5	0,8	0.3	0.1			5.8
Erzurum			0.1	0.9	1.7	1.0	0.3	0,2	0.2	0.3	0.1		4.8
Bitlis		0.1	0.6	1.5	1.4	0.5	0.0	0.0	0.1	0.5	0.5		5.2
Eskişehir	0.0	0.0	0.3	0.5	0.9	0.5	0.1	0.1		0.1	0.0		2.5
İzmir	0.4	0.6	0.3	0.3			0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	2.3
İstanbul	0.1		0.1	0.1	0.1	0.0		0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.7
Ankara	0.1	0.5	0.5	0.8	1.0	0.3	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	3.8
Trabzon	0.1	0.0		0.1	0.1	0.1			0.0	0.0	0.0	0.1	0.5
Diyarbakır		0.2	0.7	0.5	0.5	0.1				0.1	0.0	0.0	2.1

Kaynak: MGM Veri Arşiv Sistemi

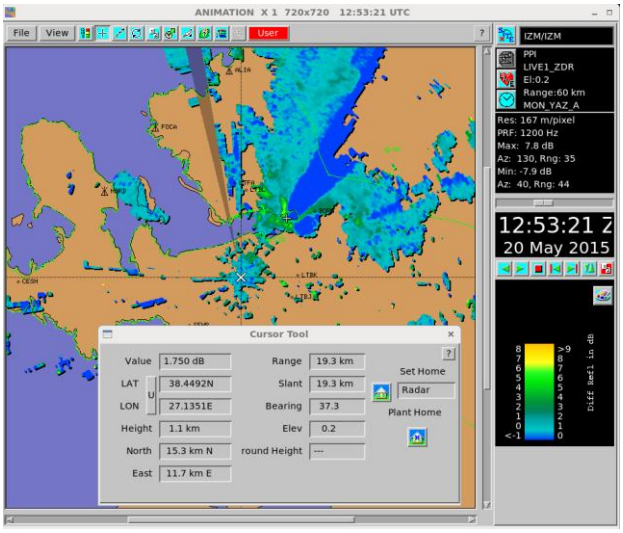
2. ÖRNEK OLAYLAR

2.1. 20 Mayıs 2015 İzmir Dolu Yağışı

20 Mayıs öğle saatlerinden sonra İzmir çevrelerinde dolu hadisesi yaşanmıştır. Olay saatine ait reflektivite değerlerini gösteren radar görüntüsü Şekil 1'de verilmişitir. Yüksek reflektivite değerleri doluyu diğer meteorolojik parametrelerden ayıran temel özelliklerindendir. Dolunun 55 dBZ ve üstü reflektivite değerlerinde görülmesi beklenir. 13:00 GMT de tam körfez üzerinde bulunan kütle 62 dbz değere kadar ulaşmıştır.

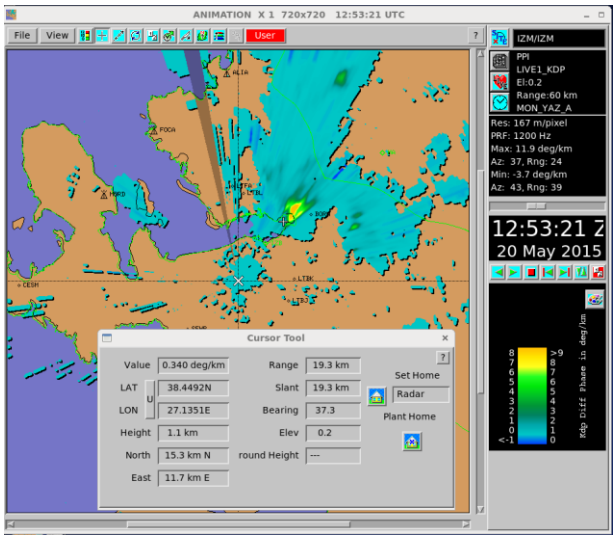


Şekil 1: *Reflektivite görüntüsü.*

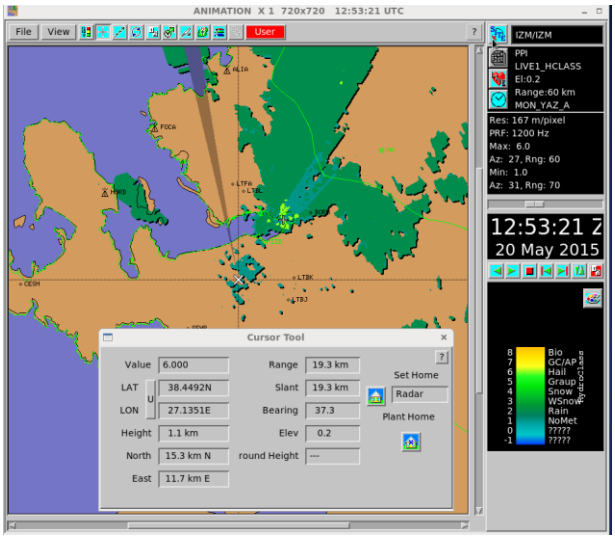


Şekil 2: *ZDR görüntüsü.*

V yapı yada uçan kartal şekli de kuvvetli bir fırtına bulutunun mevcudiyetini göstermektedir. V şekli süpercell göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Diferansiyel reflektivite (ZDR) görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir. Dolu ve küçük yağmur gibi küresel tanelerin ZDR değerinin sıfıra yakın, 0 ila 1 desibel (dB) aralığında olması beklenir. Eriyen, yumuşak ve sulu dolu tanelerinde yüksek değerler görülebilir. Bu değer nekadar büyükse taneciğin o kadar yassı olduğu anlaşılır. Olay anında ZDR değerinin doluya uygun olduğu görülmektedir.

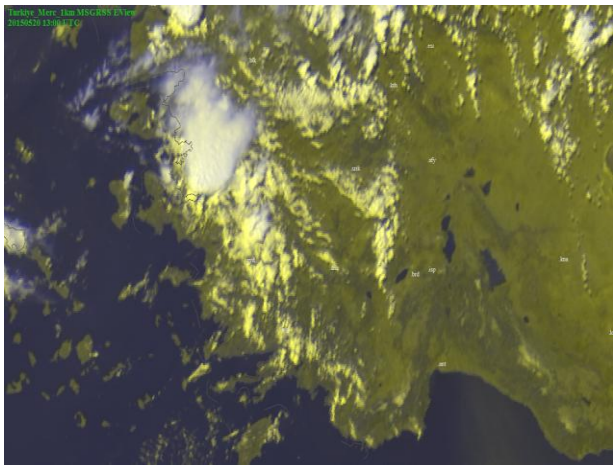


Şekil 3: *KDP görüntüsü.*

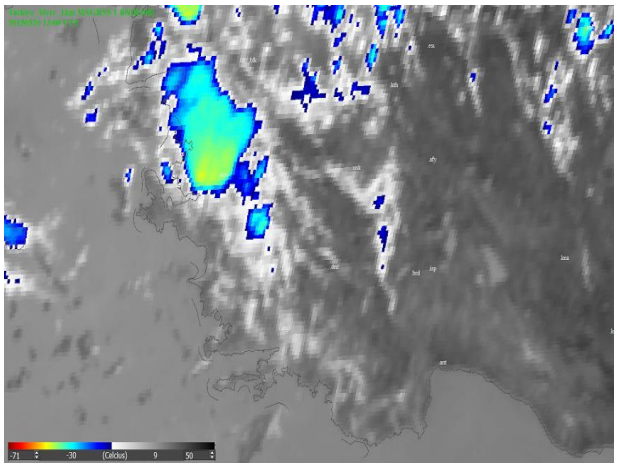


Şekil 4: *HCLASS görüntüsü.*

Şekil 3'te KDP ve Şekil 4'de HCLASS ürünlerinin görüntüleri verilmiştir. Her iki görüntüde de tam körfez kıyısında dolu yağışının işaretleri net olarak görülmektedir. Spesifik Diferansiyel Faz (KDP) değerinin dolu gibi küresel tanelerde örnekte olduğu gibi küçük değerler göstermesi beklenir. HCLASS ürününde körfez üzerinde daha açık renkli alanlar doludur. Sınıflandırma tablosuna bakıldığında 6 değeri, açık yeşil renk ve doluyu ifade etmektedir.

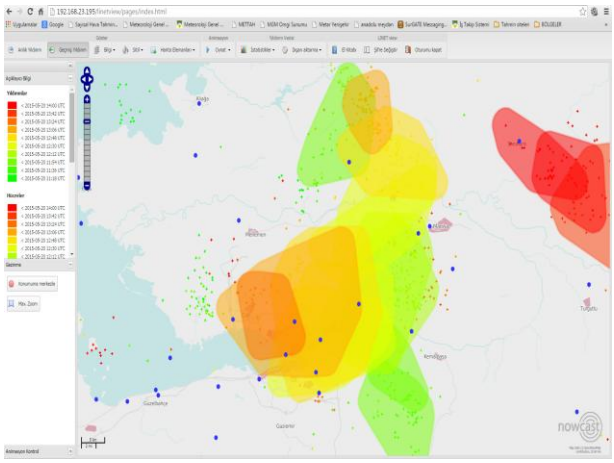


Şekil 5: *EView görüntüsü.*



Şekil 6: Kanal9 görüntüsü.

Olay saatine ait uydu görüntüleri yukarıda (Şekil 5 ve 6) verilmiştir. İzmir'in doğusundan kuzeye doğru uzanan 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 7: *YTTS görüntüsü.*

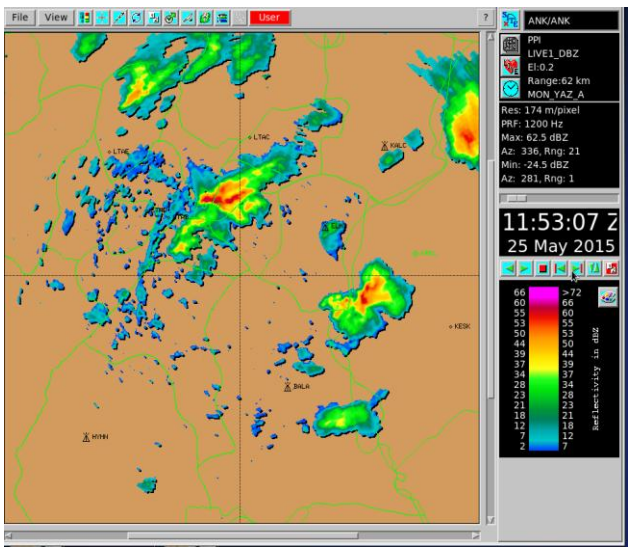


Şekil 8: *YTTS Google Earth görüntüsü.*

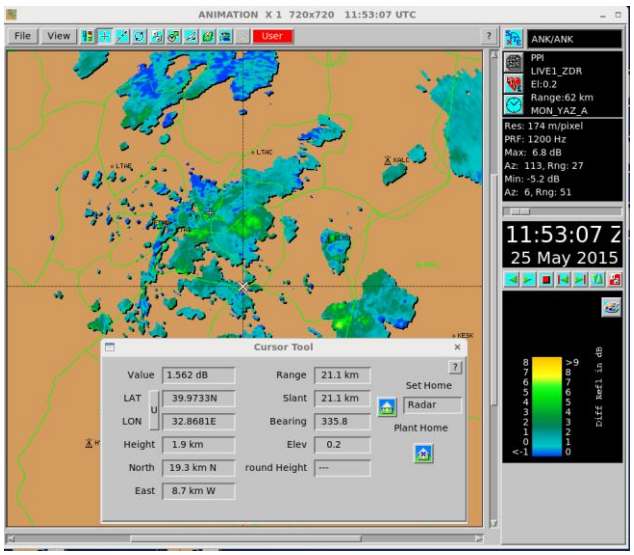
Bu yılın başında kullanılmaya başlanan Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi (YTTS) de şimşek ve yıldırım verileri ile oraj hücrelerinin takibinde tahmincilere fikir vermektedir. Şekil 7'de oraj hücreleri ve hareket yönleri, Şekil 8'de ise şimşek ve yıldırımın aktivitelerinin olduğu noktalar net olarak görülmektedir. Buna göre kuvvetli orajın İzmir ile Manisa'nın batısı arasında etkili olduğunu söyleyebiliriz.

2.2. 25 Mayıs 2015 Ankara Dolu Yağışı

25 Mayıs 2015 günü öğle saatlerinden sonra Ankara çevrelerinde gök gürültülü sağanak yağışla birlikte etkili olan dolu yağışının radar görüntüleri aşağıda verilmiştir. Şekil 9'da görüldüğü üzere 11:53 GMT itibarıyla Ankara üzerinde 62 dBZ yansıma değerine sahip oraj hücresi bulunmaktadır. Bu hücrenin de V yapıda yada uçan kartal şeklinde olduğu görülmektedir. Aynı saatte ki ZDR ürünü incelendiğinde yüksek reflektiviteye sahip kütlenin ZDR değerinin 1.5 civarında olduğu görülmektedir. Bu değer dolu için ideal olduğu düşünülen 0-1 aralığına yakındır. Sulu ve eriyen dolularda bu tür değerler alınabilir.

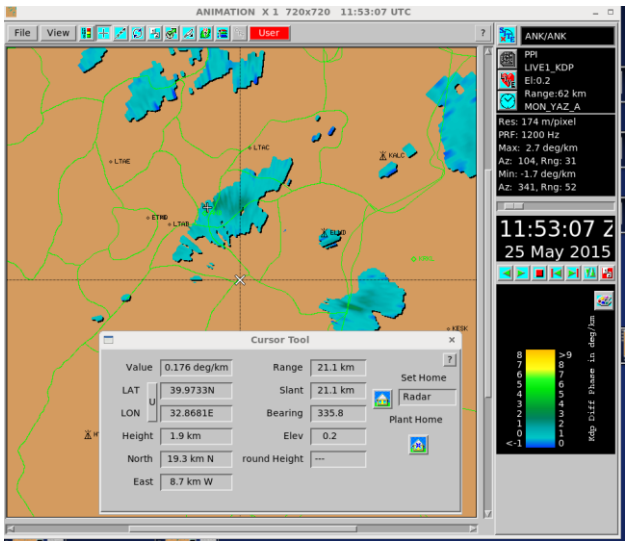


Şekil 9: *Reflektivite görüntüsü.*

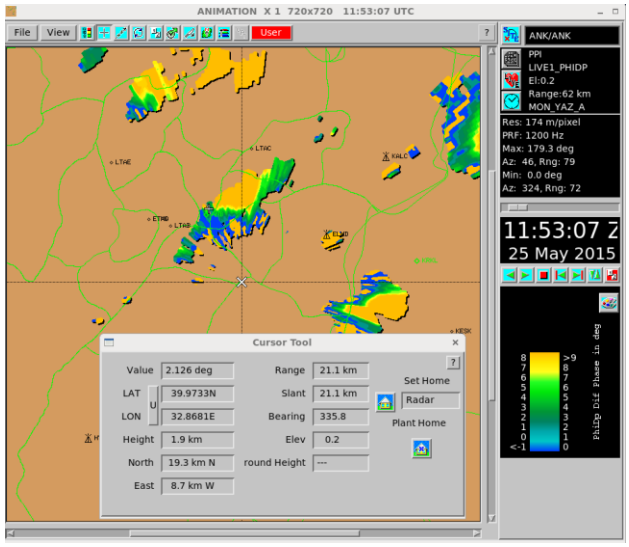


Şekil 10: *ZDR görüntüsü.*

Şekil 11' de KDP, Şekil 12'de ise PHIDP ürünlerine ait görüntüler verilmiştir. Hadisenin yaşandığı saatte KDP değeri 0.176'dır ve bu değer dolu şartlarında beklenen sıfıra çok yakındır.

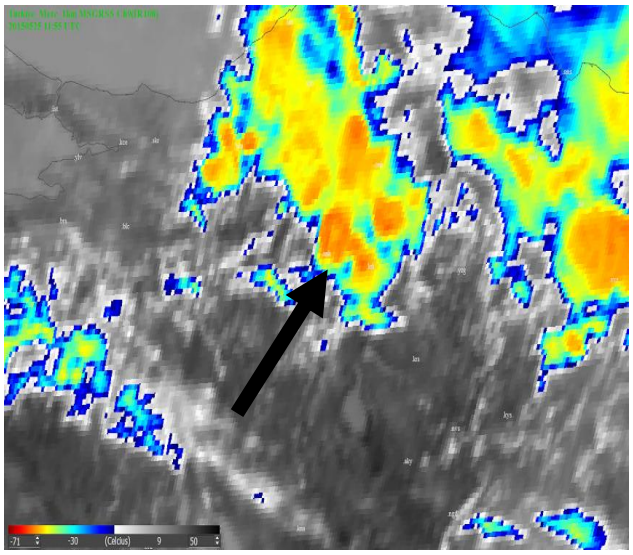


Şekil 11*: KDP görüntüsü.*

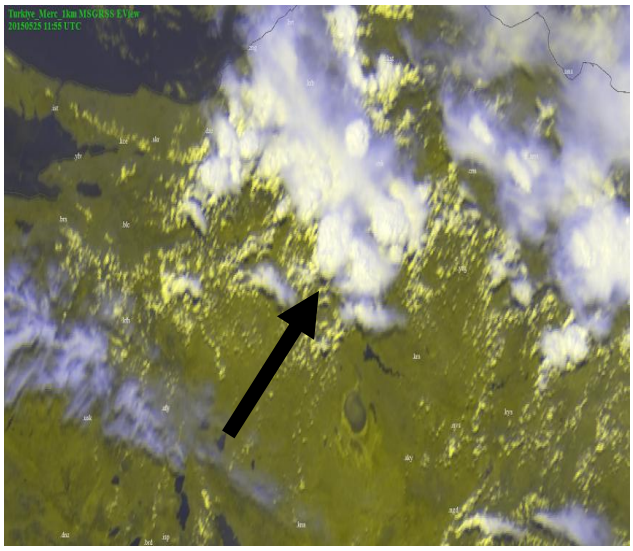


Şekil 12*: PHIDP görüntüsü.*

Olay saatine ait uydu görüntüleri Şekil 13 ve 14'de verilmiş ve Ankara oklarla gösterilmiştir. İç Anadolu'nun kuzeyi ile Batı Karadeniz'de dikine gelişen fırtına bulutları görülmektedir. Kanal9 görüntüsündeki sarı-turuncudan kırmızıya çalan renkler bulut tepe sıcaklığının çok düşük olduğunun dolayısıyla kuvvetli konvektif faliyetlerin olduğunun göstergesidir. Kuvvetli yukarı yönlü hareketlerle bulut tavanına taşınan buz parçacıkları özellikle RGB uygulamaları ile net olarak belirlenebilmektedir.



Şekil 13*: Kanal9 görüntüsü.*

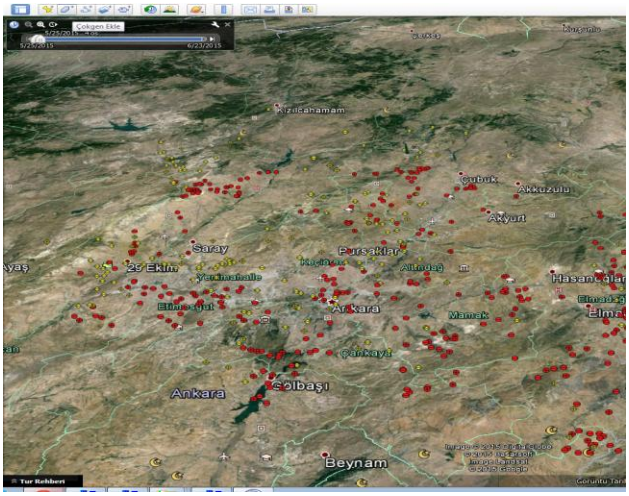


Şekil 14*:* EView görüntüsü.

Şekil 15 ve 16'da 25 Mayıs günü Ankara çevrelerinde yaşanan şimşek ve yıldırım aktiviteleri verilmiştir.Buna göre oraj hücresi Ankara Merkezin kuzey ve doğusunda özellikle Keçiören, Altındağ, Mamak ve Pursaklar ilçelerinde etkili olmuştur.



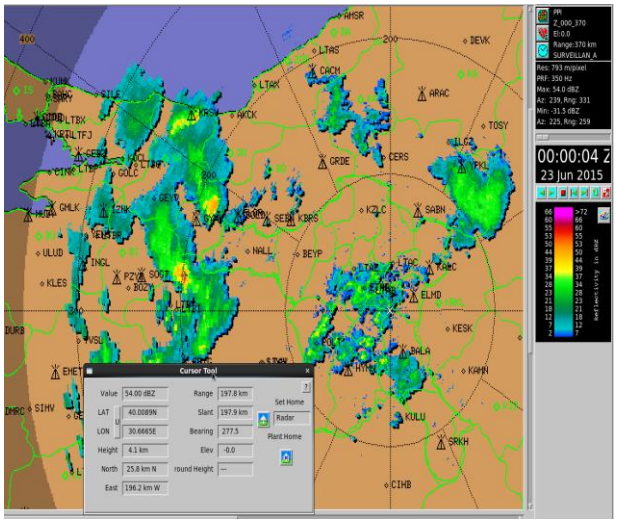
Şekil 15*: YTTS görüntüsü.*



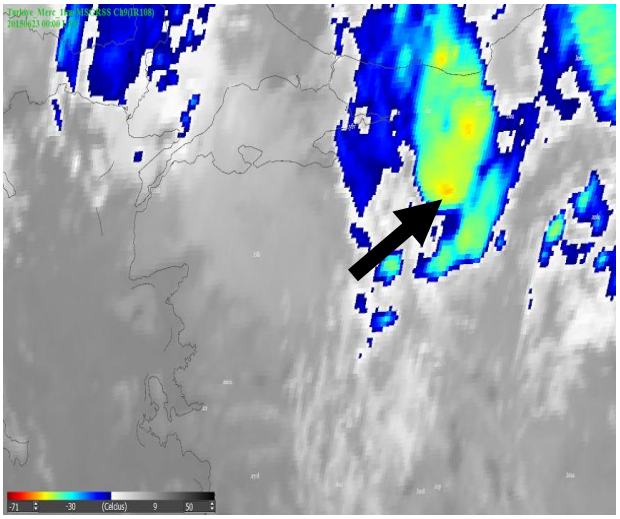
Şekil 16*: YTTS Google Earth görüntüsü.*

2.3. 23 Haziran 2015 Eskişehir Dolu Yağışı

Dolu genellikle gündüz saatlerinde meydana gelen meteorolojik bir hadisedir. Gece saatlerinde nadiren yağar. 23 Haziran günü ilk saatlerde Eskişehir çevrelerinde gök gürültülü sağanak yağışla birlikte etkili olan dolu Yukarısöğütönü, Alınca, Keskin, Satılmışoğlu, Turgutlar ve civardaki köylerde tarım ürünlerine büyük ölçüde zarar vermiştir. Haziran ayında Bursa radarı test yayınında olduğu için geçmiş verilere ulaşılamamış bu nedenle Ankara radar görüntüleri kullanılmıştır. Şekil 17'de olay anına ait radar görüntüsü verilmiştir. Buna göre Eskişehir'in kuzeybatısında 54 dBZ yansıma değerine sahip hücreler mevcuttur. Olay yerinin radar noktasından 200 km uzakta olması ve PPI ürünü olması bu değerin düşük ölçülmesine neden olmuştur. Kuvvetli konvektif faliyet Kütahya- Eskişehir'in batısı- Sakarya doğrultusunda etkili olmuştur.

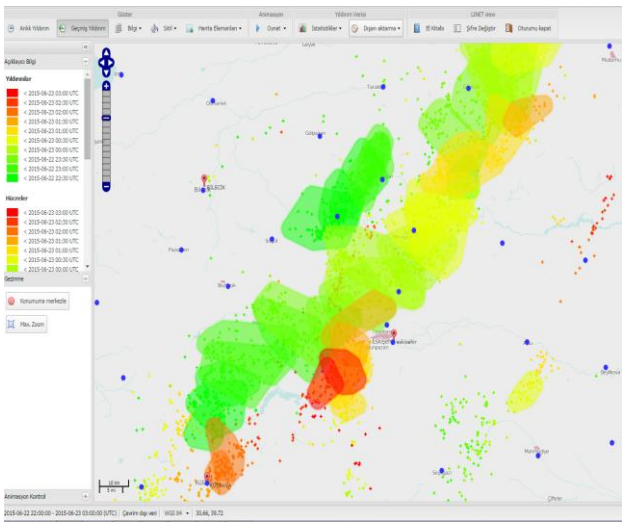


Şekil 17: *Reflektivite görüntüsü.*

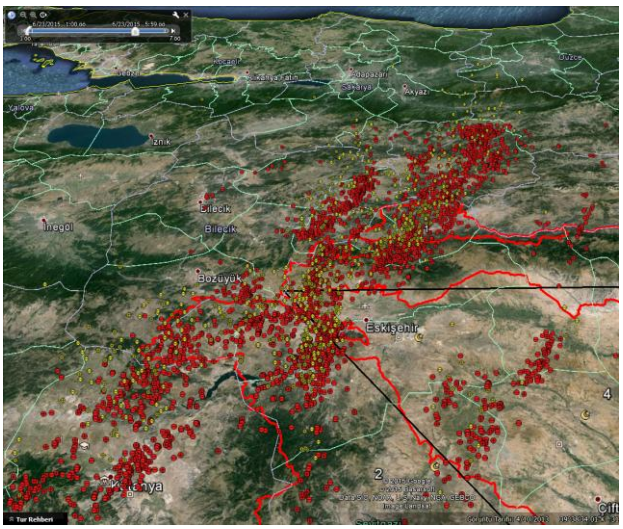


Şekil 18: *Kanal9 görüntüsü.*

Kanal9 uydu görüntüsünde tepe yapmış fırtına bulutu mevcuttur. Şekil 19 ve 20'de Yıldırım Takip Sistem görüntüleri verilmiştir. Buna göre olayın yaşandığı saatlerde bölgede çok fazla yıldırım ve şimşek gözlenmiştir.



Şekil 19: *YTTS görüntüsü .*



Şekil 20: *YTTS Google Earth görüntüsü.*

3. 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, 0 ila 1 arası ZDR değeri, yine sıfıra yakın KDP ile HCLASS ürünü dolu tesbitinde tahmincilere önemli ip uçları vermektedir. Uydu verilerinden elde edilen bulut tepe sıcaklık ve yüksekliği, tropopozu aşma durumları, soğuk halka ile soğuk U veya V harfi şeklinde görüntüler kuvvetli yapıların buna bağlı olarakta dolunun habercisi niteliğindedir. Son zamanlarda kullanmaya başladığımız YTTS'nin de aktivite ve hücrelerin belirlenmesinde tahmincilere yarar sağlayacağı aşikardır.

KAYNAKLAR

[1] http://www.mgm.gov.tr, Son Kontrol: 04.10.2015.

[2] http://www.theweatherprediction.com/severe/hail/, Son Kontrol: 10.10.2015

[3] http://forecast.weather.gov/glossary.php?word=wet%20bulb%20zero, Son Kontrol: 10.10.2015

AKDENİZ VE KARADENİZ ÜZERİNDEKİ YAĞIŞ REJİMLERİNİN UYDU VERİLERİ İLE BELİRLENMESİ

Ayşe İrem İNCİRCİ
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
İTÜ, Uçak ve Uzay Bilimleri Fak.
İstanbul
ayseincirci@hotmail.com

Ahmet ÖZTOPAL
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
İTÜ, Uçak ve Uzay Bilimleri Fak.
İstanbul
oztopal@itu.edu.tr

ÖZET

Yağış kaynaklı doğal afetlerin (sel, taşkın, vb.) önlenebilmesi ile su kaynakları ve havza yönetimi için yağışların ölçümü, modellenmesi ve tahminleri çok önemlidir. Kurulu olan yağış ölçer ağları hem zaman hem de uzay değişkenliklerinin yüksek olması nedeniyle, küçük ölçeklerdeki şiddetli yağışların belirlenmesinde çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Mevcut hava tahminlerinin son yıllardaki güvenilir sonuçlarına rağmen konvektif yağışların zaman ve alan yağış desenleri tam olarak yakalanamamaktadır. Bu sebeple uydulardan elde edilen bilgiler hava tahmin modellerine girdi olarak kullanılmaktadır.

Uzaktan algılamayla yağış türü ve miktarının belirlenmesi meteoroloji alanı için önemli bir konudur. Bu amaçla meteorolojik uydular ve radarlar kullanılmaktadır. Uydular bunlar arasında kapsama alanı ve zaman çözünürlüğü en yüksek olan sistemlerdir. Bu da uydu sistemleri için önemli bir avantaj olmaktadır.

Çalışmada EUMETSAT'ın CM-SAF merkezinde elde edilen denizler üzerindeki aylık ortalama yağış verisiyle çalışılmıştır. Veriler küresel ölçektedir ve veri setlerinin zamansal aralığı 7 Ocak 1987'den 12 Ocak 2008'e kadardır. CDO (Climate Data Online) ve Grads (Grid Anaylsis and Display System) programları kullanılarak bu verilerin analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda, gerek aylık ve gerekse mevsimlik değerlendirmede aylık ortalama ve en yüksek yağış değerlendirmelerinde öne çıkan 2 bölge bulunmaktadır. Bunlardan biri Batı Karadeniz ve ikincisi ise İtalya ve Yunanistan arasında kalan Ionian Denizi'dir. Bu iki bölge hem ortalamada hem de en yüksek değer olarak yüksek yağışa sahip bölgelerdir.

Mevsimsel değerlendirmelere göre maksimum yağış değerleri Karadeniz için kış mevsiminde Akdeniz için sonbahar mevsiminde gözlenmektedir. En düşük değerler ise iki deniz içinde yaz mevsiminde görülmektedir. Yaz aylarındaki düşük değerler kuzey yarıkürenin ısınması neticesinde kuzeydeki yağış getiren sistemlerin güneye inemeyerek bu bölgelerin genelde Azor Yüksek Basınç alanının etkisinde olmasındandır.

Anahtar Kelimeler - uzaktan algılama, yağış hızı, Akdeniz ve Karadeniz, EUMETSAT, CM-SAF

1.GİRİŞ

1.1 Genel

Son 30 yıl içerisinde çok hızlı bir şekilde gelişen teknolojiyle birlikte kendi içinde de önemli bir gelişim ve değişim gösteren uzaktan algılama teknikleri birçok farklı alan için hizmet vermektedir.

Halen bilgisayar desteğine başvurulan ve uzaya gönderilen uydular ile yapılan uzaktan algılama çalışmaları kaynakların gereksiz kullanılmasını önleyerek bilgiye küresel ölçekte ulaşılmasına olanak sağlar. Gerekli fizibilite çalışmalarının kısa sürelerde daha doğru bir şekilde yapılmasını ve doğal kaynak rezervlerinin kesin bir şekilde tespit edilmesine imkân verir. Böylece kaynak ve zamanın gereksiz kullanımından da kaçınılmış olur ayrıca doğal kaynaklar tahrip edilmeden, ekolojik dengeye zarar verilmeden çalışmalar ve projeler için gerekli adımlar atılmaktadır. Dolayısıyla uzaktan algılama çalışmaları ile birlikte daha mantıklı ve daha sağlıklı modüllerin oluşturulmasına katkıda bulunulmaktadır.

Uzaktan algılama son yıllarda doğal kaynakların nicelik ve niteliklerinin belirlenmesi aşamasında sıkça başvurulan bir teknoloji olmuştur. Söz konusu teknolojinin olanaklarından yararlanılarak yapılan çalışmalarla daha güvenilir, daha bilinçli ve oldukça hızlı bir şekilde doğal kaynakların ekonomiye olan katkısının arttırılması sağlanabilmektedir.

Meteoroloji amaçlı uzaktan algılama uyduları, hedeflerin yüksek duyarlıkla algılanabilmesi için, çoğunlukla yeryüzüne daha yakın yörüngelere yerleştirilirler. Bu uydular, yörüngeleri etrafında dönüşleri sırasında, taşıdıkları radarlar ve sensörler aracılığı ile yeryüzünden topladıkları verileri gene yeryüzünde bulunan kontrol istasyonlarına iletirler. Örneğin alçak yörüngeli askeri uydular aracılığı ile yeryüzündeki hedefler milimetre mertebesinde çözünürlüklerde algılanabilir. Bu sistemlerde sinyal iletimi büyük oranda uydudan yeryüzüne doğrudur.

Yağış kaynaklı doğal afetlerin tahmin ve modellenmesi su kaynakları ve havza yönetimi için oldukça önemlidir. Hem zaman hem uzay dağılımı olarak bakıldığında yeryüzünde kurulu olan yağışölçerler büyük değişkenlikler göstermektedir. Küçük ölçekli şiddetli yağışların belirlenmesinde bu nedenle zorlaşır [1].

Son on yıldır daha güvenilir sonuçlar alınmaya başlanmış olmakla beraber, hava tahmin modelleri yine de küçük ölçeklerdeki şiddetli yağışları belirleyememektedir. Bu eksikliği bir ölçüde giderebilmek için son zamanlarda uydular yoluyla yağış bilgisi hava tahmin modellerine giriş verisi olarak kullanılmaktadır [1].

Uzaktan algılama sistemlerindeki bu gelişmelerle birlikte yağışların türü ve miktarını belirlemek de daha kolay hale gelmiştir. Sinoptik ölçekte görüşe ve düzenli veri sistemine sahip olan uydu sistemleri özellikle konvektif sistemlerin belirlenmesi ve tahmininde önemli katkılar sağlamaktadır. Uydu görüntüleri, yer istasyonlarında oluşabilecek herhangi problemlerden dolayı veri temininde karşılaşılabilecek olumsuzluklara karşı en önemli alternatiftir. Yerden 36000 km uzaklıktaki yer yörüngeli meteorolojik uyduların yüksek zaman ve alan çözünürlüğüne sahip gece gündüz görüntü alınan kızılötesi kanalı ve sadece gündüz görüntü alınan görünür kanalı sayesinde tüm gün boyunca yağış takip edilebilmektedir [1].

Son on yılda daha geniş alanların kapsanması ve daha doğru yağış tahminlerinin sağlanması için çeşitli mekânsal ölçek ve çözünürlüklere sahip uydu bazlı yağış sensörleri geliştirilmiştir. Meteorolojik istasyonlar ile diğer yağışölçerler, uydu verilerinden sağlanan yağış verilerinin

doğrulanması çalışmalarında tamamlayıcı unsurları olup, uzaktan algılama tabanlı yağış tahminlerinin hem oluşturulması hem de doğrulanmasında önemli rol oynamaktadırlar [2].

Uydu teknikleri hem iklim ölçekli hem de anlık yağış tahmininde etkili olmaktadır [3]. Ancak bu yöntemler dolaylı ve bazen semisubjektif olmaktadır. Bu yüzden stratiform veya ekstratropikal enlemlerdeki sıcak yağışlardan olan büyük sistematik ve rasgele hatalara özellikle duyarlıdırlar.

Pasif mikrodalga cihazları doğrudan fiziksel olarak yağış tahminlerine olanak tanır. Radar ve uydu ile olan uzaktan algılama yağış türü ve miktarının belirlenmesinde önemli tekniklerdendir. Hava tahmin modellerini destekleyen uzaktan algılama teknikleri konvektif sistemlerin tahmini ve belirlenmesinde önemli roller oynamaktadırlar. Yer istasyonlarında meydana gelebilecek herhangi bir problemden dolayı veri temininde karşılaşılabilecek aksaklıklara karşı en önemli seçenek uydu görüntüleri olmaktadır [4].

Son yıllarda, uydular deniz yüzeyi enerji bütçesinin bileşenlerini belirlemek için kullanılır olmuştur [5].

Bu çalışmada CM SAF verileri kullanılarak ülkemizin güneyinde bulunan Akdeniz ve kuzeyinde bulunan Karadeniz denizleri üzerindeki yağış analizi yapılacaktır. Kullanılan veriler aylık ortalama yağış değerleri olup bu veri, uydunun yörüngeden geçerken SSMI sensörünün elde ettiği anlık mikro dalga verisinin bir yapay sinir ağı ile modellenmesi neticesinde hesaplanan deniz üzerindeki yağış hızı değişkeninden elde edilmektedir. Çalışma kapsamında CDO ve GRADS programları yardımıyla veriler işlenecek, verilerden görüntüler elde edilecek ve bu görüntüler yorumlanacaktır.

1.2 Çalışma Bölgesi

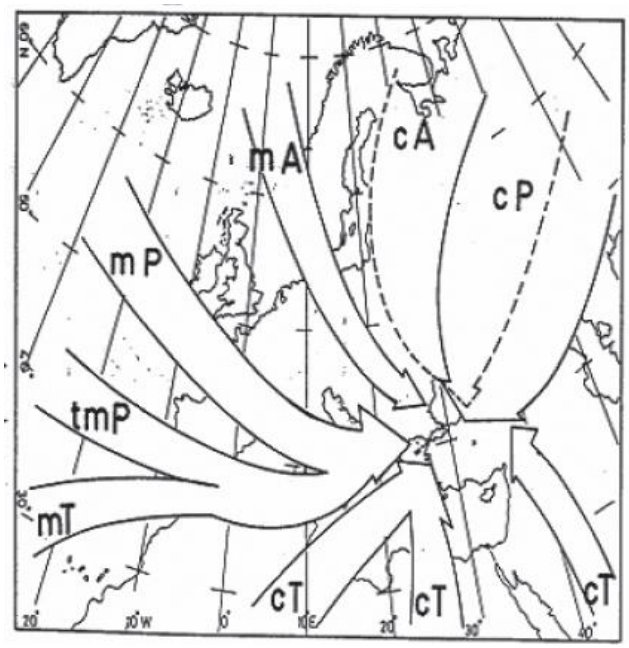
Şekil 1'den görüldüğü üzere çalışma alanı Akdeniz ve Karadeniz olarak belirlenmiştir.



Şekil 1: Çalışma Bölgesi

2. ÇALIŞMA ALANINI ETKİLEYEN HAVA KÜTLELERİ

Çalışma alanı olan Akdeniz ve Karadeniz etkileyen hava kütleleri Şekil 2'den görülmektedir. Bu şekilde belirtilen hava kütleleri kuzey kaynaklı olarak sırasıyla Karasal Kutup (cP), Karasal Arktik (cA), Denizsel Kutup (mP), Denizsel Arktik (mA), Ilıman Denizsel Kutup (tmP) hava kütleleri olup, güney kaynaklı olanlar ise Denizsel Tropik (mT) ve Karasal Tropik (cT) hava kütleleridir. Kış aylarında kuzeyli sistemler baskınken yaz aylarında güney yarıküredeki ısınmadan dolayı kuzeyli sistemlerin güneye inememesi nedeniyle güneyli sistemler etkisini göstermektedir. Başka bir deyişle kış aylarında, dinamik karakterli olan İzlanda Alçak Basınç alanı; termal kaynaklı olan Sibirya Yüksek Basınç alanı; orta enlem gezici siklonları ve cephesel sistemler yağış bırakırken yaz aylarında, termal karakterli olan Azor Yüksek Basınç alanı etkisini hissettirerek özelikle Akdeniz'de yağışların düşmesine neden olmaktadır. Ancak Basra Oluğu yardımıyla Doğu Akdeniz ve Karadeniz'de yaz aylarında yağışlar görebilmek mümkündür.



Şekil 2: Çalışma alanını etkileyen hava kütleleri [6]

3. ÇALIŞMADA KULLANILAN VERİ SETİ VE VERİ SETİNİN ELDE EDİLDİĞİ ALGORİTMA

Çalışmada EUMETSAT'ın CM-SAF merkezinde elde edilen denizler üzerindeki aylık ortalama yağış verisiyle çalışılmıştır. Bu veri seti DMSP uydusu üzerinde yer alan SSMI sensörünün elde ettiği pasif mikrodalga verisinin bir yapay sinir ağı modeliyle modellenmesi sonucunda elde edilmiştir. Aşağıda DMSP uydusu, onun üzerinde yer alan SSMI sensörü ve veri setinin eldesinde kullanılan algoritmadan bahsedilecektir.

3.1 DMSP (Savunma Meteorolojik Uydu Programı)

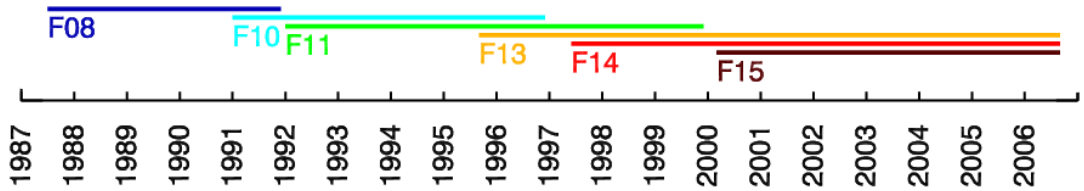
ABD hava kuvvetlerinin işlettiği bir uydu programıdır. Gece ve gündüz dünyayı kapsayan algılama gücüne sahiptir. Gece süresince kentsel bölgeleri, petrol ve gaz alanları ile orman yangınlarını, volkanları izlemek mümkündür. Son elli yıl içinde DMSP uyduları zamanında tahminlerle milyon dolarlar ve birçok insan hayatının kurtarılmasında önemli bir araç olmuştur. DMSP ile bulut kaplama alanı, yağış miktarı, sıcaklık, toprak sıcaklığı hakkında bilgi elde edilebilmektedir.

3.2 HOAPS SSM/I Veri Kaynaklarının İşlenme Zinciri

SSM/I sensöründen elde edilen CM SAF HOAPS veri seti yarı küresel bazda buz barındırmayan okyanus yüzeyinde ±180° boylamında ve ±80° enleminden elde edilir. Anlık SSM/I veri alımları özgün geniş alanlarda alan-zaman ortalama veri setlerinin elde edilmesinde kullanılır. Ürünler 6

saatlik kompozitler olarak ve aylık ortalama 0,5 ° × 0,5 ° derecelik bir mekânsal çözünürlüğünde düzenli bir enlem ve boylam arasında mevcuttur. Veri setlerinin zamansal kapsama aralığı 7 Ocak 1987 den 12 Ocak 2008 arasında değişmektedir.

SSM/I sensörü 1987'den beri DMSP uydusu üzerinde bulunmaktadır. Şekil 3' de gösterildiği gibi aynı anda en fazla üç radyometre yörüngede bulunmuştur ve şu an F15, F14 ve F15 uyduları aktif durumdadırlar.



Şekil 3: HOAPS işlemi için DMSP uydu platformlarında SSM/I cihazının zamansal kapsaması [7]

DMSP uydusu güneşle merkezli bir şekilde yer yüzeyine yakın bir yörüngede, 98,8°'lik bir eğimle 860 km yükseklikte bulunmaktadır. Her gün 102 dakikalık periyotlarla Dünya'yı 14,1 defa turlar. Dünya yüzeyini, 53,1°'lik zenit açısı ile 1400 km bir şerit uzunluğunda konik bir biçimde tarar. SSM/I Dünya'nın tamamına yakınını 2 ila 3 gün içerisinde kapsar. Yörünge eğimi ve alan genişliği nedeniyle kutup noktaları ve 87,5° enlemleri arasını kapsayamamaktadır.

SSM/I; 19,35; 22,235; 37,0 ve 85,5 Ghz merkezli, dört frekans aralıklarında yayılan mikrodalga radyasyonu ölçen toplam yedi kanallı radyometre gücüdür. Sadece dikey polarize edilen radyasyonu ölçen 22,235 GHz kanalı dışında tüm frekanslar dikey ve yatay polarizasyonda örneklendirilir. Bundan böyle; kanallar 19, 22, 37 ve 85 GHz olarak ve her kanal ve polarizasyona uygun gelen parlaklık ısısı TB19v / h, TB22v, TB37v / h ve TB85v / h. olarak adlandırılacaktır.

3.3 Yağış Hızı

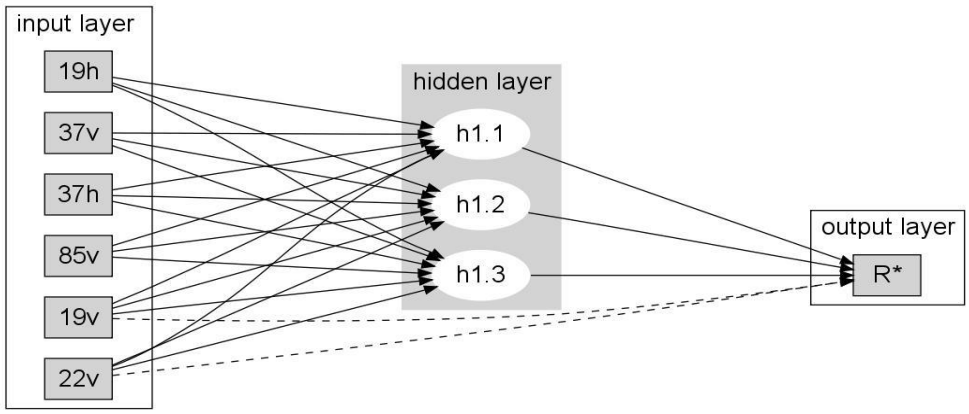
Yağış; mikrodalga tabanlı radyasyon alanının hidrometeorlarla (su, buz parçacıkları) doğrudan etkileşimine dayanmaktadır. Bulut ve yağmur partikülleri gelen emisyon ve saçılma ile küçük frekanslarda parlaklık sıcaklıklarını arttırır ve radyometrik soğuk deniz yüzeyine göre yüksek frekanslarda parlaklık sıcaklıklarını azaltır.

3.4 Yağış Sinir Ağı Algoritması

Genelde okyanus yüzeyindeki yağış algoritması girdi verisi P'ye bağlıdır. P giriş vektörüdür. G çıkış vektörüdür. F ise transfer fonksiyonudur.

(1)

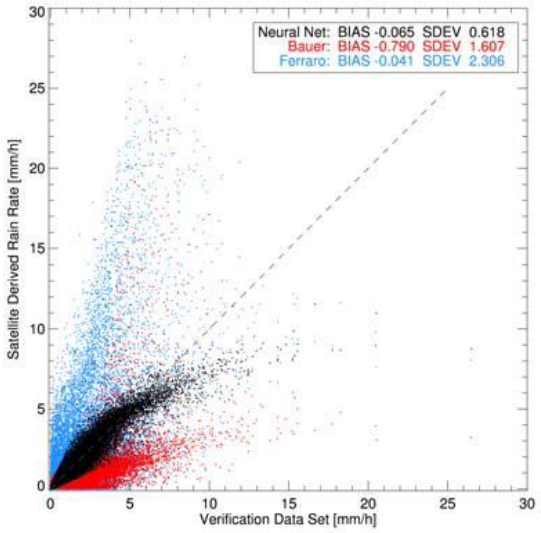
Transfer fonksiyonu bu durumda bir sinir ağı kullanılarak hesaplanmaktadır. Yağış alma algoritmasının sinirsel ağ mimarisi Şekil 4' de görülmektedir.



Şekil 4: Yağış alma algoritmasının sinirsel ağ mimarisi [7]

Yağış algoritması için tam bağlı 3-katmanlı ileri beslemeli ağ inşa edilmiştir. Bu ağ TB19v/h, TB22v, TB37v/h,ve TB85v de altı nöronla giriş katmanına, aktivasyon fonksiyonu olarak tanh işlevini kullanarak üç doğrusal olmayan nöronlu bir gizli katmana ve yağış hızıyla alakalı olan bir doğrusal nörona sahiptir. Ek olarak çıkış nöron TB19v ve TB22v ek direkt lineer bağlantılara sahiptir.

Sinir ağı için belirlenen eğitim verileri Bauer ve diğ. (2006a, b)'nin [9, 10] açıklandığı gibi ışınım transferi hesaplamalarına dayanmaktadır. Yersel doğrulama için ECMWF 1D-Var Orta Vadeli Hava Tahmin Avrupa Merkezi (ECMWF) modelin yağış değerleri kullanılmıştır.



Şekil 5: Farklı yağış algoritmalarının karşılaştırılması [7]

Şekil 5 doğrulama veri setinin karşılaştırması olarak eğitim prosedürünün sonuçlarını gösterir. Burada Bauer ve Ferraro'nun düzeltilmiş dağılma algoritması kullanılmıştır [7]. Beklendiği gibi yapay sinir ağları diğer veri setleriyle karşılaştırıldığında yağış hızı incelenmesi ve data seti oluşturulmasında daha iyi performans sergilemektedir. Siyah bölge sinir ağı algoritmasından alınan yağış oranını, mavi bölge Bauer Schlüssel algoritmasını, kırmızı bölge ise Ferraro (1997) algoritmasını temsil etmektedir.

4. UYGULAMA

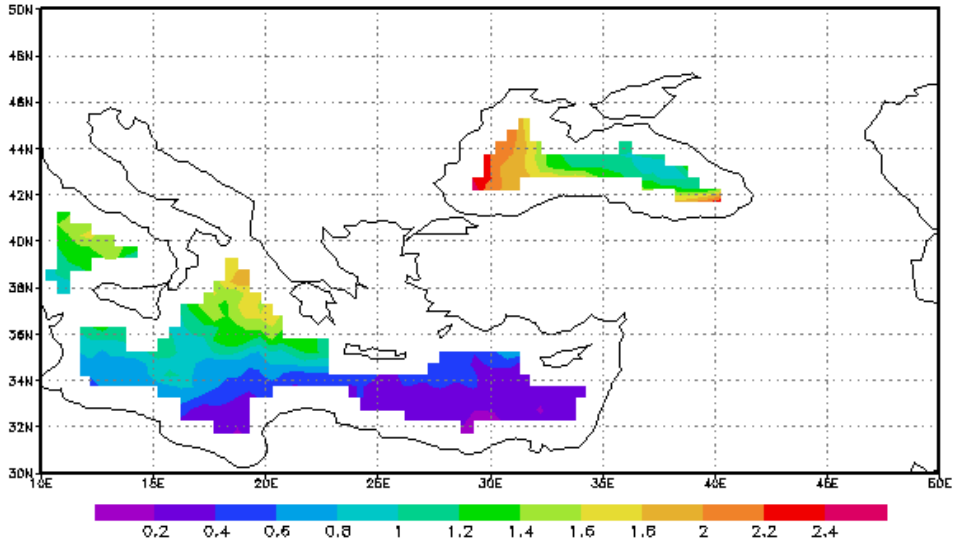
Bu çalışmada 6 saatlik aralıklarla uydudan elde edilen yağış hızından (anlık yağıştan) hesaplanan aylık ortalama yağış verileri kullanılmıştır. Bu bölümde bu veriler kullanılarak belirlenen mevsimlik ortalamalar ile mevsimlik en yüksek değerler analiz edilecektir. Bu sonuçlardan hareketle de Doğu Akdeniz ve Karadeniz denizleri üzerindeki yağışların alansal değişimi ile birbirleri ile olan karşılaştırılmaları sunulacaktır.

4.1. Elde Edilen Çıktılar

4.1.1 Mevsimlik Ortalama Yağış Değerleri

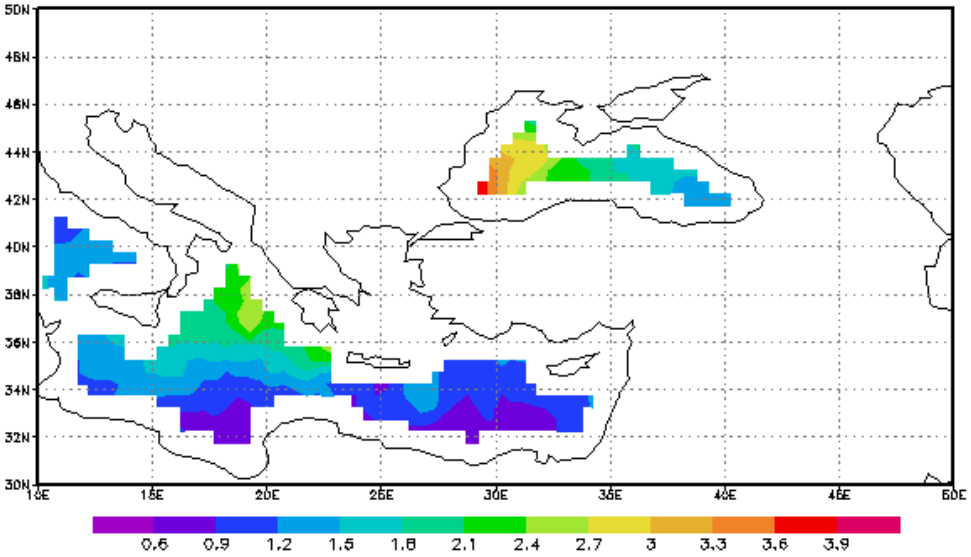
Şekil 6, 7, 8, ve 9; 21 sene boyunca 6 saatte bir uydudan alınan anlık değerlerden elde edilen aylık ortalama yağış değerlerinin mevsimsel olarak değerlendirmelerini göstermektedir.

Şekil 6'dan den görüldüğü üzere sonbahar mevsimine bakılacak olursa Karadeniz için en yüksek ortalama yağış değerlerinin Batı Karadeniz'de görüldüğü, Akdeniz içinse Ionian Denizinde görüldüğü söylenebilir. Aylık değerlerden yola çıkılarak bakıldığında da durumun böyle olması beklenmektedir.



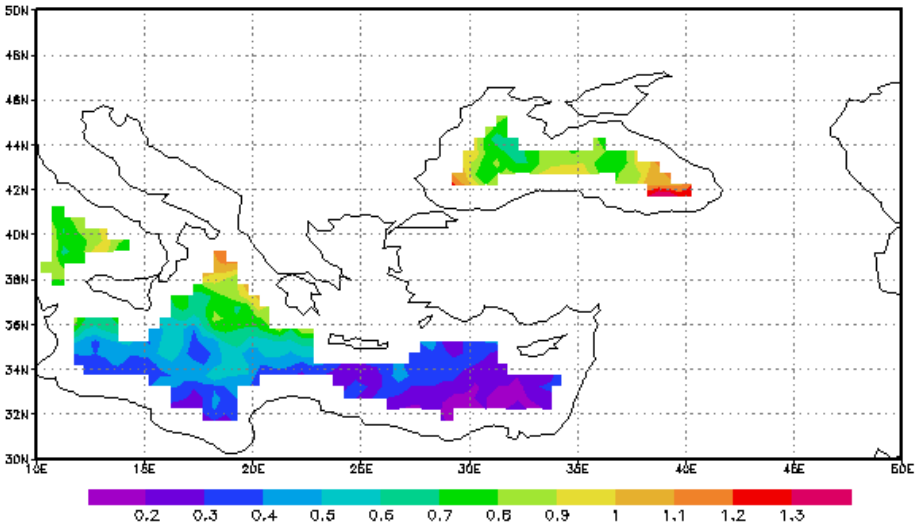
Şekil 6: Sonbahar mevsimi ortalama yağışlar (mm/gün)

Kış mevsimine gelinmesi ile aylık ortalama yağış değerleri yükselmiş fakat gene en çok olduğu yerler Karadeniz'in batı bölgesi, Akdeniz'de Ionian Denizi ve civarındadır.



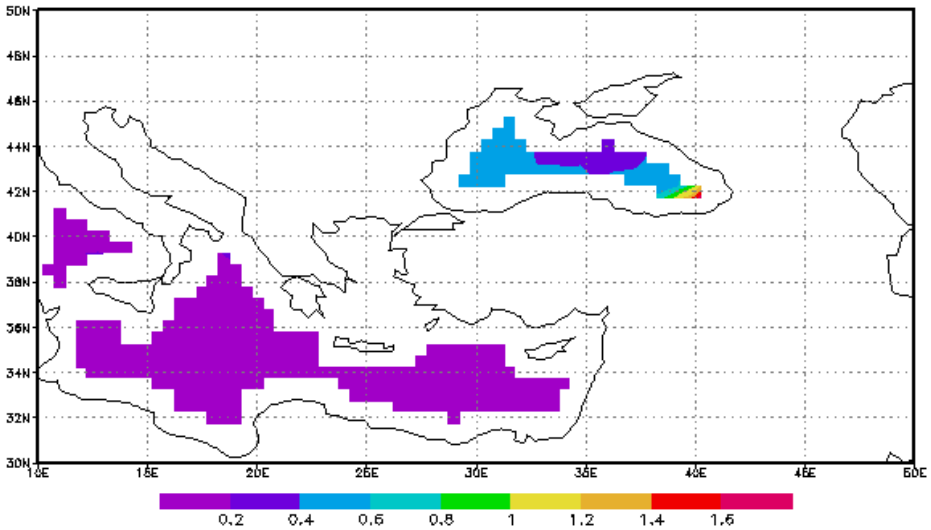
Şekil 7: Kış mevsimi ortalama yağışlar (mm/gün)

Şekil 8 ile ilkbahar mevsimine bakılacak olursa ortalama yağış değerlerinin kış mevsimine göre belirgin olarak azaldığı görülmektedir.



Şekil 8: İlkbahar mevsimi ortalama yağışlar (mm/gün)

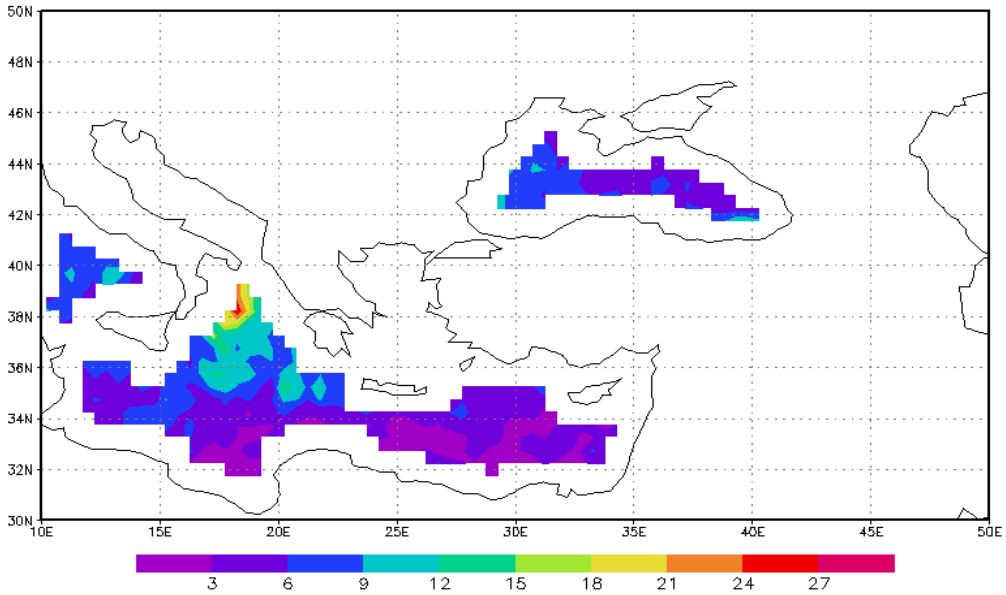
Yaz mevsiminde ise ortalama yağış değerlerinin diğer mevsimlere nazaran belirli ölçüde düştüğü görülebilmektedir (Şekil 9). Akdeniz'de neredeyse yok denecek kadar az, Karadeniz genelinde ise Akdeniz'den daha yüksektir.



Şekil 9: Yaz mevsimi ortalama yağışlar (mm/gün)

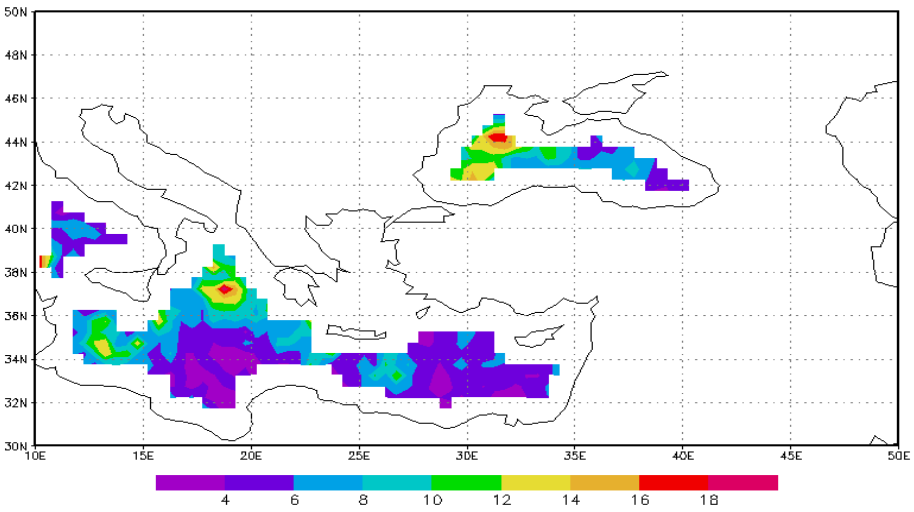
4.1.2 Mevsimlik Maksimum Değerler

Şekil 10'a göre sonbahar maksimum yağış değerlerine bakıldığında Akdeniz'deki değerler genel olarak Karadeniz'dekilere yakındır fakat Ionian Denizi'nde biraz daha yüksek değerler görülmüştür. Akdeniz'de en yüksek değerler 9-21 mm/gün arası değişmektedir.



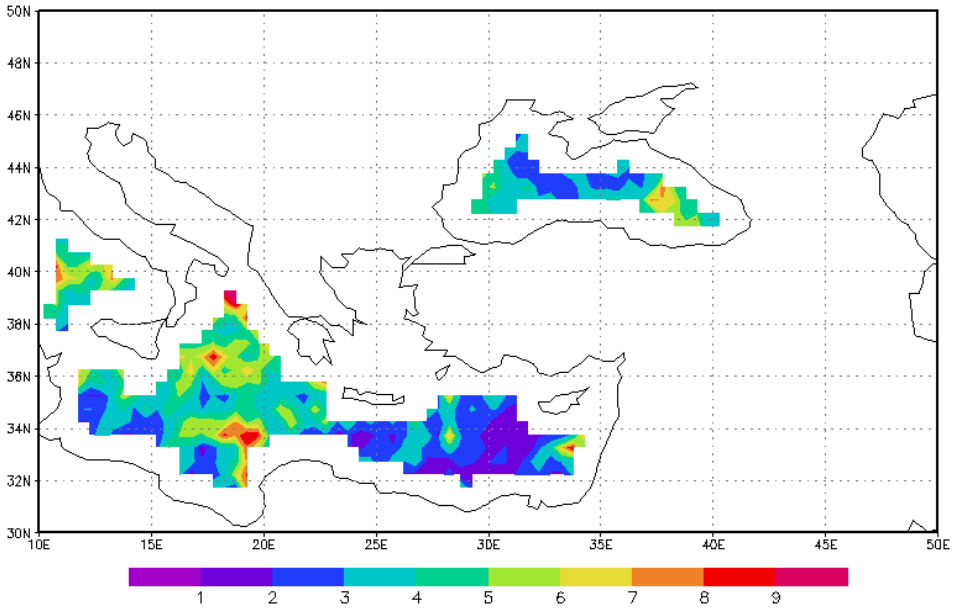
Şekil 10: Sonbahar mevsimi maksimum değerler (mm/gün)

Kış mevsimi maksimum değerleri (Şekil 11) Karadeniz için Batı Karadeniz'de sonbahar maksimum değerlerinden daha yüksektir. Akdeniz içinse büyük bir farklılık göstermemektedir. Akdeniz'de maksimum değerler 8-14 mm/gün arası değişmektedir.



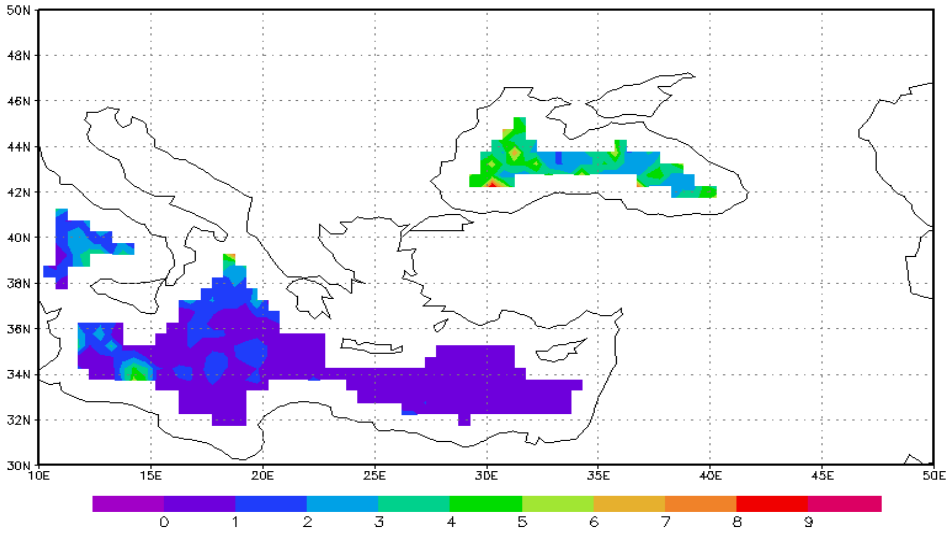
Şekil 11: Kış mevsimi maksimum değerler (mm/gün)

İlkbaharda (Şekil 12) ise maksimum hız değerlerinde Akdeniz ve Karadeniz içinde düşüş görülmektedir. Karadeniz'de değerler 3-7 mm/gün, Akdeniz'de ise 3-9 mm/gün arasında değişmektedir.



Şekil 12: İlkbahar mevsimi maksimum değerler (mm/gün)

Yaz mevsiminde (Şekil 13) ise diğer mevsimlere göre en düşük maksimum değerler görülmektedir. Akdeniz'de ki değerler Karadeniz'de ki değerlere göre oldukça düşüktür.



Şekil 13: Yaz mevsimi maksimum değerler (mm/gün)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlar doğrultusunda getirilen öneriler şu şekilde sıralanabilir [11].

1) Gerek aylık ve gerekse mevsimlik olan değerlendirmeler sonucunda, ortalama ve en yüksek yağış değerlendirmelerinde öne çıkan 2 bölge bulunmaktadır. İlki Batı Karadeniz ve ikincisi ise İtalya ve Yunanistan arasında kalan Ionian Denizi'dir. Bu iki bölge gerek ortalamada ve gerekse en yüksek değer olarak en yüksek yağış değerlerine sahip bölgelerdir.

2) Mevsimsel değerlendirme neticesinde, maksimum yağış değerleri Akdeniz için sonbaharda Karadeniz içinse kış mevsiminde gözlenmektedir. En düşük değerler ise iki deniz içinde yaz mevsiminde görülmektedir. Yaz aylarındaki düşük değerler kuzey yarıkürenin ısınması neticesinde kuzeydeki yağış getiren sistemlerin güneye inemeyerek bu bölgelerin genelde Azor Yüksek Basınç alanının etkisinde olmasındandır.

3) Bu çalışmanın devamı olabilecek diğer çalışmalarda belirli yağış aralılarında bu yağış değerlerinin ne kadar gözlendiklerinin analizlerinin de yapılması ve ayrıca başka uydulardan elde edilen verilerin de değerlendirmeye tabi tutularak burada kullanılan ürün ile karşılaştırılmalarının yapılması önerilmektedir.

4) Buna benzer bir çalışmanın yağış hızları (anlık yağışlar) için de yapılması ve buradaki sonuçlar ile karşılaştırılması da tavsiye edilmektedir.

5) Gerek Batı Karadeniz ve gerekse Ionian Denizi üzerinde görülen yüksek değerlerin sebepleri araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] **Öztopal, A. (2007).** Uydu ve yer kaynaklı meteorolojik değişkenlerle kısa vadeli yağış modellemesi için yapay sinir ağı yaklaşımı, (Doktora tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[2] **Wolff, D. B., ve diğ, (2005).** Ground validation for the TRMM, J. Atmos. Oceanic Technol., 22, pp. 365–380.

[3] **Petty, G.W., ve W. Krajewski, (1996).** Satellite rainfall estimation over land, *Hydrolog. Sci. Journ.,* 41, pp. 433-451.

[4] **Levizzani, V., Schmetz, J., Lutz, H., Kerkmann, J., Alberoni, P.P. ve Cervino, M., (2001a).** Precipitation estimations from geostationary orbit and prospects for Meteosat second generation, *Meteorol*., 8, pp. 23-41.

[5] **Curry, J. A., ve Coauthors, (2004).** Seaflux, *Bull. Amer. Meteor. Soc*., 85, pp. 409–424.

[6] **Sırdaş, S. (2002).** Meteorolojik Kuraklık Modellemesi ve Türkiye Uygulaması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[7] **CM SAF, (2011*).*** *Algorithm Theoretical Basis Document.*

http://www.cmsaf.eu/EN/Documentation/Documentation/ATBD/pdf/SAF_CM_SMHI_ATBD_JCH_1.pdf?__blob=publicationFile&v=4

[8] **Weng, F., ve Grody N. C. (1994).** Retrieval of cloud liquid water using the special sensor microwave imager (SSM/I), *J. Geophys. Res*., 99(D12), 25, pp. 535–25,551, doi:10.1029/94JD02304.

[9] **Bauer, P., Lopez, P., Benedetti, A., Salmond, D. ve Moreau, E. (2006a).** Radiances at ECMWF. I: 1D-Var, *Q. J. Roy. Meteor. Soc*., 132, pp. 2277–2306.

[10] **Bauer, P., Moreau, E., Chevallier, F. ve O'Keeffe, U. (2006b).** Multiple- Roy.scattering Microwave Radiative Transfer for Data Assimilation Applications, *Q. J. Meteor. Soc.*, 132, pp. 1259–1281.

[11] **İncirci, A. İ., (2015).** Akdeniz ve Karadeniz üzerindeki yağış rejimlerinin uydu verileri ile belirlenmesi, Lisans Tezi, İTÜ, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü.

Türkiye'de 2006 Yılı için CM-SAF SIS ve Yüzey Işınım Verilerinin Karşılaştırması

Serhat Şensoy
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Ankara
ssensoy@mgm.gov.tr

Ercan Karakoç
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
İç Denetim Birimi
Ankara
ekarakoc@mgm.gov.tr

Christine Trager-Chatterjee
DWD, CM-SAF Climate Monitoring
Offenbach
Christine.Traeger-Chatterjee@dwd.de

ÖZET

Yüksek kalitede yüzey radyasyon verisi Dünya radyasyon bütçesinin izlenmesi ve güneş enerjisi uygulamaları için ön koşuldur. Bu çalışmada, 2006 yılı İklim İzlemede Uydu Uygulamaları Fırsatları (CM-SAF) uzaktan algılama SIS (Yüzeye Gelen Güneş Radyasyonu) verileri ile yüzeyde aktinograf ile ölçülen ışınım verileri karşılaştırıldı. 1971 yılından 2000 yılına kadar ölçümü yapılan güneşlenme süresi ve ışınım verilerine göre, Türkiye'nin yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi 2573 saat, günlük ortalama güneşlenme süresi 7 saat ve ortalama toplam ışınım, metre kareye 1474 KWh'tır. Bu değerler Türkiye'nin güneş enerjisi açısından şanslı bir konumda olduğunu göstermektedir. Yerde 161 noktada aktinograf ile yapılan güneş ışınımı gözlem verileri Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv Sistemi (TUMAS)'tan, bu noktalara karşılık gelen lokasyonlar için CM-SAF SIS verileri ise IDL Sanal Makine yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Her iki platform için elde edilen veriler, Coğrafi Bilgi Sistemi (ArcGIS) altında Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) mekânsal enterpolasyon yöntemi kullanılarak tüm Türkiye için haritalanmıştır. Elde edilen fark haritasından, batıda CM-SAF

SIS verilerinin, doğuda ve dağlık alanlarda ise yer gözlem verilerinin daha yüksek ışınım değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Çalışmada bu farklılığın nedenlerine değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler — Türkiye; CM-SAF; SIS; ışınım; karşılaştırma.

1 GİRİŞ

Dünyaya gelen güneş enerjisinin küçük bir kısmı insan ihtiyaçlarını karşılamak için yeterlidir. Bu nedenle günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı atmosferi korumak için son derece önemlidir. Coğrafi verinin mekânsal dağılımı, bu verilerden elde edilebileceği gibi tahmin haritaları, ölçülen değerlerle mekânsal ilişkisi olan ikincil değişkenler kullanılarak da elde edilebilir [1]. Bu çalışma, 2006 yılı için CM-SAF SIS verisi ile Türkiye yüzey radyasyon verilerinin karşılaştırılmasını içerir.

2 MATERYAL VE METOTLAR

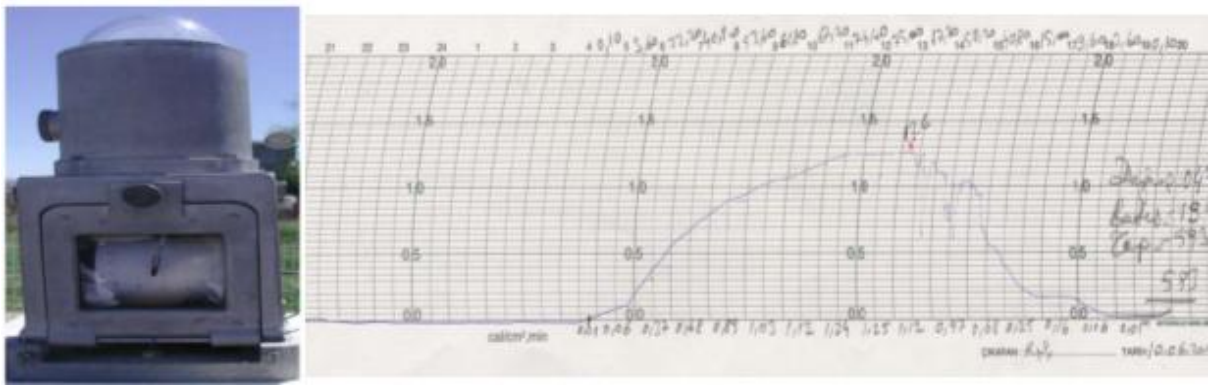
Veriler hakkında açıklayıcı bilgileri edinmek için, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) radyasyon verileri ve CM-SAF SIS verileri Excel'de düzenlenip aynı birime ($KWh/m^2/yıl$) dönüştürülmüştür. İki seri arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemi altında veri serilerine ait enterpolasyon haritaları üretilmiş ve bu iki haritanın farkları kalıntı haritası olarak üretilmiştir.

2.1. Kullanılan yazılımlar

2006 yılı CM-SAF SIS verilerini elde etmek için, CM-SAF web sayfasından temin edilen IDL tabanlı CM-SAF GUI yazılımı kullanılmıştır [8]. Veriler Excel kullanarak düzenlenmiş ve hesaplanmıştır. Mekânsal enterpolasyon ve haritalama faaliyetleri için ArcGIS 9.3 yazılımı kullanılmıştır. ArcGIS 9.3, Mekânsal Analiz, Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemi kullanılarak 2 adet harita elde edilmiştir. IDW enterpolasyon yöntemi enterpole edilen yüzeyin yakındaki noktadan daha fazla, uzaktaki noktadan ise daha az etkilendiği varsayımına dayanır [6]. Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon içerisinde çeşitli seçenekler mümkündür. Mekânsal Analiz içerisindeki Raster hesaplama tekniği kullanılarak kalıntı haritaları üretilmiştir.

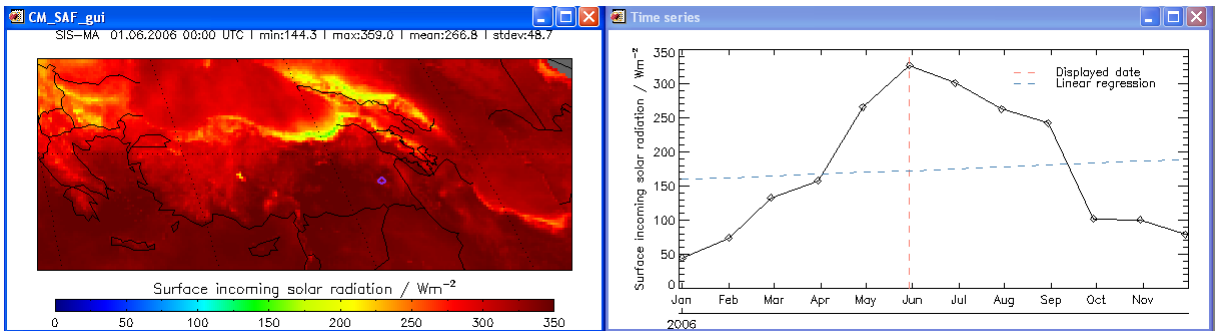
2.2. Kullanılan veriler

Turkiye yüzey radyasyon verileri 161 istasyonda yerleştirilmiş aktinograf gözlemlerinden elde edilmiştir (Şekil 1) ve birimi cal/cm²/gün'dür.



Şekil 1: Robitzch Aktinograf ve diyagramı. 1 dakikalık radyasyon 2cal/cm² den büyük olamaz. Saatlik radyasyon verisi için 2 noktanın ortalaması alınarak 60 ile çarpılır. Eğer çizgi bulutluluk nedeniyle düzgün değilse 5 noktanın ortalaması alınarak 60 ile çarpılır.

CM-SAF'ın yüzeye gelen güneş radyasyonu (SIS) verileri IDL tabanlı CM-SAF GUI yazılımı kullanarak elde edilmiştir ve birimi W/m² dir.(Şekil 2).



Şekil 2: CM-SAF yüzeye gelen güneş radyasyon (SIS) verileri. 2006 yılı Haziran ayı SIS verileri haritası (sol); seçilmiş noktaya ait SIS değerlerinin 2006 yılı zaman serisi (sağ).

Sözkonusu bu iki birim aşağıdaki formüller kullanarak, KWh/ m²/yıl'a dönüştürülmüştür:

2.3. Kullanılan Formüller

$$kWh/m^2/year = \left(\sum_{i=1}^{12} Aylikortalama[cal/cm2] \right) * 365/1000 * 11.63 \text{ (MGM verisi için)} \quad (1)$$

$$kWh/m^2/year = \left(\sum_{i=1}^{12} Aylikortalama[W/m2] \right) * 365 * 24/12000 \quad \text{(CM-SAF verisi için)} \quad (2)$$

Birim dönüşüm formülleri www.birimcevir.com sitesinden alınmıştır [7].

Korelasyon katsayısı aşağıda verilen Pearson çarpım-moment korelasyon katsayısı ile hesaplanmıştır [9]:

$$\rho_{x,y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (3)$$

where;

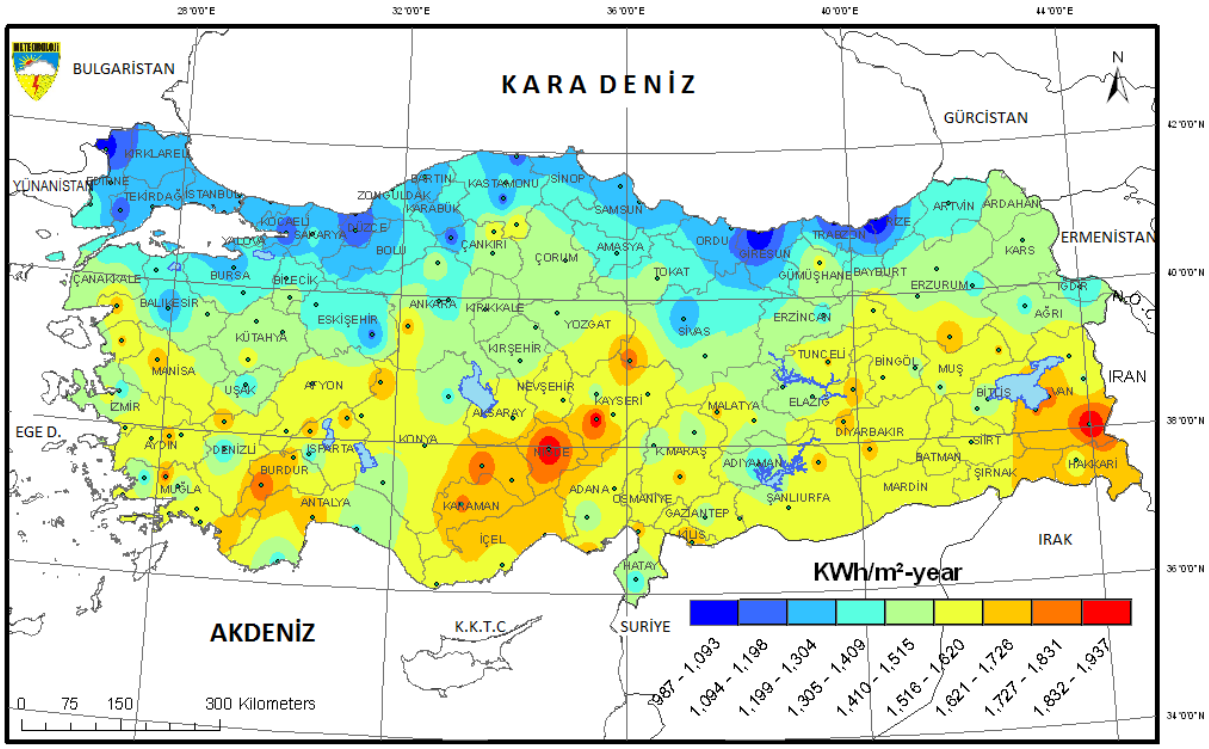
$$-1 \le \rho_{xy} \le 1$$

and

$$Cov(X,Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)$$

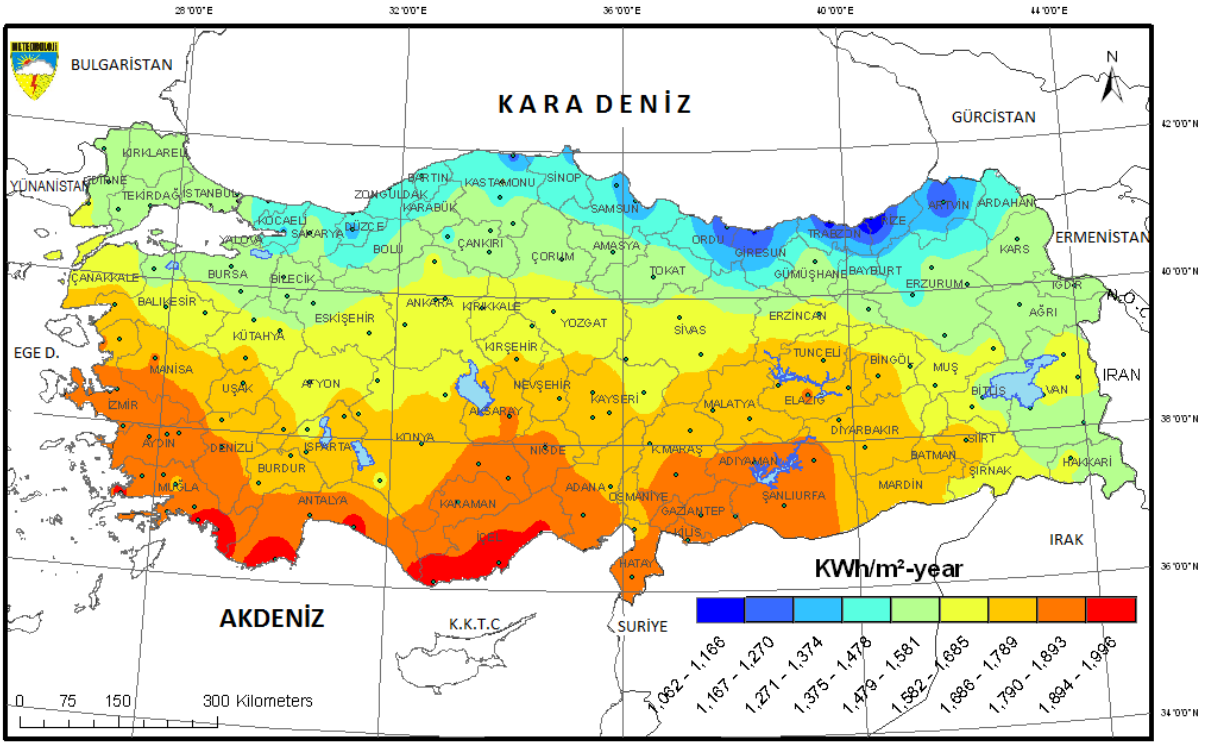
3 ANALİZLER

Elde edilen yüzey ışınım verileri ile, CM-SAF SIS verileri kullanılarak ArcGIS 9.3, Mekânsal Analiz, Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemi kullanılarak 2 adet harita elde edilmiştir (Şekil 3, Şekil 4).



Şekil 3: Aktinograftan elde edilen 2006 yılı yüzey ışınım verileri dağılımı

Yüzey radyasyon verisinin enterpolasyonu, ArcGIS 9.3 altında Mekânsal Analiz, Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemi kullanılarak elde edildi (Şekil 3). IDW enterpolasyon metodu, enterpole edilen yüzeyin yakındaki noktadan daha fazla, uzaktaki noktadan ise daha az etkilendiği varsayımına dayanır [6].



Şekil 4: 2006 Yılı CM-SAF yüzeye gelen güneş radyasyon (SIS) verileri dağılımı

CM-SAF SIS verisinin enterpolasyonu, ArcGIS 9.3 altında Mekânsal Analiz, Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemi kullanılarak elde edildi (Şekil. 4).

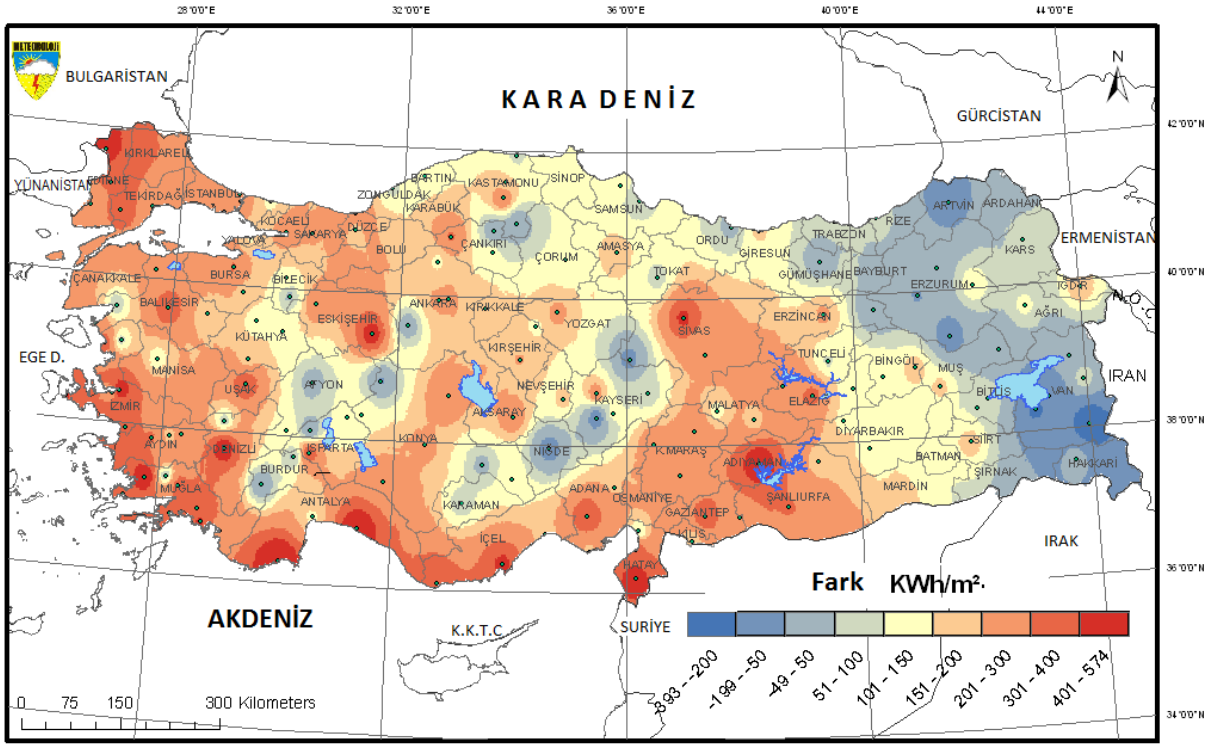
MGM Yüzey radyasyon verisi birimi cal/cm²/gün ve CM-SAF SIS verisi birimi W/m²'dir. MGM radyasyon verileri ve CM-SAF SIS verileri Excel'de düzenlenip aynı birime (KWh/m²/yıl) dönüştürülmüşlerdir (Tablo 1) [7].

Tablo 1'de her iki veri serisine ait değerler, bunların fakları, ve aralarındaki korelasyon katsayısı görülmektedir. Genellikle uydu radyasyon verisinin, yerde yapılan gözlemlerden yüksek olduğu görülmektedir. Sarı renkle gösterilen illerde büyük farklar bulunmuştur. Ayrıca Van, Artvin, Niğde, Hakkâri ve Erzurum'da negatif farklar bulunmuştur. İki veri serisi arasındaki korelasyon katsayısı 0.71 olarak bulunmuştur. Bu da iki veri arasında pozitif yönde bir ilişkinin olduğunu göstermektedir (Tablo 1).

Tablo 1: Yüzey ve uydu radyasyon verilerinin arşılaştırması

			Surface Radiation		CM-SAF SIS	
Longitude	Latitude	Station	2006-Kcal	2006-KWh/m2	2006-KWh/m2	Differences
35.34	37.04	ADANA	122.0	1418.7	1821.4	402.7
38.28	37.74	ADIYAMAN	113.3	1318.1	1850.6	532.5
30.54	38.73	AFYON	136.8	1591.3	1595.1	3.7
43.04	39.71	AGRI	119.5	1390.3	1503.8	113.5
34.04	38.38	AKSARAY	131.7	1531.8	1799.5	267.7
35.84	40.64	AMASYA	119.5	1390.3	1569.5	179.2
32.86	39.96	ANKARA	119.2	1386.3	1602.4	216.1
36.16	36.19	ANTAKYA	117.5	1366.4	1850.6	484.2
30.67	36.91	ANTALYA	147.2	1711.9	1854.2	142.3
41.81	41.18	ARTVIN	116.1	1350.1	1215.5	-134.7
27.83	37.83	AYDIN	134.1	1559.4	1865.2	305.8
27.93	39.61	BALIKESIR	103.1	1199.1	1580.5	381.4
32.34	41.63	BARTIN	109.6	1274.3	1390.7	116.4
29.97	40.14	BILECIK	118.8	1381.7	1522.1	140.4
40.49	38.86	BINGOL	135.1	1571.2	1719.2	148.0
42.09	38.36	BITLIS	129.8	1509.6	1609.7	100.0
30.29	37.71	BURDUR	145.2	1688.7	1730.1	41.4
29.01	40.23	BURSA	105.1	1222.6	1529.4	306.8
26.39	40.13	CANAKKALE	122.5	1424.5	1642.5	218.0
33.61	40.61	CANKIRI	124.0	1442.6	1562.2	119.6
34.92	40.54	CORUM	124.0	1442.1	1551.3	109.2
29.09	37.76	DENIZLI	111.6	1297.9	1792.2	494.3
40.19	37.89	DIYARBAKIR	139.8	1626.0	1752.0	126.0
31.14	40.84	DUZCE	100.3	1166.3	1354.2	187.8
26.54	41.68	EDIRNE	89.0	1034.5	1518.4	483.9
39.24	38.64	ELAZIG	125.9	1463.9	1795.8	331.9
39.49	39.74	ERZINCAN	119.2	1386.9	1602.4	215.5
41.16	39.94	ERZURUM	129.8	1509.4	1452.7	-56.7
30.51	39.81	ESKISEHIR	112.5	1308.7	1576.8	268.1
37.34	37.04	GAZIANTEP	126.8	1474.9	1825.0	350.1
38.38	40.91	GIRESUN	86.1	1001.5	1160.7	159.2
39.46	40.46	GUMUSHANE	132.5	1540.8	1544.0	3.1
43.73	37.56	HAKKARI	137.1	1594.2	1584.1	-10.1
44.04	39.91	IGDIR	113.1	1315.9	1511.1	195.2
30.56	37.78	ISPARTA	114.0	1326.1	1719.2	393.1
29.05	41.14	ISTANBUL	112.1	1303.4	1544.0	240.6
27.08	38.39	IZMIR	136.4	1586.1	1817.7	231.6
36.92	37.59	KAHRAMANMARAS	140.6	1634.9	1846.9	212.0
33.21	37.19	KARAMAN	149.3	1736.8	1806.8	70.0
43.09	40.61	KARS	123.7	1439.1	1496.5	57.4
33.78	41.36	KASTAMONU	99.3	1155.4	1452.7	297.3
35.48	38.71	KAYSERI	124.6	1448.9	1704.6	255.6
37.11	36.69	KILIS	148.6	1728.0	1887.1	159.0
33.51	39.84	KIRIKKALE	125.1	1455.1	1638.9	183.8
34.14	39.16	KIRSEHIR	127.9	1487.8	1690.0	202.2
29.91	40.76	KOCAELI	95.5	1111.2	1361.5	250.3
32.54	37.97	KONYA	130.8	1521.6	1737.4	215.8
29.97	39.41	KUTAHYA	126.5	1471.7	1587.8	116.0
38.21	38.34	MALATYA	130.4	1516.5	1686.3	169.8
34.63	36.79	MERSIN	148.4	1726.5	1909.0	182.5
28.36	37.21	MUGLA	121.8	1416.6	1759.3	342.7
41.48	38.68	MUS	129.7	1508.8	1675.4	166.5
34.68	37.96	NIGDE	166.2	1932.6	1810.4	-122.2
37.89	40.97	ORDU	103.5	1204.2	1233.7	29.5
40.49	41.03	RIZE	84.9	986.9	1062.2	75.3
30.39	40.76	SAKARYA	113.2	1317.0	1522.1	205.1
36.24	41.34	SAMSUN	104.9	1219.6	1295.8	76.1
38.78	37.14	SANLIURFA	130.6	1518.9	1821.4	302.5
41.94	37.91	SIIRT	137.6	1600.1	1781.2	181.1
35.14	42.03	SINOP	104.1	1210.9	1354.2	143.2
37.01	39.74	SIVAS	103.8	1207.2	1631.6	424.3
27.49	40.97	TEKIRDAG	111.2	1293.0	1562.2	269.2
36.56	40.29	TOKAT	123.8	1439.6	1522.1	82.5
39.74	41.00	TRABZON	93.3	1085.3	1146.1	60.8
39.54	39.11	TUNCELI	139.9	1626.6	1719.2	92.6
29.39	38.66	USAK	112.7	1310.9	1719.2	408.2
43.34	38.46	VAN	150.7	1752.9	1606.0	-146.9
29.28	40.66	YALOVA	115.2	1339.8	1481.9	142.1
34.79	39.81	YOZGAT	121.6	1413.9	1635.2	221.3
31.78	41.44	ZONGULDAK	114.0	1325.9	1416.2	90.3

Korelasyon Katsayısı (Yüzey Radyasyonu, CM-SAF SIS) = 0.71



Şekil 5: 2006 yılı CM-SAF SIS ve yüzey radyasyon verisi arasındaki fark (kalıntı haritası)

Kalıntı Haritası Mekânsal Analiz altındaki Raster hesaplama aracı kullanılarak hesaplanmıştır. Haritada pozitif değerler CM SAF verisinin, negatif değerler ise yer gözlemlerinin daha yüksek olduğu alanları göstermektedir. Buna göre ülkemizin batı kesimlerinde CM-SAF SIS verilerinin yer gözlemlerinden yüksek olduğu, fakat Afyon, Burdur, Çankırı, Kayseri, Niğde ve Karaman gibi dağlık alanlar ile ülkemizin doğusunda, yer radyasyon gözlemlerinin daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5). 2006 yılında yer radyasyonu verileri 987 ile 1937 KWh/m²/yıl arasında iken (Şekil 3), uydu gözlemlerinden elde edilen verilerin 1062 ile 1996 KWh/m²/yıl arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 4).

4 SONUÇ

Bu çalışmada, 2006 yılı CM-SAF uzaktan algılama SIS (Yüzeye Gelen Güneş Radyasyonu) verileri ile yüzeyde aktinograf ile ölçülen ışınım verileri karşılaştırıldı. Ülkemizin batı kesimlerinde CM-SAF SIS verilerinin yer gözlemlerinden büyük olduğu görülmüştür. Fakat özellikle dağlık alanlarda ve ülkemizin doğusunda, yerde yapılan radyasyon gözlemlerinin daha

büyük verilere sahip olduğu görülmüştür. Muneer (1997), Robitzch aktinograf cihazlarının tüm doğruluk testleri yapılsa bile günlük toplamda %10 hata yaptığını belirtmiştir [3]. Aylık ortalamalardaki en yüksek hatalar Avustralya'da %30 ile Stanhill ve Kalma (1994) tarafından rapor edilmiştir [4]. Aktinograf gözlemlerindeki genel sınırlamalar Maxwell vd. (1999) tarafından Suudi Arabistan'da yapılan radyasyon gözlemleri üzerinde tartışılmış ve değerlendirilmiştir [2]. Stanhill ve Kalma aktinograf gözlemleri ile piranometre gözlemleri arasında özellikle bulutluluk koşullarında büyük farklar olduğunu bulmuşlardır [4]. Sonuç olarak bu yayınlarda aktinograf gözlemlerinde büyük belirsizlikler olduğu rapor edilmiştir. Uydu tabanlı radyasyon ölçümlerinin doğruluğu yer gözlemlerinden elde edilen verilerden önemli derecede yüksek olması beklenir. Bununla birlikte sonuçların yorumlanmasında, karla kaplı dağlık bölgelerde uydu tabanlı ölçümlerde bazı sınırlamaların olduğunun dikkate alınması gerekir [5]. Karla kaplı dağlık bölgelerde uydu tabanlı radyasyon ölçümlerinde aylık ortalamalarda 15 W/m² düşüş olabilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Bostan P.A., Akyürek Z**., 2007, İkincil Veriler Kullanılarak Türkiye Ortalama Yıllık Yağış Değerlerinin Mekânsal Dağılımının Modellenmesi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 30 Ekim –02 Kasım 2007, KTÜ, Trabzon.

[2] **Maxwell Eugene L., Stephen M. Wilcox, Chris Cornwall, Bill Marion, Saleh H. Alawaji, Mohammed bin Mahfoodh** (1999): Progress Report for Annex II – Assessment of Solar Radiation Resources In Saudi Arabia 1993 – 1997, NREL/TP-560-25374

[3] **Muneer, T**. (1997): Solar radiation and daylight models, Elsevier 1997, ISBN 0 7506 5974 2)

[4] **Stanhill; G. and J.G. Kalma**, 1994, Secular variation of solar irradiance in Aust. Met. Mag., 43, 81-866

[5] **Tappeiner U., Tappeiner G., Aschenwald J., Tasser E., Ostendorf B.**, 2001, GIS-based modeling of spatial pattern of snow cover duration in an alpine area, Ecological Modeling, volume 138, issue 1-3, p: 265–275.

[6] http://www.gammadesign.com/kriging.aspx, Gamma Design software, Geostatistics for the Environmental Sciences, Co-kriging in GIS, 08 Ekim 2015

[7] http://www.birimcevir.com, Enerji birimleri çevirici, , 08 Ekim 2015

[8] http://www.cmsaf.eu, The Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF), 08 Ekim 2015

[9] https://tr.wikipedia.org/wiki/Korelasyon, Pearson çarpım-moment korelasyon katsayısı, 08 Ekim 2015

23 Şubat 2015 Tarihinde Çeşme'de Meydana Gelen Sel Felaketinin Lokal Bilgiler ve FFGS Ürünleriyle Taşkın Tahmini ve Analizi

Ertan TURGU
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü
Ankara
eturgu@mgm.gov.tr

Seyfullah ÇELİK
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü
Ankara
scelik@mgm.gov.tr

Halis ÖZCAN
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü
Ankara
hozcan@mgm.gov.tr

ÖZET

Ani taşkın olaylarının meydana gelmesi doğal afetler arasında en yüksek can ve mal kaybına yol açmakta olup hidrolojik, meteorolojik ve doğal afet bilimlerini ilgilendirmektedir. 23 Şubat 2015 tarihinde Çeşme'de meydana gelen taşkın öncesinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü erken uyarı vermiştir. Taşkın öncesinde ve sonrasında olayların araştırılması ve incelenmesi

doğal afetler konusunda tecrübelerin arttırılmasında önemli rol oynamaktadır. Bu amaçla yaptığımız çalışmada 23 Şubat 2015 tarihinde Çeşme'de meydana gelen taşkın olayı ile ilgili kullanılan lokal bilgiler, uydu, radar, sayısal hava tahmin modeli, kararsızlık ürünlerinin yanında FFGS (Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi) ürünlerinin gösterimi ve incelemesi yapılmıştır. Sonuçta taşkın erken uyarısı verilmesinde FFGS ürünleri ve lokal bilgilerin önemi ortaya çıkmaktadır.
Anahtar Kelimeler: lokal bilgiler, FFGS, taşkın erken uyarı

1. GİRİŞ

Ani taşkınlar dünyanın bir çok yerinde olduğu gibi Türkiye'de de düzenli meydana gelen tabiat olayları olup tek bir olayda önemli ekonomik, sosyal zararlar ve can kaybına neden olabilirler. Ani taşkınların oluşmasında doğal nedenler olarak yavaş hareket eden oraj nedeniyle yoğun yağışlar, eğimli arazilerde orografik yağışlar, suya doygun toprak üzerine veya geçirimsiz toprak yüzeyi üzerine yağışlar, dere veya kanalın yetersiz hidrolik özellikleri rol oynamaktadır. Ani taşkınların diğer meydana gelme nedenleri arasında nüfus yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde alt yapı yetersizliği, yeşil alanların yok olması, toprak yapısı ve bitki örtüsünün bozulması, yamaç ve akarsu havzalarında yanlış yerleşim yerlerinin seçilmesi sayılabilir.

Türkiye atmosfer kökenli doğal afetlerin çok sık ve yaygın olarak görüldüğü bir orta kuşak ülkesidir. 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. Ayrıca 3 tarafı nem kaynağı olan denizlerle kıyıya paralel ve dik uzanan dağlarla çevrilidir. Türkiye yüksek (ortalama 1132m) ve engebeli (ülke yüzölçümünün %61'i %20 ve daha dik; ülke arazilerinin %45'i ise %40 ve daha dik eğimli alanlardır) bir arazi yapısına sahiptir. Bu nedenle şiddetli yağış, yağmur, kar, dolu, tipi, çığ, sel, sis, don, orman yangınları, tarımsal zararlılar, kuraklık, çölleşme, kuvvetli rüzgar, fırtına, yıldırım gibi şiddetli meteorolojik olaylara bağlı doğal afetlerin yoğun olarak görüldüğü ülkedir [8].

23 Şubat 2015 tarihinde Çeşme'de şiddetli yağışlar sonucu oluşan sel ve su baskınlarında ciddi mal kayıplarına neden olarak ekonomik zarara yol açmıştır (Şekil 1). Ilıca deresinin taşmasıyla 150'den fazla ev ve işyeri sular altında kalmıştır.



Şekil 1: Çeşme'de yaşanan sel felaketi Kaynak: internethaber (solda) ve Takvim gazetesi(sağda)

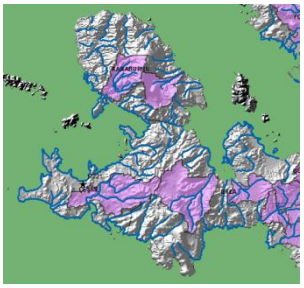
Ani taşkın, Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) tarafından "nispeten yüksek pik debiye sahip kısa süreli taşkın" şeklinde tanımlanmıştır [1]. Amerikan Meteoroloji Cemiyeti (AMS)'nin ani taşkın tanımında ise "şiddetli yağış sonucunda nispi olarak küçük alanlarda meydana gelmesi, çok kısa bir sürede gerçekleşmesi ve önceden uyarı verilme şansının az olması, debinin aniden yükselmesi ve alçalmasıdır" [2] [3] şeklindedir.

Bu çalışmanın amacı, birincisi, 23 Şubat 2013 tarihinde Çeşme'de meydana gelen ani taşkın hadisesine neden olan meteorolojik şartların (yağış intensitesi, sinoptik analizler, uydu, radar, sounding analizlerine göre) incelenmesini; ikincisi, olay etraflıca incelendikten sonra sel olayını destekleyecek bilgilerin FFGS sisteminden elde edilen ürünlerle (varsa kar erimesi, toprağın neme doygunluk derecesi, yağışın gittikçe güçlenme durumlarını da hesaba katarak) birlikte yorumlamak; üçüncüsü de 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

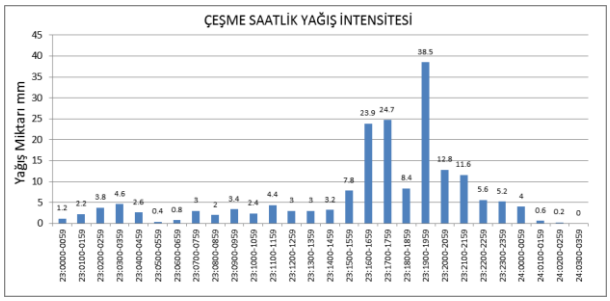
Çalışma alanı olarak, Çeşme (WMO Synoptic Station No:17221 ICAO name:CESM Elevation:5 m lat:38.3036 lon:26.3724) ele alınmıştır. Çeşme, İzmir ilinin batısında yer alan bir ilçedir. (Şekil 1). Doğudan Urla, kuzeyden Karaburun, batı ve güneyden Ege denizi ile çevrilidir. İç ve dış turizm açısından ülkemizin sayılı merkezlerinden olan Çeşme'nin, turizmdeki öneminin önümüzdeki yıllarda çok daha artacağı öngörülebilir.



Şekil 2: Çalışma Alanının Konumu (Çeşme)

Çalışmada veri olarak, ani taşkın öncesinde MGM'de mevcut lokal bilgiler, AWOS bilgileri, uydu, radar, sayısal hava tahmin modeli (ALARO), kararsızlık ürünleri ve FFGS ürünleri kullanılmış ve çıktıları değerlendirilmiştir.

Çeşme'de 23 Şubat 2015 tarihinde meydana gelen ve ani taşkına neden olan şiddetli yağışların hangi saatler arasında olduğunu bilmemiz gerekmektedir. Şekil 3'de Çeşme AWOS kayıtlarına göre 00:00 UTC den itibaren 19:00 UTC'ye kadar giderek artan yağış miktarları bulunmaktadır. Yağışın intensitesi saat 19:00-20:00 UTC arasında 38.5 mm/saat ile maksimuma ulaşmıştır. Yağış intensitesi 20:00 UTC'den sonra azalmaktadır.



Şekil 3: Çeşme 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 Çeşme verisi için Log-Pearson 3 bulunmuştur.

Tablo 1: Çeşme yağış-şiddet-süre-tekerrür analizi

Tarih	Başlama	Bitiş	Devam (dak)	Miktar (mm)	Şiddet mm/saat	UDF:LP3 Tekerrür (yıl)
23/02	19:22	19:27	5	8.6	103.2	2
23/02	19:18	19:28	10	13.9	83.4	3
23/02	19:19	19:34	15	18.4	73.6	4
23/02	19:16	19:46	30	31.0	62.0	7
23/02	18:49	19:49	60	40.5	40.5	7
23/02	19:02	21:02	120	52.9	26.5	8
23/02	16:46	19:46	180	73.0	24.3	14
23/02	15:46	19:46	240	96.7	24.2	48
23/02	16:13	21:13	300	111.3	22.3	85
23/02	15:42	21:42	360	121.1	20.2	100 yıldan çok
23/02	14:54	22:54	480	133.3	16.7	100 yıldan çok
23/02-24/02	00:52	00:52	720	148.7	12.4	100 yıldan çok
23/02-24/02	07:03	01:03	1080	167.1	9.3	100 yıldan çok
23/02-24/02	01:08	01:08	1440	181.5	7.6	100 yıldan çok

24 Şubat 2015 tarihinde 01:08 GMT ye kadar 24 saatte maksimum 181.5 mm'lik yağış (Tablo 1) ölçülmüştür. Çeşme'nin geçmiş kayıtlarına bakıldığında Şubat ayı yağış normali (1981-2010) 82.0 mm, yıllık yağış normali ise 554.0 mm dir. Burada sadece 3 saatte düşen maksimum 73.0 mm'lik yağış, Şubat ayı yağış normaline yaklaşmıştır.

2.2.Yöntem

Çalışma yöntemi olarak, 23 Şubat 2013 tarihinde Çeşme'de meydana gelen ani taşkın hadisesine neden olan meteorolojik şartlar incelenmiştir. Bu amaçla sinoptik ölçekli hava sistemlerinin yapısını araştırmak için MGM'de kullanılan METCAP programı çıktılarından sinoptik analizler (yer kartı, 850 hPa, 500 hPa ve 300 hPa) yapılmıştır.

Uydu analizleri için ECMWF Operasyonel Analiz ve Tahmin Sistemi ürünü kullanılmıştır. Radar analizleri için Türkiye'de kurulu İzmir radarına ait ürün çıktılarından yararlanılmıştır.

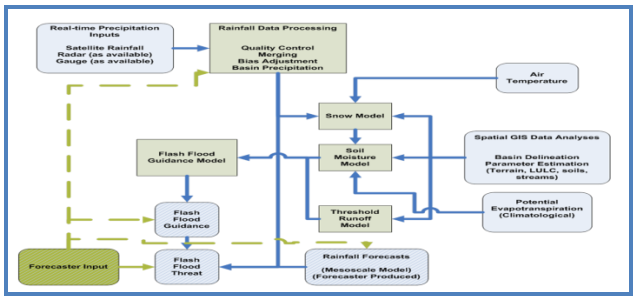
Temp analizinde Wyoming Üniversitesi tarafından hazırlanan Izmir 17220'ye ait Skew-T Log-P diyagramı değerlendirilmiştir. Bu analizlerden yağışın konvektif yada cephesel gelişme göstereceği anlaşılabilir.

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.

2.2.1.Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi Model Konsepti

Ani taşkın, herhangi bir havzada belirli bir süre içinde drenaj kanalı çıkışında dere ve nehir yataklarının dolu olarak akmasını sağlayan yağış miktarı olarak tanımlanmaktadır. Ani Taşkın Erken Uyarı Modellinin (FFG) amacı herhangi bir alt havzadaki ani taşkın olabilirliliğini hesaplamak ve uyarı ürünleri elde etmektir. Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi ile Nehir Taşkın Tahmin Sisteminin birbirinden ayırt edilmesi önem arz etmektedir. Ani Taşkınlar yağış başladıktan sonra 6 saat içinde meydana gelen taşkınlardır. Bu taşkınlar, genelde meteorolojide oraj olarak adlandırılan hadiselerin sonucunda meydana gelmektedir. Nehir taşkınları ise 6 saat ve daha fazla süre içinde büyük nehirlerin seviyelerinin yükselmesi ile meydana gelmekte olup, hatta bazen günlerce süre sonunda meydana gelmektedir.

Şekil-1'de FFG modeli çalışma konsepti verilmiştir. Modelin ilk kurulumu ve parametrelerinin belirlenmesi için geçmiş meteorolojik ve hidrolojik veriler ile topografya verileri kullanılmaktadır. Modelin operasyonel çalışması için gerekli olan meteorolojik veriler yağış, sıcaklık, buharlaşma ve toprak nemidir. Modelde kullanılan yağış verileri radar, uydu ve yer gözlemleri olmak üzere üç ana kaynaktan elde edilmektedir [4] [5].



Şekil 4: BSMEFFG Sistemi Model Konsepti

Sistemde bulunan modeller Toprak nemi Sacramento (SAC-SMA), Kar modeli (SNOW-17), Yüzey akış eşik Modeli (Threshold Runoff) ve Taşkın Erken Uyarı Modeli (FFG) birbirleriyle entegre çalışmaktadır. Türkiye için 11700 adet alt havza'nın ortalama büyüklüğü 50 km^2 dir. Radar yağış verisi olarak Türkiye'deki şu an 10 Adet radardan elde edilen saatlik toplam yağış verileri anlık olarak, hata düzeltmeleri yapıldıktan sonra 450 x 720 m grid çözünürlüğünde modele girilmektedir. Polar koordinatlı radar verileri (RAIN1 ürünü mm/saat olarak) grid bazlı verilere dönüştürülür. Uydu yağışı hesaplanırken ABD Ulusal Okyanus ve Atmosferik Ajansı (NOAA) tarafından grid bazında, her bir alt havza için son 1,3,6 ve 24 saatlik EUMETSAT MSG sabit yörüngeli uydu verilerinden elde edilmektedir. Uydu verisi, EUMETSAT MSG sabit yörüngeli uydunun kızıl ötesi kanalının atmosferik pencere 10.7 mikron dalga boyunda ölçtüğü bulut tepesinde parlaklık sıcaklığı ile yağış şiddeti arasındaki istatistiki ilişkiden elde edilir. Mikrodalga Yağış Verileriyle Düzeltilmiş Uydu Yağış Verileri (MWGHE), ürünü aslında mikro dalgayla düzeltilmiş GHE ürünüdür. Kutupsal yörüngeli uyduların mikro dalga kanalları kullanılarak elde edilmektedir. EUMETSAT MSG taraması her 15 dakikada bir yapılırken kutupsal yörüngeli uydular 12 saatte bir aynı bölgeyi taramaktadır. Kutupsal yörüngeli uyduların mekansal çözünürlüğü, sabit yörüngeli uydulardan daha iyidir. Bu nedenle sabit yörüngeli uydu verilerinden elde edilen yağış verileri kutupsal yörüngeli uyduların yağış verileriyle düzeltilerek MWGHE uydu yağışı elde edilir. Küresel Telekomünikasyon Sisteminde (GTS) yayınlanan 129 adet otomatik meteoroloji gözlem istasyonunda ölçülen yağış, sıcaklık, kar, buharlaşma verileri anlık olarak modele girilmektedir. Birleştirilmiş Ortalama Alansal Yağış (Merged MAP) ürünü elde edilirken elde mevcut kullanılabilir en iyi veriden ilk öncelikli olarak yer gözlemleri ile gerçek zamanlı hata düzeltmesi (bias-adjusted) yapılmış radar verisi; bu olmazsa yer gözlemleri ile gerçek zamanlı hata düzeltmesi yapılmış MWGHE verisi; bu olmazsa yer gözlemleri ile gerçek zamanlı hata düzeltmesi yapılmış GHE verisi veyahutta yer gözlemleri enterpolasyon verisinden hesaplanır. Birleştirilmiş yağış ürünü değerleri her bir alt havza için, kar modeli (SNOW-17), Sacramento Toprak Nem modeli, Yüzey akış eşik modeli ve FFG modeline yağış verisi olarak girmektedir.

Ani taşkın için önemli olan toprak üst kısmı doyduktan sonra yüzey akışa geçmesidir. Toprak yüzeyinden 20-30 cm derinlikteki toprağın suya doygunluk yüzdesi olarak ifade edilir. Sacramento SAC-SMA modeli ile alt havzalarda toprak nemi, yüzey akış, taban akışı ve sızma

hesaplamaları yapılmaktadır. Yüzey akışı hesaplanırken bitki örtüsü, toprak tipi, tekstürü, topoğrafya ve jeomorfolojik parametreler kullanılmaktadır.

Alt Havzaya Dağıtılmış Tahmini Yağış (FMAP), ALADIN-Alaro'dan elde edilir. ALARO ise ALADIN'in non-hidrostatik versiyonu olup yatay çözünürlükleri sırasıyla 2.5km ve 57km. dir. Bu modelin başlangıç ve sınır koşulları ARPEGE global modelinden elde edilmektedir. ALADIN modeli yağış ürünleri: 6 saatte bir güncellenir, 4 x 4 km çözünürlüktedir.

FFG (Ani Taşkın Kılavuzu), belirli bir süre içinde (1,3 ve 6 saat) herhangi bir alt havza çıkışında drenaj kanalının banket seviyesine kadar dolması için gerekli olan yağış miktarıdır (mm).

FFT (Ani Taşkın Tehlikesi), su seviyesi banket seviyesine ulaştıktan sonra taşkına neden olan yağış miktarıdır. IFFT ve PFFT değerleri, birleştirilmiş yağış ürünü değeri ile FFG değeri arasındaki farka eşittir. FFFT değeri ise ALADIN modelinden elde edilen tahmini ortalama alansal yağış değeri (FMAP) ile FFG değerinin arasındaki farka eşittir.

3.SİNOPTİK ANALİZLER

Yurdumuz orta kuşakta yani Ekvator ile Kuzey kutbunun ortasında yer almakta olup genellikle kışın polar (kutbi) yazın ise tropikal oluşumlu hava kütlelerinin etkisi altında kalmaktadır. Dünyanın en büyük iç denizlerinden birisi olan Akdeniz, buraya gelen hava kütleleri için ikinci kaynak alanı gibidir. Çeşme'de taşkın meydana getiren yağışlarda Akdeniz'e kendi kaynak sahasının özellikleriyle yönelen ve sonrasında Akdeniz'de termodinamik değişliklere uğrayan hava kütleleri rol oynamıştır. Kış mevsiminde Türkiye'yi etkileyen hava kütlesinin kaynak bölgesi yer ve yüksek seviye haritalarından mP (Denizsel Kutbi) olduğu anlaşılmaktadır. mP hava kütlesi aslında esas kaynak bölgesi Kuzey Amerika olan cP hava kütlesinin Atlas Okyanusundan geçerken modifikasyona uğramış halidir.

Yüksek seviye sabit basınç kartlarında (örn:850 hPa, 500 hPa, 300 hPa) basınç değerleri yerine; geopotansiyel metre olarak deniz seviyesinden itibaren eşit basınç yüksekliklerini birleştiren eğriler (kontur) kullanılır. Yer sinoptik kartlarında kapalı siklona "alçak basınç merkezi veya siklon" denildiği halde yüksek seviye kartlarında "alçak merkez" adı verilir. Yer seviyesinde alçak basınç merkezi bulunmasına rağmen yukarı atmosferde de (özellikle yani 850 hPa, 500 hPa ve 300 hPa'da) alçak merkez bulunduğu için bu tip alçak basınçlara soğuk nüveli /çekirdekli alçak basınç adı verilir. Rüzgar akışları yer seviyesindeki alçak basınç merkezinden 300 HPa ya

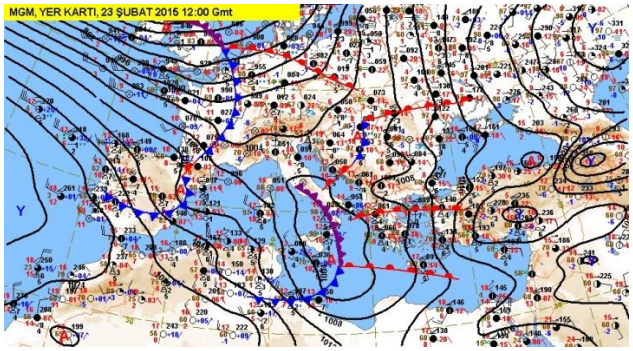
kadar saat akrep ve yelkovanının dönüşünün tersi istikamette esmekte ve basınç değerleri etraftan merkeze doğru azalmaktadır. Bu siklonlar konverjans alanlarıdır. Yer seviyesinden yukarı atmosfer seviyelerine kadar konverjans meydana gelmektedir. Bu durumda 23 Şubat 2015 tarihinde yer seviyesinde soğuk nüveli /çekirdekli alçak basınç merkezi, İtalya'nın güneyindeki Sicilya adası üzerinde meydana gelmiştir. Bu alçak basınç merkezinde nüve soğuk olduğu için soğuk havanın yukarı yükselmesi zayıf olacağından veya aşağı çökeceğinden (sübsidans) çok aktiftir. Bu durumda hem yükselen hava hem de çöken hava görülebilmektedir.

Özellikle 850 hPa ve 500 hPa yüksek seviye haritalarında İtalya'nın güneyindeki Sicilya adası üzerinde görülen alçak merkeze doğru kontur ve izotermler birbirleriyle kesişim içinde olduklarından soğuk adveksiyon (yatay hava hareketi) görülmektedir (Şekil 6 ve Şekil 7). Soğuk adveksiyon sayesinde konturlar boyunca konturlara paralel akan rüzgarlar adveksiyon noktalarına daha soğuk havayı taşımaktadır. Yer seviyesinden 300 hPa'ya kadar tüm seviyelerde bir eksen üzerinde bulunan ve adveksiyondan dolayı hareketli olan siklonlar baroklinik model olarak adlandırılmaktadır.

3.1.Yer Kartı

Yer kartındaki izobarlar, eşit basınç değerine sahip noktalar birleştirilerek elde edilen eğrilerdir. 23 Şubat 2015 12:00 UTC yer kartında (Şekil 5) Çeşme'de sel'e yol açan olayda rol oynayan cephe sistemi, 1004 hPa değerindeki İtalya'nın güneyindeki alçak basınç merkeziyle ilişkili sıcak cephedir. Sıcak cephe son derecede aktif hareket etmiştir. Sıcak cephe, sıcak havanın soğuk hava üzerinde hareket etmesi neticesinde oluşur. Cephe içinde oluşan gizli Cb'lerden sağanak yağışlar meydana gelmektedir. Sıcak cephe önünde görülen Ci bulutları cephe gelişinin habercisidir. Sıcak cephe önünde sıcaklık düşük olmasına rağmen cephe gerisinde yüksektir. Sıcaklık , sıcak cephe geçişi ile yükselme gösterir. Tandans, sıcak cephe önünde kuvvetli düşüş, cephe üzeri ve gerisinde hafif düşüş şeklindedir. Sıcak cephe önünde rüzgarlar, güney doğulu, cephe gerisinde ise batılıdır. İzobarlar, sıcak cephe üzerinde rüzgar devamsızlığı olarak nitelendirilen V (king) yapmaktadır. [6]

Ege bölgesi ve Çeşme çevresinde izobarların birbirine yakın ve sık olduğu görülmektedir. İzobarlardaki bu sıklık ve yoğunluk bölgedeki hakim rüzgar hızını attırmaktadır.

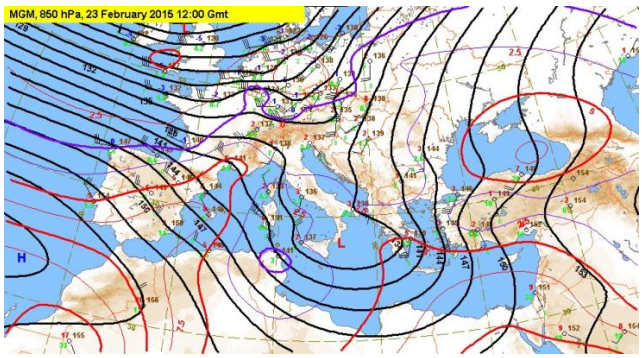


Şekil 5: 23 Şubat 2015 12:00 UTC Yer Kartı, Kaynak:Metcap

3.2.850 hPa Yüksek Seviye Kartı

23 Şubat 2015 12:00 UTC 850 hPa haritasında (Şekil 6) İtalya'nın güneyinde Baroklinik Alçak Merkez bulunmaktadır. Cephe önü ve gerisinde rüzgarlar shift yapmaktadır. Soğuk cephe soğuk adveksiyonların başlama noktasındadır. Genelde soğuk adveksiyonlar soğuk cephenin gerisine düşmektedir. Çünkü soğuk kütle soğuk cephenin gerisindedir. İtalya'nın güneyindeki Sicilya adasıyla Trablus arasında uzanan soğuk cephe, 850 hPa haritasında izotermlere paralel olarak en fazla izoterm gradyanının (sıkışmasının) bulunduğu bölgede bulunmaktadır.

İtalya'nın güneyinde Baroklinik Alçak Merkez'in sol tarafında Tunus üzerinde soğuk izoterm çekirdeği ve izoterm trofu bulunmaktadır. Genelde soğuk adveksiyonlar soğuk cephenin gerisine düşmektedir.

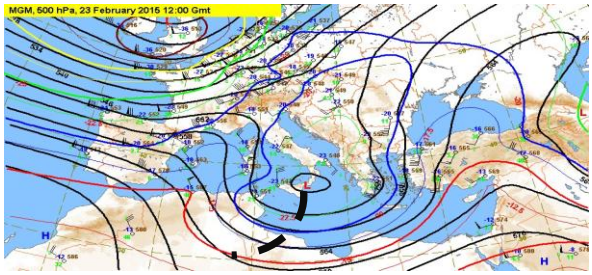


Şekil 6: 23 Şubat 2015 12:00 UTC 850 hPa, Kaynak:Metcap

3.3.500 hPa Yüksek Seviye Kartı

İtalya'nın güneyindeki Sicilya adası üzerinde görülen (Şekil 7) alçak merkezde (L) oluşan ve merkezden itibaren cep veya oluk gibi içten dışa doğru artış gösteren kontura sahip modele trof

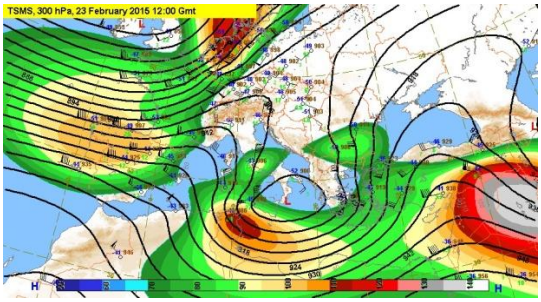
denilmektedir. Troflar rüzgar akışlarına doğru iç bükey kesik kesik çizgi ile belirtilmektedir. Her trofta mutlaka rüzgar şiftinin olması gerekmektedir. Sicilya adasının sol tarafında (trof önü) izoterm trofu (soğuk hava) görünmektedir. Bu trofların önünde güney-batılı, arkalarında kuzey-batılı, tam üzerlerinde ise batılı (270 derece) rüzgar akışları görülmektedir. Bu trofların kaybolmamaları için soğuk havayla beslenmeleri gerekmektedir. Trof gerisinde kuzey ve kuzey-batılı rüzgar akışları bulunduğundan çöküş veya sübsidans alanlarıdır. Aşağı doğru çöküşten dolayı dikine faaliyet olmadığından trof gerisinde faaliyet yoktur. Trof önünde atmosferik dikey hareketler (güney-batılı rüzgarlar) vardır. Bu suretle etkili ve sürekli yağışlar meydana gelmiştir. Şekil 5 de yayvan (U) trof görünmektedir. Bu trof'da rüzgar şifti azdır ve geniş bir alana yayılmıştır. Çeşme için yer kartında okunan sıcaklık 15 ºC iken 500 hPa seviyesinde sıcaklık -18 ºC dir. Bu sıcaklık farkı 33 ºC olup kararsız atmosferik şartları belirtmektedir.



Şekil 7: 23 Şubat 2015 12:00 UTC 500 hPa Haritası, Kaynak:Metcap

3.4.300 hPa Yüksek Seviye Kartı

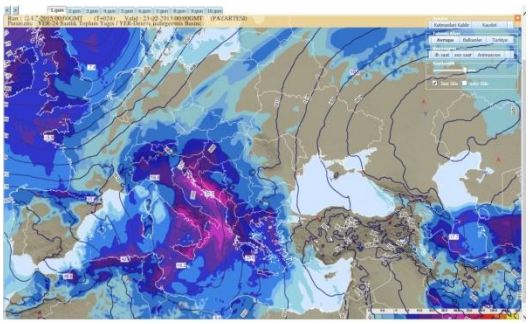
İtalya'nın güneyindeki Sicilya adası üzerinde alçak merkez (L) görülmektedir. Şekil 8'de Jet akımları alçak merkezin hemen altındaki jet çekirdeğinde 9120 jeopotansiyel metrede Tunus üzerinde 110-120 knot hıza sahip kuzey-batılı rüzgarlar iken güney-batılı rüzgarlar olarak, Çeşme üzerinde 70-80 knot hızla devam etmektedir. Jet akımları sadece yüksek rüzgar hızlarıyla değil aynı zamanda düşey ve yatay rüzgar shearlarıyle de karakterize edilirler.



Şekil 8: 300 hPa Yüksek Seviye Haritasında 23 Şubat 2015 12:00 UTC'de İtalya'nın güneyindeki Sicilya adası üzerinde Baroklinik Alçak Merkez.

4.ECMWF OPERASYONEL ANALİZ ve TAHMİN SİSTEMİ GÖRÜNTÜSÜ

23 Şubat 2015 tarihinde Çeşme'de meydana gelen taşkın öncesinde SHT web sayfasında yayınlanan 22 Şubat 2015 00:00 UTC T+024 ECMWF Operasyonel Analiz ve Tahmin Sistemi ürünü cephe sisteminin gelişimi hakkında bilgiler içermektedir (Şekil 9). Bu ürün, ECMWF-Integrated Forecast System küresel modelini kullanarak 16 km çözünürlükte ve 91 seviye olarak günde 2 kez yani 00:00 UTC ve 12:00 UTC'de günlük tahmin yapmak üzere çalıştırılmaktadır. 22 Şubat 2015 00:00UTC'dan itibaren 24 saatte 70 mm yağış olacağını tahmin etmiştir.



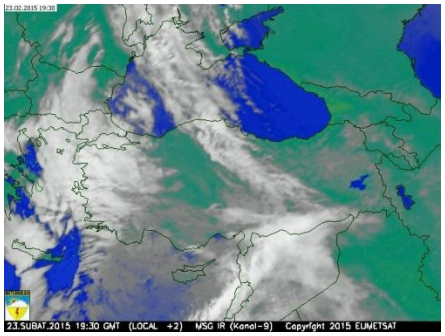
Şekil 9: 22 Şubat 2015 00:00 UTC T+024 ECMWF Operasyonel Analiz ve Tahmin Sistemi ürünü

5.UYDU ANALİZ

Uydu görüntüsü analiz edilirken esasen cephe şekli ile resimdeki bulutluluğun benzerlikleri aranır. Genelde bulutluluk soğuk ve sıcak cephe hattı üzerinde uzanır. Oklüzyon cephesi de bulutluluğun içinde analiz edilir. Kümülüform tipi soğuk cephe bulutları ve daha kesif ve parçalar halindeki stratiform tipi sıcak cephe bulutları ve siklon gözü görülmektedir. [6]

Infrared görüntüler radyasyon yayan yüzeylerin sıcaklığını göstermektedir. Şekil 10'da şekilde termal IR dalga boylarında (10-12 mikron) yer ve atmosferin emisyonlarından elde edilen

görüntü bulunmaktadır. Bulut tepesi sıcaklığının yükseklikle düşmesi nedeniyle IR görüntüler farklı seviyedeki bulutlar arasındaki kontrastı göstermektedir. IR görüntüde bulutların tepeleri çok yüksek ve çok soğuk olduğundan daha beyaz görünmektedirler.



Şekil 10: 23 Şubat 2015 19:30 UTC de EUMETSAT MSG IR (Kanal 9) görüntüsü

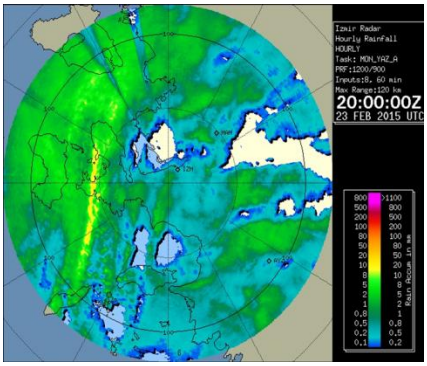
6.RADAR ANALİZ

Meteoroloji radarları, yer gözlem sistemleri gibi yağış miktarını doğrudan ölçen sistemler değillerdir. Radarlar atmosfere gönderdikleri elektromanyetik dalganın hidro-meteorlara çarpması neticesinde geri yansıyan elektromanyetik dalga (eko) şiddetini algılar. Geri yansıyan eko şiddeti yağış parçacıklarının büyüklüğü, yoğunluğu ve dağılımına bağlıdır. Sonuçta yağış miktarı (R) ve eko şiddeti (Z) arasındaki matematiksel ilişkiden (Z-R ilişkisi) olası yağış miktarı hesaplanır.[7]

Çeşme taşkının meydana geldiği gündeki en yüksek yağış intensitesi 23 Şubat 2015 19:00 UTC ile 20:00 UTC arasında (Şekil 3) gerçekleştiğinden bu saatlerde elde edilen IZMIR radar ürünleri incelenmiştir. Şekil 11'de IZMIR radar MAX 20:00 UTC'de saatlik toplam yağış (Rain Accumulation in mm) 50 mm civarında gözükmektedir.

Şekil 11'de çok ilginç bir şekilde Squall hatları da 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. Squall hatları, ilerleyen soğuk hava parselinin önündeki sıcak havayla yer değiştirdiği kesimlerde, yani süreksizlik alanlarında görülmektedir. Rüzgar yönü, squall hatlarının önünde güneyli (güneyden esen) iken

hattın hemen üzerinde batılı, hattın gerisinde ise kuzeyli esecek şekilde keskince yön değiştirmektedir.



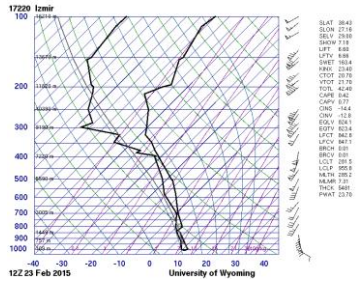
Şekil 11: IZMIR Radar Hourly Rainfall 23 Şubat 2015 20:00 UTC
Saatlik Toplam Yağış Miktarını Gösteren Görüntü, Kaynak: MGM Radar

7.SOUNDING ANALİZ

Bu bölümde Temp analizinde Wyoming Üniversitesinin web sayfasından alınan İzmir (istno:17220) istasyonunun 23 Şubat 2015, 12Z tarihine ait Skew-T Log-P diagramı analiz edilmiştir. SkewT-LogP diagramı, Radyosonde istasyonunda atmosferin dikey profilinde sıcaklık, işba sıcaklığı, rüzgar hız ve yönü gibi parametreler işlendikten sonra atmosferin karakteristik yapısını tespit etmek için kullanılmaktadır [9]. İzmir için gözlemlenen radiosonde değerlerine göre yerden 10 kilometreye kadar uzanan troposfer tabakasının alt kısımlarında jeopotansiyel olarak 7220 metrede veya yer seviyesinden 400 hPa'lik basınca ulaşıncaya kadar sıcaklığın (sıcaklık ve işba sıcaklığı) atmosfer sütunu boyunca durumunu ifade eden çizgiler ile yoğunlaşma noktalarının dikey atmosfer boyunca durumunu ifade eden çizgiler birbirlerine çok yakınlaşmışlardır. Bunun anlamı yerden itibaren 400 hPa'ya kadar çok nemli hava olduğunu göstermektedir. Yer seviyesinden jeopotansiyel olarak 400 hPa'lik basınca kadar rüzgarların güneyli olduğu görülmektedir.

Çeşme'de ani taşkına yol açan olayda atmosferin dikey profilindeki kararsızlıkları belirlemek amacıyla Şekil 12 nin sağ tarafında da görülen kararsızlık indeksleri incelenmiştir. 23 Şubat 2015 12 Z itibarıyla İzmir 17220 Radyosonde istasyonu için Skew-T Log P diyagramında indeks değerlerine göre Lifted indeks değeri 6.6 dır. Bu değer kararlı havayı temsil etmektedir. Eğer Lifted indeks -2 ile 1 arasında ise kararsızlık durumudur ve oraj ihtimali çok fazladır. K indeks

değeri 23.4 olup oraj ihtimali yok demektir. Eğer K indeks değeri 44 -52 arasında ise oraj başlar ve şiddetli orajla birlikte tornado mevcuttur. SWEAT indeks değeri 163.4 dür. Eğer SWEAT indeks değeri 300 ile 400 arasında ise kuvvetli oraj ve hatta tornado potansiyeli var demektir. CINS indeksi (Konvektiviteyi Engelleyen Enerji) -14.4 dür. Bunun anlamı zayıf düşey hareket veya bulut oluşumu yok demektir. Showalter Stability Indeks değeri 7.18 dir. Bunun anlamı oraj ihtimali yoktur. Eğer Showalter Stability Indeks değeri 1 ile 3 arasında olursa oraj başlayabilir. -2 ile -6 arasındaki değerler kararsızlık ve oraj potansiyelinin yüksek olduğuna işaret etmektedir.



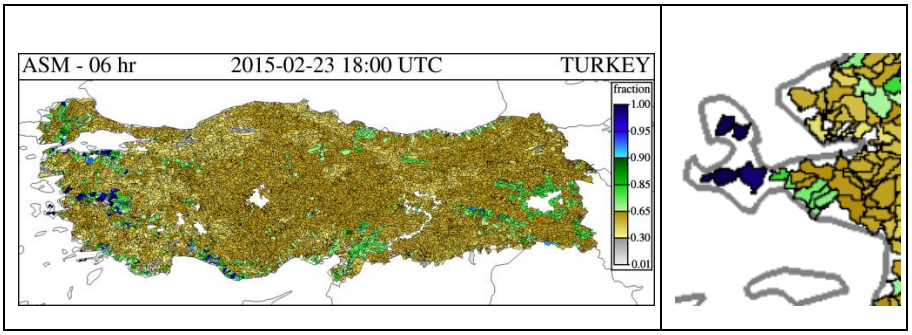
Şekil 12: İzmir 17220 Radyosonde İstasyonu için Skew-T Log P diagramı. Kaynak: University of Wyoming.

8.FFGS ÜRÜN ANALİZLERİ

8.1.Toprak Nemi Haritası (Average Soil Moisture)

Sacramento Soil Moisture Accounting (SAC-SMA) modeli her 6 saatte bir model koşma zamanlarında (00, 06, 12 ve 18 UTC) güncellenmektedir. Bu model her bir alt havza için yüzey akışını hesaplar. SAC-SMA modeline yağış girdisi (input) olarak Birleştirilmiş Ortalama Alansal Yağış (Merged MAP) ürünü değerleri girmektedir.

Eğer bir bölgede toprak nemi zaman içinde artıyorsa ve doyma noktasına yaklaşıyorsa bu bölgenin bir sonraki yağışta sel veya su baskınına maruz kalma ihtimali yüksek demektir. Şekil 13-b'de Çeşme'de 23 Şubat 2015 18:00 UTC itibarıyla son 6 saatte toprak nemi açısından doygun olduğu gözükmektedir. Yağış 18:00'dan sonra devam ettiği için (Şekil 3) toprağa yağan yağmurun fazlası yüzey akışına geçeceğinden muhtemel ani taşkınlara neden olmuştur. Yüzey akışı hesaplanırken bitki örtüsü, toprak tipi ve tekstürü, topoğrafya ve jeomorfolojik parametreler modele girdi olarak verilmiştir. Ani taşkınlar için toprağın üst tabakasının doymuş olması önemlidir. Toprak nem haritası (ASM), toprağın üst katmanındaki (20-30 cm) toprağın nem oranını vermektedir.



Şekil 13: Toprak Nemi Haritası,ASM-6hr,Tüm alt havzalar için(a) ve çalışma alanı büyütülmüş(b)

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). Toprağı doymuş bir alt havzada yağış devam etme eğiliminde ise yağan yağmur suyu yüzey akışına geçeceğinden, FFG değerine ulaşması da yağmurun şiddetine bağlı olarak o kadar hızlı olacaktır.

$$FFG = TR + PL$$

$$TR = (Q_p * A) / q$$

TR: Yüzey akış eşik değeridir. Alt havza çıkışlarında drenaj kanallarının banket seviyesine kadar dolması için gereken etkili yağış miktarıdır (mm).

PL: Yağış kayıplarıdır (mm). Bu kayıplar evapotranspirasyon, infiltrasyon, perkolasyon ve yana akışları kapsamaktadır.

Q_p: Kanalda taşkının meydana geleceği maksimum debi (m^3/sn). Bu değer kanal geometrisi ve Manning denkleminden hesaplanır [10].

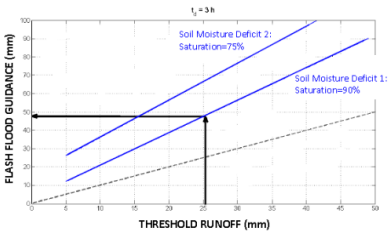
A: Alt havza alanı (m^2)

q: Belirli bir süre içinde (1, 3, 6 saat) alt havzanın jeomorfolojik birim hidrograf pik değeri

FFG değeri FFG modelinden elde edilmektedir. FFG modeline iki veri girmektedir. Bunlardan birincisi yüzey akış eşik değeri ve diğeri ise toprak nemi modeli çıktılarıdır. Bunlardan yüzey

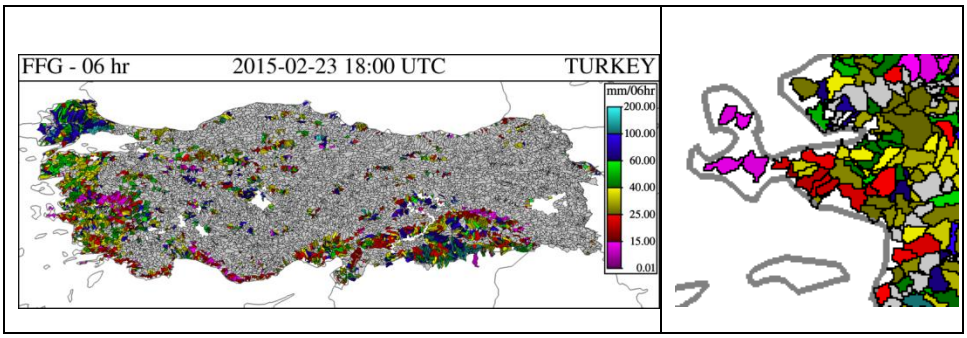
akış eşik değerleri sadece bir kez hesaplanmaktadır. Toprak nemi ise her altı saatte bir model koşulurken hesaplanmaktadır.

Şekil 14'de havza çıkışında havzada taşkın meydana getirecek (bankfull flow) miktardaki yüzey akış eşik değerinden (TR), SAC-SMA modelinde hesaplanan toprak nem açığına göre aynı süre içinde (1,3,6 saatlik toplam) ne kadarlık bir yağışa tekabül ettiği (FFG) bulunmaktadır.



Şekil 14: Yüzey Akış Eşik değeri 'nden(TR) FFG'ye transformasyon.

Şekil 13-b'de Çeşme'de 23 Şubat 2015 18:00 UTC itibarıyla son 6 saatteki toprak nemine doygun gözükmekteydi, Şekil 15-b'de aynı yerde FFG-06 hr haritasında mor renkli kodlanmıştır. Bunun anlamı mor renkte kodlanan bu alt havzaların çıkışında drenaj kanalının banket seviyesine kadar dolması için gerekli olan aktüel yağış 0.01 mm'dir; yani artık dere dolduğundan yağışın devam etmesi taşkına neden olabilir.



Şekil 15: FFG-06hr Haritası, Tüm alt havzalar için (a) ve çalışma alanı büyütülmüş(b)

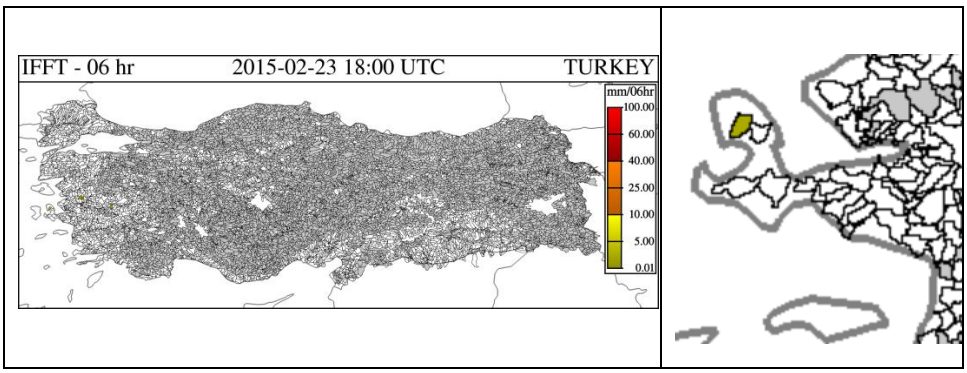
8.3.Ani Taşkın Erken Uyarısı Veren Tehlike Haritaları

Ani taşkın tehlikesi (FFT) tanım olarak, su banket seviyesini aştıktan sonra taşkına neden olan yağış miktarıdır (mm). BSMEFFG arayüzü konsolunda 3 farklı tehlike haritası vardır. Bunlar olası (imminent) taşkın tehlike haritası (IFFT), mevcut (persistence) taşkın tehlike haritası

(PFFT) ve tahmini (forecast) taşkın tehlike haritasıdır (FFFT). Bu ürünlerin renklendirme skalası sarı, turuncu ve kırmızıdır. Sarı renk ani taşkın olma ihtimalinin düşük; turuncu renk orta; kırmızı renk ise yüksek olduğunu göstermektedir. Taşkın erken uyarısı vermeden önce FMAP ile 1,3,6 ve 24 saatlik haritaları dikkatle incelenmelidir.

8.3.1.Olası Taşkın Tehlike Haritası (IFFT)

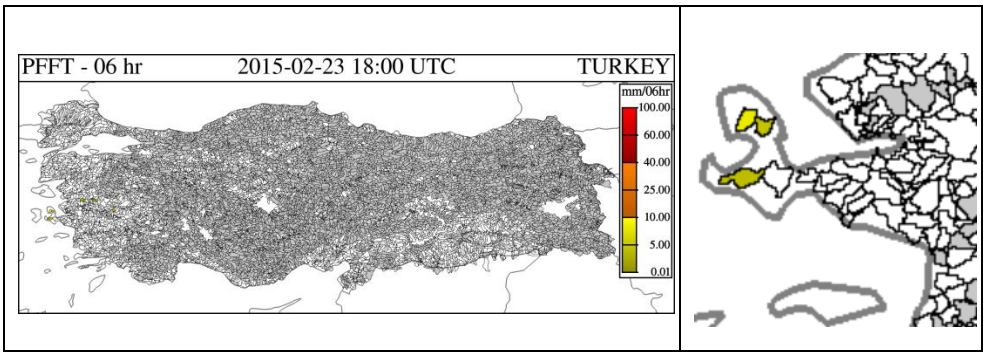
23 Şubat 2015 18:00 UTC tarihinde IFFT 06 hr, her bir alt havza için 18:00UTC'deki 6 saatlik Birleştirilmiş Ortalama Alansal Yağış (Merged MAP 06 hr) miktarı ile 12:00UTC'deki 6 saatlik FFG-06hr) arasındaki farktır. Altı saatlik IFFT ürünleri 00,06,12 ve 18 UTC saatlerinde hesaplanarak güncellenmektedir. [11]
IFFT alt havzalarda ani taşkın olma ihtimalinin ne kadar yüksek olduğunu göstermektedir. Şekil 16-b'de Çeşme'de IFFT-06 hr haritasında sarı renkli (10 mm/6saat civarında) kodlanmıştır.



Şekil 16: IFFT-06hr Haritası, Tüm alt havzalar için (a) ve çalışma alanı büyütülmüş(b)

8.3.2.Mevcut Taşkın Tehlike Haritası (PFFT)

23 Şubat 2015 18:00 UTC tarihinde PFFT 06 hr, her bir alt havza için 18:00UTC'deki 6 saatlik Birleştirilmiş Ortalama Alansal Yağış (Merged MAP 06 hr) miktarı ile 18:00UTC'deki 6 saatlik FFG-06hr) arasındaki farktır. Altı saatlik PFFT ürünleri 00,06,12 ve 18 UTC saatlerinde hesaplanarak güncellenmektedir. [11]

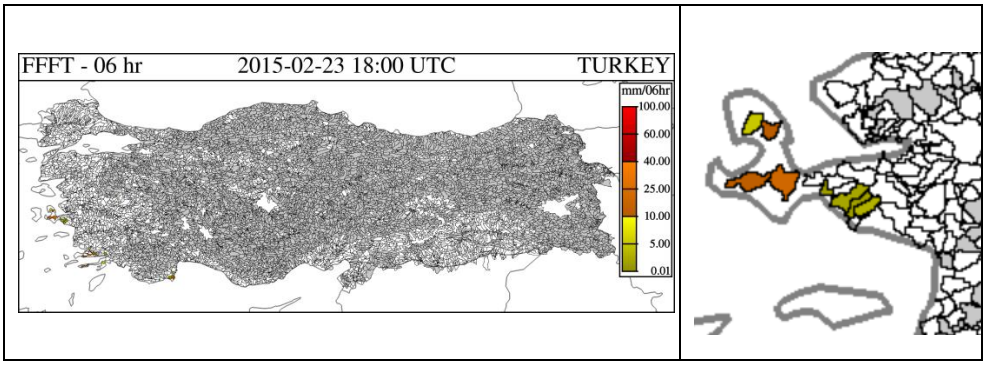


Şekil 17: PFFT-06hr Haritası, Türkiye'deki tüm alt havzalar için (a) ve büyütülmüş(b)

Şekil 17-b'de Çeşme'de PFFT-06 hr haritasında sarı renkli (10 mm/6saat civarında) kodlanmıştır.

8.3.3.Tahmini Taşkın Tehlike Haritası (FFFT)

23 Şubat 2015 18:00 UTC tarihinde FFFT 06 hr, her bir alt havza için 18:00UTC'deki 6 saatlik Birleştirilmiş Ortalama Alansal Yağış (Merged MAP 06 hr) miktarı ile 18:00UTC'deki 6 saatlik FMAP-06hr) arasındaki farktır. Altı saatlik FFFT ürünleri 00,06,12 ve 18 UTC saatlerinde hesaplanarak güncellenmektedir. [11]



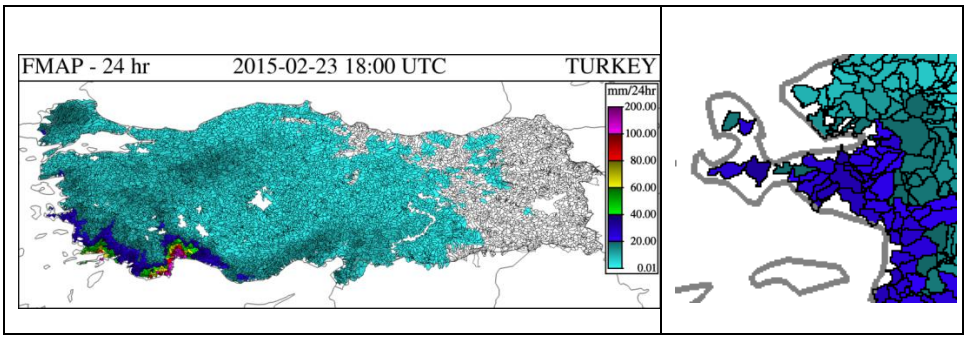
Şekil 18: FFFT-06hr Haritası, Türkiye'deki tüm alt havzalar için (a) ve çalışma alanı büyütülmüş(b)

Şekil 18-b'de Çeşme'de FFFT-06 hr haritasında turuncu (40 mm/6saat civarında) ve kırmızı renkli (60 mm/6saat civarında) kodlanmıştır.

8.4.Tahmini Alansal Yağış Değeri (FMAP)

FMAP ürünü, ALADIN-ALARO nümerik hava tahmin modeli kullanılarak her bir alt havza için 1,3,6 ve 24 saatlik tahmini alansal ortalama yağışa çevrilerek elde edildiğinden havza bazında

tahmini gelebilecek yağışı göstermektedir. Yağışın tahmini olarak ne kadar uzun sürebileceği ve büyüklüğü hakkında bilgiler vermektedir.

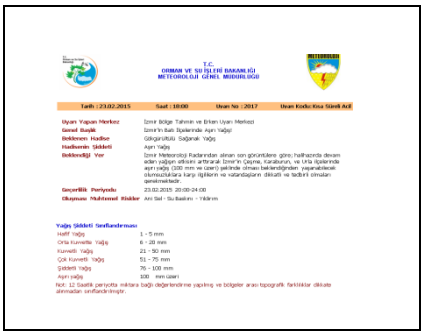


Şekil 19: FMAP-24hr Haritası, Türkiye'deki tüm alt havzalar için (a) ve çalışma alanı büyütülmüş(b)

Şekil 19-b'de Çeşme'de FMAP-24 hr haritasında 23 Şubat 2015 18:00UTC'den itibaren koyu mavi renkte (40 mm/24 saatlik) tahmini yağışlar gözükmektedir. Bu sonuçlar ALADIN-Alaro nümerik hava tahmin modeli verilerine göre yağışın devam edeceği anlamına gelmektedir.

9.SONUÇLAR

- 23 Şubat 2015 tarihinde Çeşme'de meydana gelen taşkın öncesinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü erken uyarı vermiştir (Şekil 20).



Şekil 20: Çeşme ve Karaburun için MGM tarafından 23 Şubat 2015 tarihinde yerel saat ile 18:00 da verilen sel taşkın uyarısı.

- 23 Şubat 2013 tarihinde Çeşme'de meydana gelen ani taşkın olayı ile ilgili olarak olay öncesinde MGM'de mevcut olanaklarla buna neden olan meteorolojik şartlar (yağış intensitesi, sinoptik analizler, uydu, radar, sounding analizlerine göre) incelenmiştir. 23

Şubat 2015 12:00 UTC tarihinde Çeşme'de yaşanan ani taşkın olayına İtalya'nın güneyindeki Sicilya adası üzerinde soğuk nüveli (çekirdekli) alçak basınç merkeziyle ilişkili sıcak cephe yol açmıştır. Bu çalışmada ani taşkının meydana gelmesiyle ilgili bilgiler, FFGS sisteminden elde edilen ürünlerle (ASM ile toprağın neme doygunluk derecesi, FFG, tehlike haritaları ve FMAP ile yağışın güçlenme veya azalma durumlarını da hesaba katarak) birlikte yorumlamıştır. Bu incelemelerin sonunda kullanılan veriler ve modellerden kaynaklanan belirsizlik (uncertainty) durumları da değerlendirilerek taşkın uyarısı verilmiştir.

- 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] **American Meteorological Society (AMS),** Prediction and mitigation of flash floods (adopted by AMS Council on 14 Feb2000). Bull. Am. Meteorol. Soc. 81, 1338–1340, 2000b.

[4] **Georgakakos Konstantine P.,** Realtime Flash Flood Predictions, Journal of Geophysical Research, 1987.

[5] **Georgakakos Konstantine P.,** Hydrometeorological Models for Realtime Rainfall and Flow Forecasting, Water Resources Publications, 2002.

[6] **Mustafa Çöleri, Mehmet Yayvan, Aziz Deniz, Ümit Turgut, Ahmet Eryılmaz, Cüneyt Geçer, Alper Guser**, Hava Analiz ve Tahmin Tekniği, MGM Yayını, Yayın No:2006-1, 2007.

[7] **Cüneyt Geçer, İbrahim Sönmez, Sema Arıman, Kurtuluş Öztürk, Alper Çubuk**, Samsun Meteoroloji Radarının Havza Su Yönetiminde Kullanımı: 3 Temmuz 2012 Örnek Olay İncelemesi, Cilt 2,sayfa:885-894, VII. Atmospheric Science Symposium, ATMOS 2015.

[8] **C.Şahin, S. Sipahioğlu**., Doğal Afetler ve Türkiye, Ankara, 2002.

[9] http://www.theweatherprediction.com/thermo/interpret/, The Weather Prediction, Interpretation of Skew-T indices, 2015.

[10] **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.

[11] **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

ARTVİN-HOPA TAŞKININ UYDU-RADAR VERİLERİYLE ANALİZİ VE TAŞKIN HESABI

Esin OĞUZ, Yusuf ULUPINAR, Alaattin UĞURLU, Başak YAZICI

Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Araştırma Dairesi Başkanlığı
Ankara

esoguz@mgm.gov.tr, yulupinar@mgm.gov.tr, augurlu@mgm.gov.tr, byazici@mgm.gov.tr,

ÖZET

Bu çalışmada, 24 Ağustos 2015 tarihinde Hopa bölgesinde meydana gelen taşkın olayı uydu ve radar verileri kullanılarak incelenmiştir. Taşkın öncesi ve taşkın dönemini kapsayan uydu ve radar görüntüleri kullanılarak taşkının etkilediği alanlar belirlenmiş ve bu görüntüler ile çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır. Sonrasında, Hopa ilçesinde bulunan Yoldere Deresi'nin taşkın debileri Sentetik yöntemler (Mockus ve DSİ Sentetik Yöntemleri) ile hesaplanmış, taşkın yayılım alanları uydu ve radar görüntüleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Havza karakteristikleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Yöntemlerin sonuçları karşılaştırılarak, Mockus Metodu ve SCS yağış-akış modeli ile hesaplanan değerler kabul edilmiştir.

Anahtar Kelimeler; *Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemi Sentetik Yöntemler, SCS Yağış-Akış Modeli*

1.GİRİŞ

Taşkınlar birçok bölge ve ülkede ekonomik ve sosyal hayatı etkileyen önemli doğal afetlerden biridir (CEOS, 2003). Uzaktan algılama; haritacılık, jeoloji, şehir ve bölge planlama, hidroloji, biyoloji, meteoroloji, tarım, çevre ile ilgili çalışmalar, doğal afetlerin izlenmesi, askeriistihbarat ve buna benzer birçok alanda aktif bir şekilde kullanılmaktadır (Showengerdt 2007). Uzaktan algılama (UA) teknikleri, uzak mesafeden geniş bölgelerin görüntülenmesi, istenilen miktarda verinin depolanması, yüksek hesaplama hızı, sistem çıktılarının çok yönlü bir yapıya sahip

olması, klasik yöntemlerle hesaplanması çok zor olan verilerin daha kolay ve kısa sürede elde edilebilmesi gibi olanak ve yetenekler sunmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak uzaktan algılama, taşkın haritalama ve hasar tespit çalışmalarında çok kullanışlı bir kaynak haline gelmiştir (Özdemir 2008). Günümüzde uydu görüntüleri, geniş alanları görüntüleyebilme özelliğiyle doğal afetlere ve taşkınlara karşı önceden bir takım önlemlerin alınması ve risk bölgelerinin tespit edilmesine yönelik önemli bir kaynak oluşturmaktadır (Batur ve Maktav 2012).

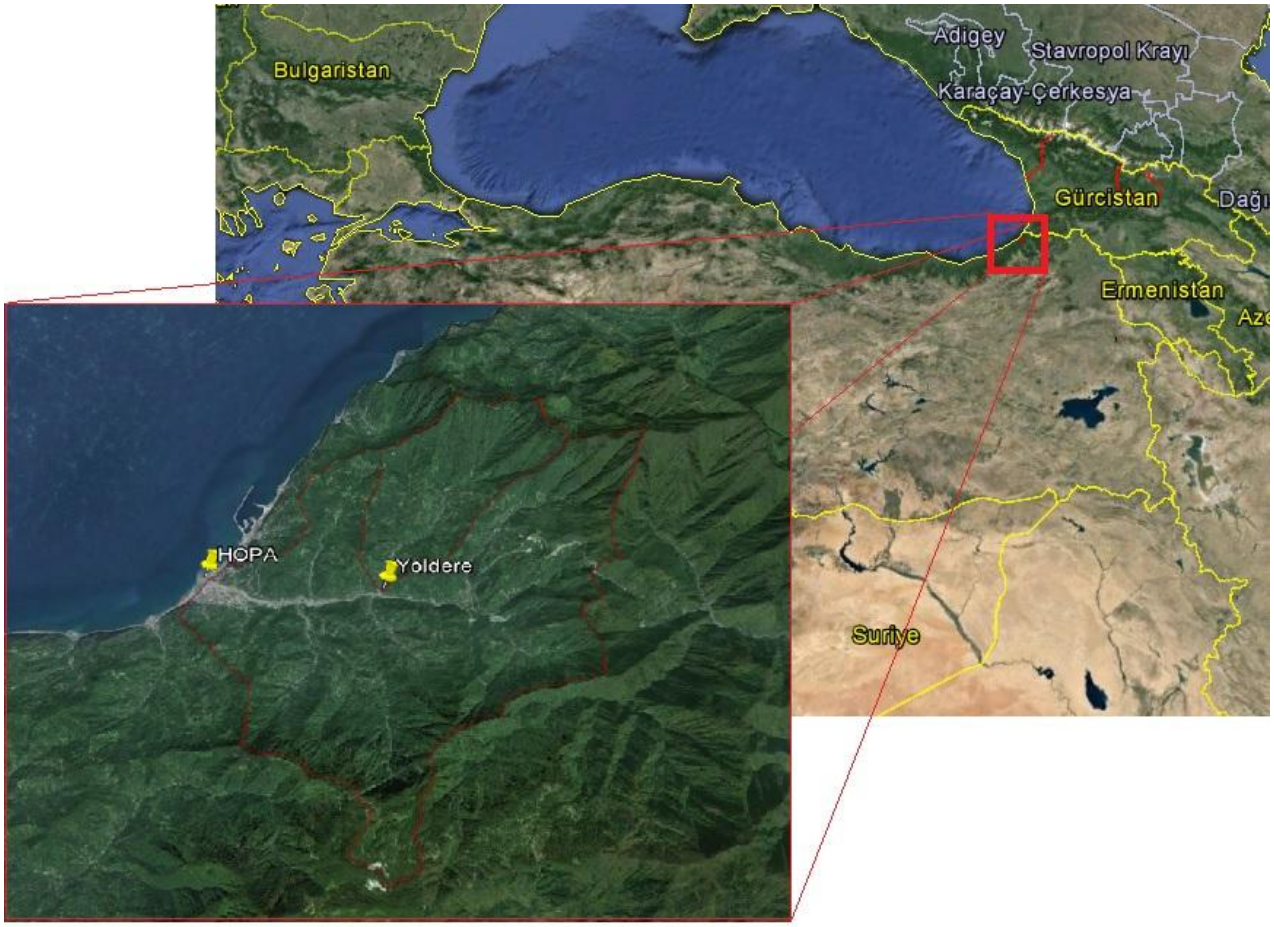
2. ÇALIŞMA ALANI VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Yapılan bu çalışma da, 24 Ağustos 2015 tarihinde Hopa bölgesinde meydana gelen taşkın olayı incelenmiştir. Taşkın yayılım alanlarının belirlenebilmesi için TÜBİTAK RASAT Araştırma Uydusu (RASAT Araştırma Uydusu yüksek çözünürlüklü optik görüntüleme sistemine ve Türk mühendislerce tasarlanıp geliştirilen yeni modüllere sahip olan ve Türkiye'de tasarlanıp üretilen ilk yer gözlem uydusudur) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilmiş radar görüntülerinden yararlanılmıştır.

Hopa ve Hopa ve Yoldere Deresi havza parametrelerinin heabında Coğrafi Bilgi Sisteminden yararlanılmıştır.Yapılan hesaplamanların sonucunda Hopa ve Yoldere Deresi havza parametreleri Tablo 2.1'de, çalışma yeri ise Şekil 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 : *Çalışma Alanı Havza Parametreleri*

Havza No	*Yer Adı*	*Dere Adı*	*Koordinat*		*Kot, m*	*Yağış Alanı (A),km²*	*L, m*	*L_c, m*	*$h_{min}=h_0$*	*h_1*	*h_2*	*h_3*	*h_4*	*h_5*	*h_6*	*h_7*	*h_8*	*h_9*	*$h_{max}=h_{10}$*	*S*
			Enlem	Boylam																
1	Hopa Çayı	Hopa Çayı	41° 22'	41° 25'	2	75,30	10808	5807	2	10	18	23	30	65	92	120	220	321	862	0,0171
2	Yoldere	Yoldere Deresi	41° 23'	41° 28'	55,4	13,40	5550	3834	55,4	60	80	92	110	140	160	190	250	418	680	0,4180

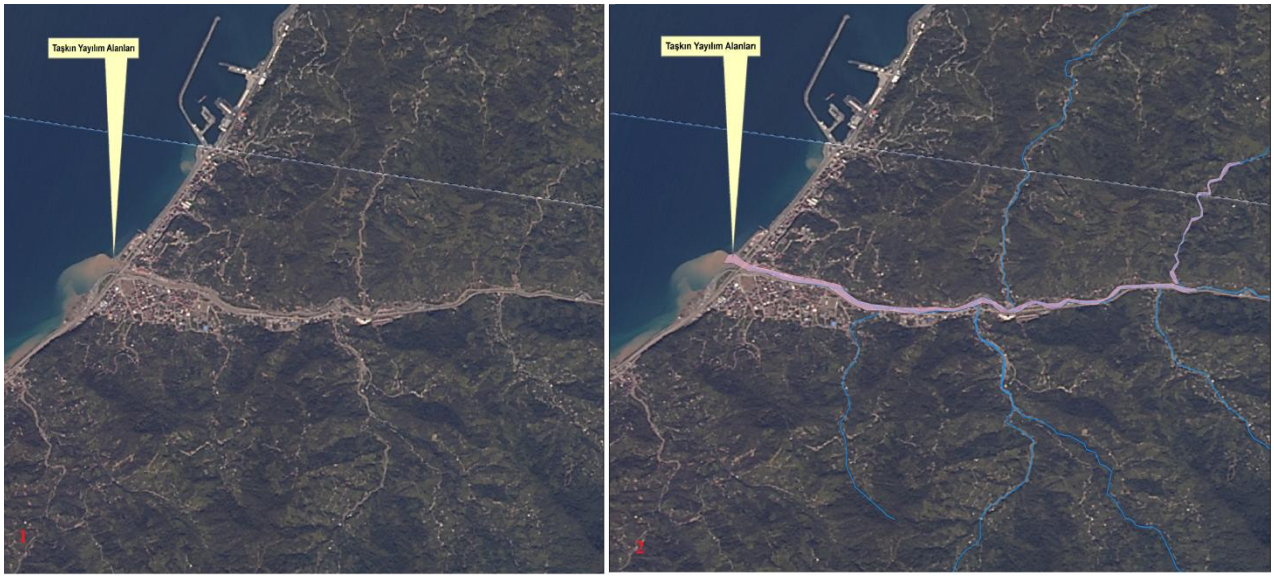


Şekil 2.1: *Çalışma alanı yeri*

3. TAŞKIN YAYILIM ALANLARININ TESPİTİ

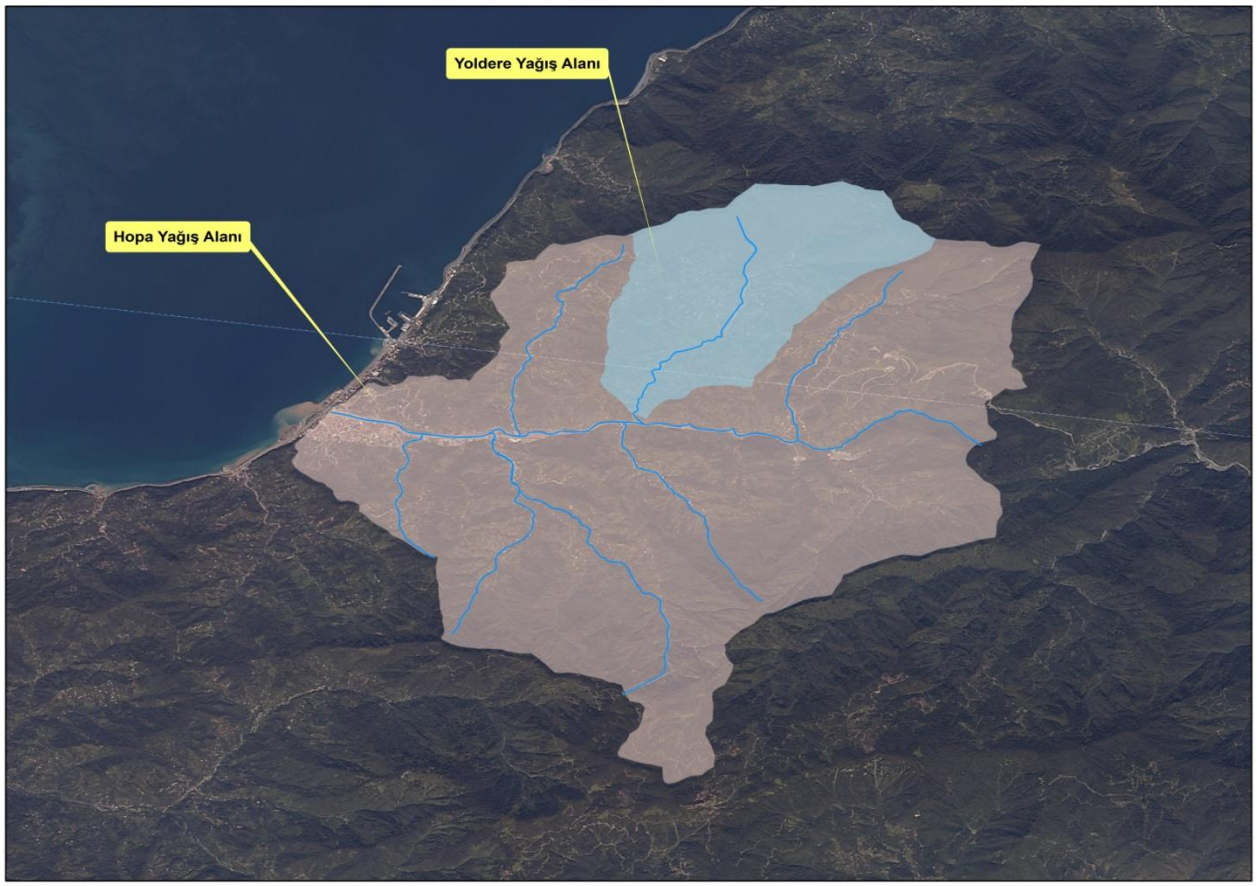
Uzaktan Algılama uydularının en önemli özelliği yeryüzünde geniş alanları, belli zaman aralıklarıyla sürekli ve çok bantlı tarayarak, sayısal veri kaydetmesidir. Uydu verileri, çok kısa aralıklarla ilgi alanlarının sürekli gözlenebilmesinde, içinde sel baskınları ve taşkınlarında olduğu pek çok doğal afet olaylarının anlaşılabilmesinde çok değerli bilgiler taşır. Bazı taşkın parametrelerini anlamada yeterli bilgiler (yoğun yağmur olaylarının tahmini, kar erimeleri, akış yönü, akış hızı, ilgi alanının arazi kullanımı/arazi örtüsü, toprak tipi, topografik yapısı...) uzay teknolojilerinin yüksek, orta, düşük çeşitli ayırım gücündeki, çeşitli uydu görüntülerinden sağlanabilmektedir. Taşkın alanı çoğu zaman binlerce kilometre karelik alanları kaplamakta ve bu alanların doğru, hızlı tesbiti ve değerlendirilmesi, radar veya optik uzaktan algılama uydu verileriyle yapılabilmektedir (Yıldırım 2002).

Yapılan bu çalışmada 24 Ağustos 2015 tarihinde Artvin-Hopa'da meydana gelen taşkının, RASAT Araştırma Uydusu'undan alınan uydu verileriyle, taşkının yayılım alanlarının tespiti yapılmıştır. Taşkın dönemi öncesi ve taşkın dönemine ait uydu verilerine ulaşılamadığından, taşkın olayı sonra 02 Eylül 2015 tarihinde elde edilen uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. 09 Eylül 2015 tarihinde RASAT Araştırma Uydusu'undan alınan Hopa ilçesi uydu görüntüleri ve CBS ile belirlenmiş taşkın yayılım alanları tespit edilmiş ve Şekil 3.1 'de gösterilmiştir.

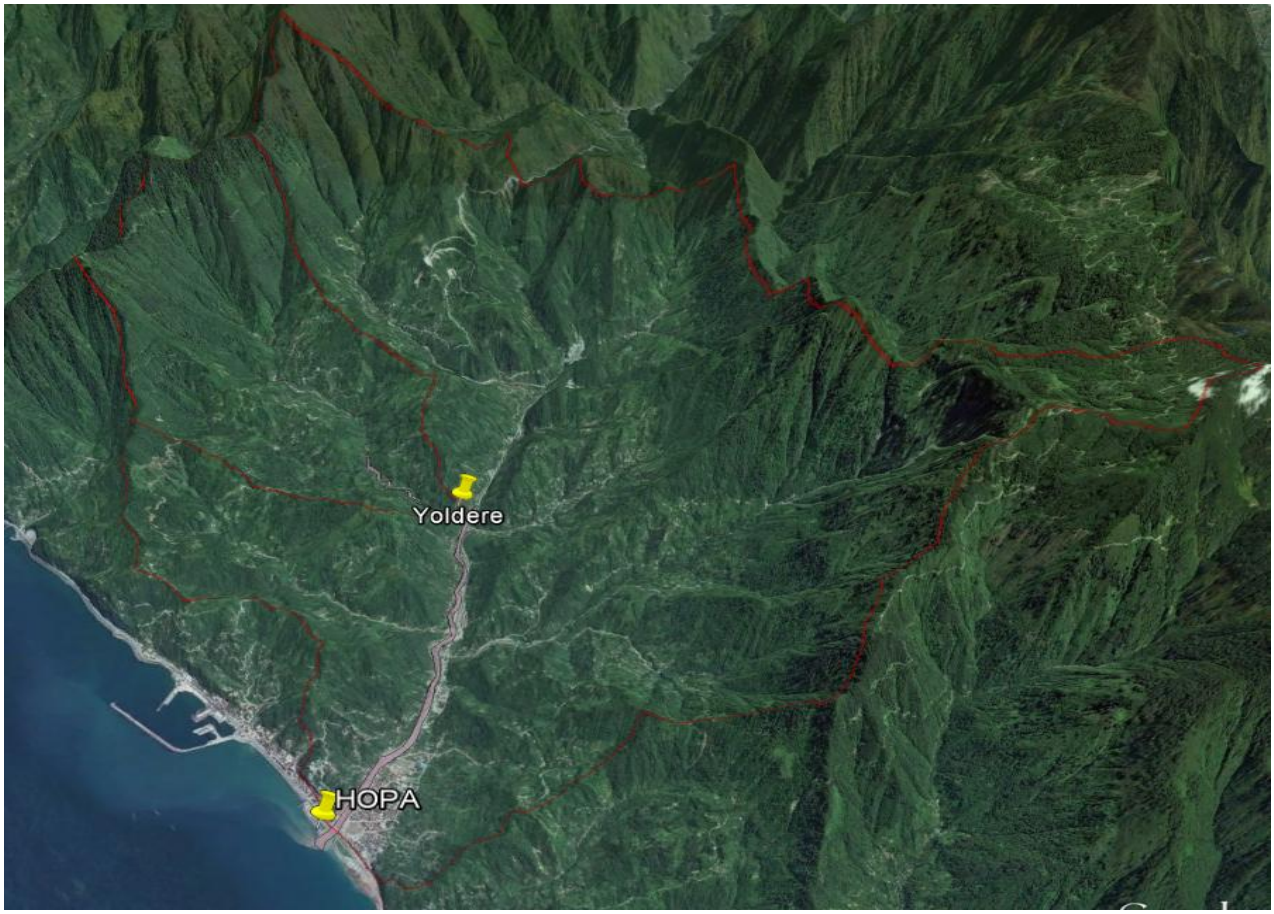


Şekil 3.1: *02 Eylül 2015 Tarihli RASAT Araştırma Uydusu görüntüsü (1) ve Yayılım alanları (2)*

Şekil 3.2 'de çalışma alanı yağış alanları, Şekil 3.3'de ise RASAT Araştırma Uydusu görüntülerinin Google Earth programına işlenmesiyle elde edilen yayılım alanları gösterilmiştir.



Şekil 3.2: *Hopa ve Yoldere Deresi yağış alanları*



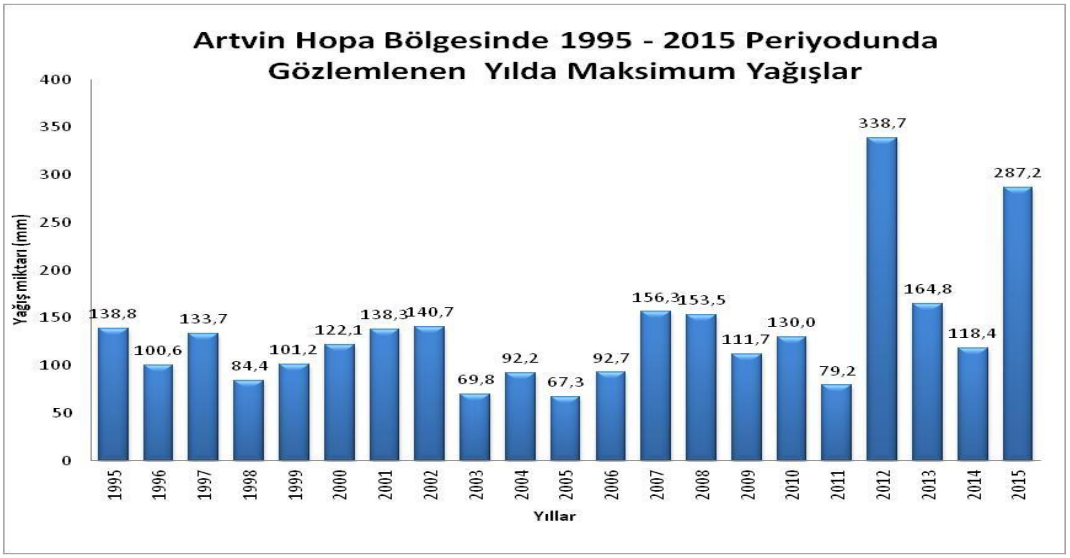
Şekil 3.3: *RASAT Araştırma Uydusu görüntülerinin Google Earth programına işlenmesiyle elde edilen yayılım alanları*

4. ARTVİN HOPA İKLİM ÖZELLİKLERİ VE YAĞIŞ ANALİZİ

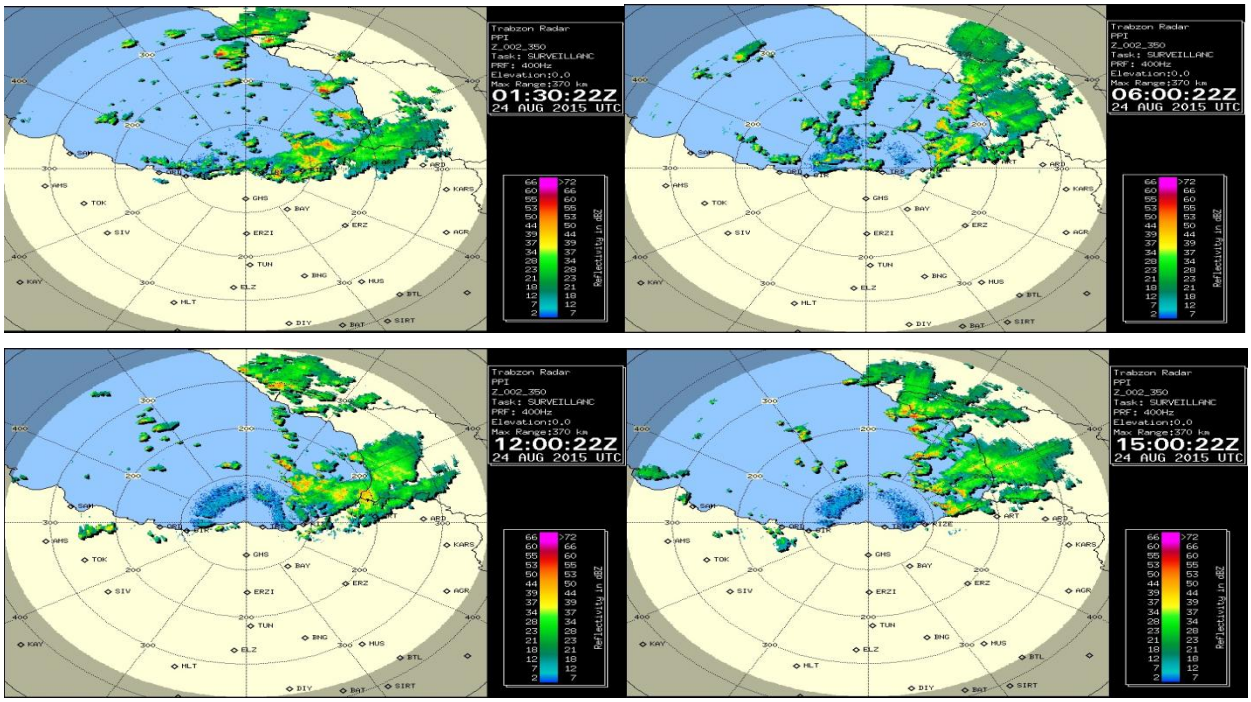
Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer alan Artvin Hopa'da Karadeniz bölgesi iklimi hakimdir. Genelde Karadeniz bölgesi her mevsim yağışlı ve sahil kesimlerdeki yağış coğrafi yapısı sebebiyle 1000 mm'nin üzerindedir. Karadeniz bölgesinde yıllık ortalama sıcaklıklar 12-16°C civarındadır. Artvin Hopa'da Ağustos ayı, yılın en sıcak ayıdır. En az yağış Nisan ve Mayıs aylarında, en yüksek yağış ise Ekim ayında gözlemlenmektedir.

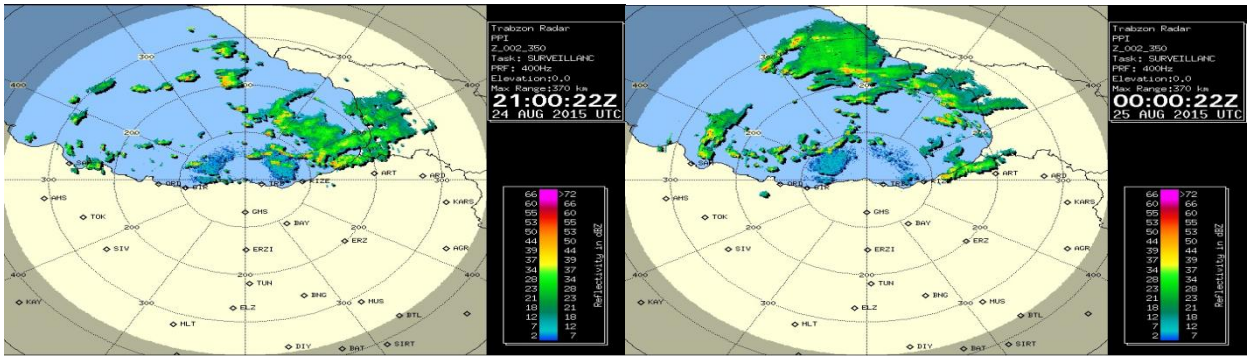
Bunun yanı sıra, özellikle son yıllarda iklim değişikliğinin etkileri olan mevsimlerdeki kaymalar ve ekstrem olayların sayısı ve şiddetindeki artışlar ülkemizde de bazı ekstrem olayların daha sık ve şiddetli bir biçimde gözlemlenmesine sebep olmuştur. Hopa'da 1995-2014 yılları arasında Ağustos

ayında gözlemlenen maksimum yağış miktarı 2001'de gözlemlenen 113.8mm'dir. Şekil 3.1'de Hopa'da 1995-2015 yılları arasında gözlemlenen maksimum yağışların dağılımını göstermektedir. Ağustos 2015'te Hopa'daki taşkına sebep olan yağış miktarı ise 287.2 mm bu yağış geçişi MGM Trabzon radarında gözlemlenmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Artvin Hopa Bölgesinde 1995-2015 Periyodunda Gözlemlenen Yılda Maksimum Yağış Değerleri





Şekil 3.2 *MGM Trabzon Radarı 23-24 Ağustos Gözlemleri*

24 Ağustos 2015 tarihinde meydana gelen şiddetli yağış sonucunda meydana gelen taşkının hesaplanabilmesi için, sentetik yöntemlerle 2, 4, 6, 12, 18 ve 24 saat süreli ve çeşitli yinelenmeli taşkınlar hesaplanmıştır (Tablo 3.1). Her bir taşkın çalışılan derenin yağış alanı için çeşitli süreli (1-24 saat) yağışlardan gelen taşkın debileri kabul edilmiştir.

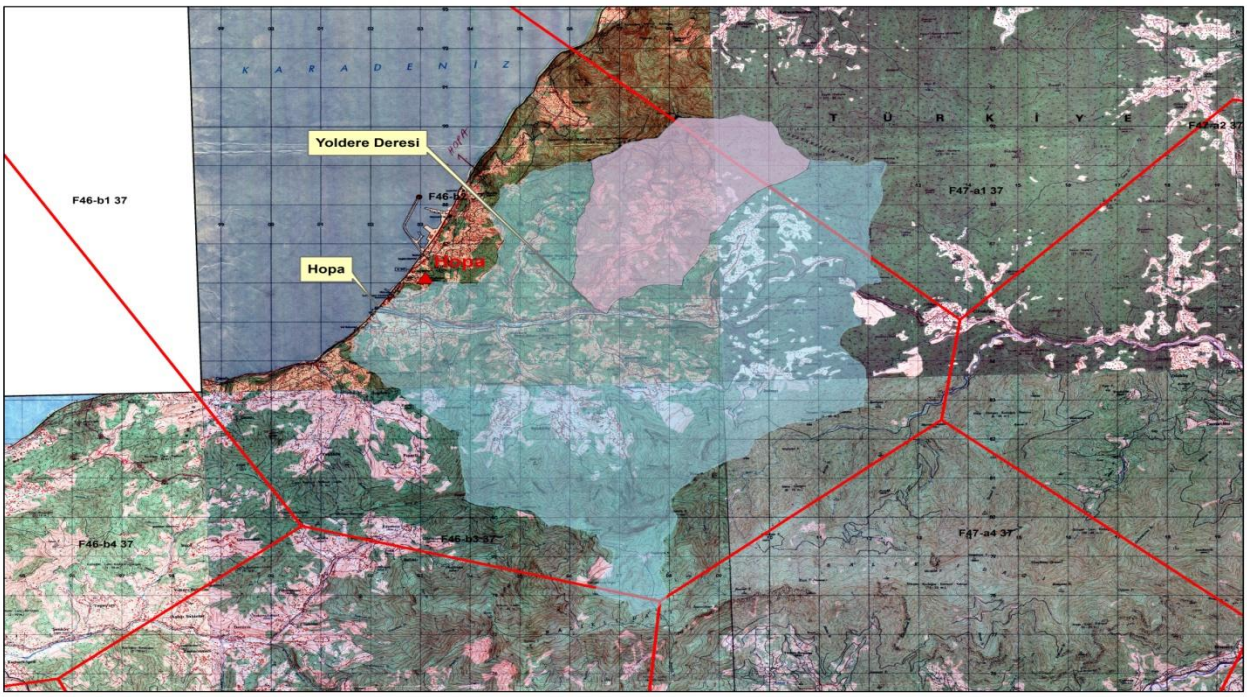
Tablo 3.1 *Hopa MGM MGİ Yinelenmeli Yağış Değerleri*

İstasyon Adı	Dağılım Tipi	2 Yıl	5 Yıl	10 Yıl	25 Yıl	50 Yıl	100 Yıl	200 Yıl	500 Yıl
Hopa MGM MGİ	Log-Pearson Tip-3	98,13	130,65	158,21	200,64	238,42	282,19	332,89	392,70

5. SENTETİK YÖNTEMLERLE TAŞKIN HESABI

24 Ağustos 2015 tarihinde, Artvin ili Arhavi, Hopa ve Borçka ilçeleri ve köylerinde sağanak yağış nedeniyle su baskını, sel ve heyelan olayları meydana gelmiştir. Yapılan bu çalışmada sel olayının meydana geldiği Hopa ilçesi, Yoldere deresinin taşkın hesabı sentetik yöntemlerden Mockus Yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanı ve çevresinde iklim özelliklerini oluşturan atmosferik bileşenler Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından ölçülmektedir. Meteoroloji gözlem istasyonlu konumu, Pafta 4.1'de, hidroloji çalışmalarında verileri kullanılan Hopa Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Meteoroloji Gözlem İstasyonuna (MGİ) ait fiziksel özellikler Tablo 1.1'de verilmiştir. Çalışma alanı çevresi'nde taşkın çalışılan Yoldere deresinin yağış alanını Hopa MGM MGİ temsil etmektedir. Thiessen Poligonu meteoroloji istasyonları dikkate alınarak çizilmiştir (Pafta 4.1)



Pafta 4.1 *Çalışma Alanı Yağış Alanı ve Thiessen Poligonu*

Sentetik yöntemlerden Mockus Sentetik Yöntemi ile çeşitli yinelenmeli taşkın debileri hesaplanmıştır. Çalışmaların detayları aşağıda açıklanmıştır.

Tablo 4.1 *Hopa-Yoldere Deresi İçin Sentetik Yöntemlerle Elde Edilen Çeşitli Yinelenmeli Taşkın Debileri,* m^3/s

Havza Adı ve Kullanılan Yöntem	Mockus Sentetik Yöntemi	
Yinelemeli Debi	**$Q_{yağmur}$**	**$Q_{yağmur+Baz}$**
2	23,2	**23,2**
5	40,1	**40,1**
10	56,0	**56,0**
25	82,1	**82,1**
50	106,5	**106,5**
100	135,8	**135,8**
500	191,0	**191,0**
1000	214,7	**214,7**
*** Baz akım mertebe olarak küçük olduğundan "0 (Sıfır)" alınmıştır.		

Hopa-Yoldere Deresinde, Mockus Yöntem ile hesaplanan taşkın debileri Tablo 4.1'deki gibidir. Yapılan hesaplamalara göre; Yoldeere Deresi, Mockus Yöntem ile elde edilen 100 yıllık taşkın debisi **Q_{100}= 135,8 m^3/s** 'dir. 24 Ağustos 2015 günü meydana gelen yağış **287,2 mm**'dir. Bu yağış değeri Hopa MGM MGİ yılda günlük en büyük yağış değerleri frekans analizi sonuçlarına göre 100 yıllık bir yağışa denk gelmektedir(Tablo 3.1).

6. SONUÇLAR

Çalışma alanı noktaların koordinatları, havza karakteristikleri Tablo 2.1'de, hesaplanan debi değerleri ise Tablo 4.1'de verilmiştir. Çalışma alanındaki taşkın yayışım alanlarını taşkın dönemi öncesi, taşkın anı ve taşkın dönemi sonrası olarak gözlemlemek istenilmiştir. Ancak gerekli uydu verileri temin edilemediğinden 02 Ekim 2015 tarihli RASAT Araştırma Uydusu görüntülerinden yararlanılmıştır. Bölgedeki taşkın dönemindeki yağış ise MGM Trabzon radarı görüntülerinden yararlanılarak incelenmiştir. Projede hidrolojik açıdan akım gözlem istasyonlarının kapalı ve

gözlemlerin yetersiz olması önemli bir problemdir. Bölgede akım gözlem ağı genişletilmeli, kapalı istasyonlar açılarak açık olan istasyonlarda da değerlendirmelere devam edilmelidir.

Hopa-Yoldere Deresinde meydana gelen taşkın, bölgede meydana gelen taşkın olaylarından en yoğun olarak görüldüğü yerlerden biridir. Hopa-Yoldere Deresinde, Mockus Yöntem ile hesaplanan taşkın debileri Tablo 4.1'deki gibidir. Yapılan hesaplamalara göre; Hopa-Yoldere'de, Mockus Yöntem ile elde edilen 100 yıllık taşkın debisi Q_{100}= 135,8 m^3/s'dir. Ayrıca 24 Ağustos 2015 günü meydana gelen yağış 287,2 mm'dir. Bu yağış değeri Hopa MGM MGİ yılda günlük en büyük yağış değerleri frekans analizi sonuçlarına göre 100 yıllık bir yağışa denk gelmektedir(Tablo 3.1).

KAYNAKLAR

[1] COMMITTEE ON EARTH OBSERVATION SATELLITES (CEOS). (2003),"*The Use of Earth Observing Satellites for Hazard Support: Assessments and Scenarios. Final Report of the CEOS Disaster Management Support Group (DMSG) ''*
http://www.ceos.org/pages/DMSG/2001Ceos/Reports/flood.html (14.04.2008)

[2] Showengerdt R.A. 2007. *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing. Third Edition, Tucson, Arizona, s.2-8.*

[3] Özdemir, H. 2008. *Taşkınların Tahmini ve Risk Analizinde CBS UZAL ve Hidrolik Modellemenin Entegrasyonu. Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müd. 5. Dünya Su Forumu Türkiye Bölgesel Hazırlık Toplantısı, s.131-142.*

[4] Batur E., Maktav D., 2012, *Uzaktan Algılama ve CBS Entegrasyonu ile Taşkın Alanlarının Belirlenmesi: Meriç Örneği, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Ocak 2012 Cilt 5 Sayı 3(47-54)*

[5]Yıldırım H., 2012 *Envisat Uydu Verisi Desteği Kazanmış "Türkiye'de Envisat Uydu Verileri İle Taşkınların Takibi" Mam Projesinin Tanıtımı, Uluslar arası Radyo Bilimleri Derneği Ulusal Kongresi*

[6] *Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Rasat Bilgileri,* 2015

[7] *Devlet Su İşleri, Rasat Bilgileri*, 2010

[8] Bayazıt M., *Hidroloji, İstanbul Teknik Üniversitesi,1999*

07.08.2014 tarihinde İstanbul'da Meydana Gelen Kümülonimbüs Aktivitelerinin Beraberinde Getirdiği Orajların Sinoptik Analizi ile Uydu-Radar Ürünleri ve Yıldırım Gözlem Verileri Kullanılarak Görsel Açıdan İncelenmesi

Gülru Madan
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
12. Bölge Müdürlüğü
Erzurum Meydan Meteoroloji Müdürlüğü
gulru.madan@gmail.com

Mert Uluyazı
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
mertuluyazi@gmail.com

ÖZET

Gelişen teknoloji ile birlikte yeni nesil yolcu uçakları ve gelişmiş terminallerin inşa edilmesi ile havacılık endüstrisi hızla büyümesini sürdürürken Türk Sivil Havacılık endüstrisi de son yıllarda dünya genelinde en hızlı büyüyen havacılık endüstrilerinden biri konumuna gelmiştir. Ancak, büyüyen endüstrinin yanında havacılık emniyeti kavramı da önem kazanmaktadır ve havacılık emniyeti açısından risk oluşturan çeşitli meteorolojik faktörler de söz konusudur. Bu faktörlerden bir tanesi de bünyesinde Kümülonimbüs bulutlarını da barındıran oraj hadisesidir ve uçuş emniyeti açısından önemli bir risk kaynağıdır. İstanbul'da 7 Ağustos 2014

tarihinde meydana gelen ve İstanbul genelini kaplayarak hem Atatürk Uluslararası Havalimanı'nda hem de Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı'nda çok sayıda sefer iptaline sebebiyet veren Kümülonimbüs aktiviteleri beraberinde şiddetli yağışı da getirmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada, 07.08.2014 tarihinde gerçekleşen hadiseler sinoptik kartlar, TEMP diyagramı ve meteorolojik gözlem verileri yardımıyla sinoptik açıdan incelenirken, uydu ve radar ürünleri ile yıldırım gözlem verileri aracılığıyla da hadise görsel açıdan ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler — Havacılık endüstrisi, havacılık emniyeti, Kümülonimbüs bulutları, oraj, şiddetli yağış, sinoptik kartlar, TEMP Analizi, meteorolojik gözlem verileri, uydu ürünleri, radar ürünleri, yıldırım gözlem verileri

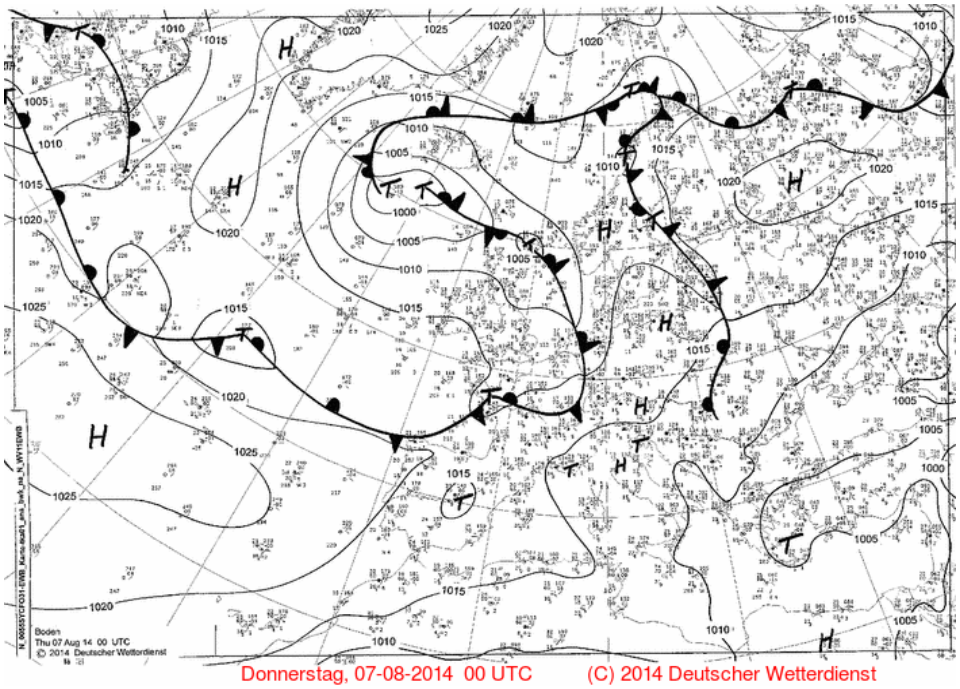
1. GİRİŞ

7 Ağustos 2014 tarihinde Marmara Bölgesi'nde gerçekleşen sağanak ve gök gürültülü sağanak yağışa neden olan sinoptik ve düşey atmosfer koşulları ele alınmıştır. Yer kartları, havacılık rasatları, uydu ve radar ürünleri, yıldırım tespit ürünleri ve atmosferdeki kararsızlık indeksleri incelenmiştir. Atatürk Havalimanı çevresinde 14:00 TSİ başlayan sağanak yağış 16:00 TSİ civarında gök gürültülü sağanak yağışa dönmüş olup yaklaşık 6 saat süren yağış sonunda metrekareye 34 kg yağış düşmüştür. Sabiha Gökçen Havalimanı çevresinde 15:30 TSİ başlayan gök gürültülü sağanak yağış 19:00 TSİ kadar devam etmekte olup 3.5 saat sonunda metrekareye 28,6 kg yağış düşmüştür. Meydana gelen yağış ve olumsuz hava koşulları sonunda iki havalimanında da uçak seferleri olumsuz etkilenmiştir (gecikme/iptal).

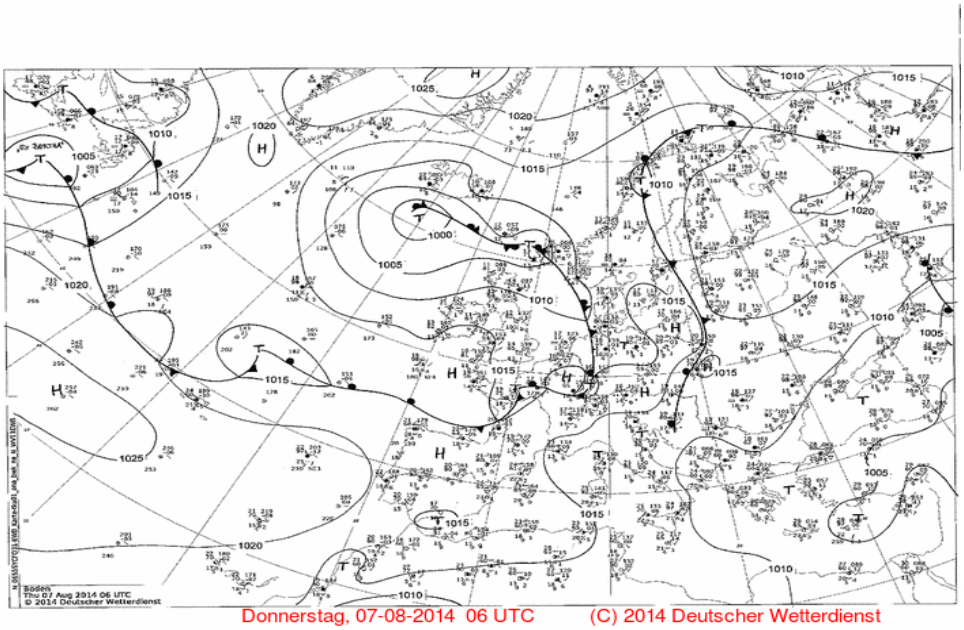
2. VERİ ANALİZİ

2.1 Aktüel Haritalar

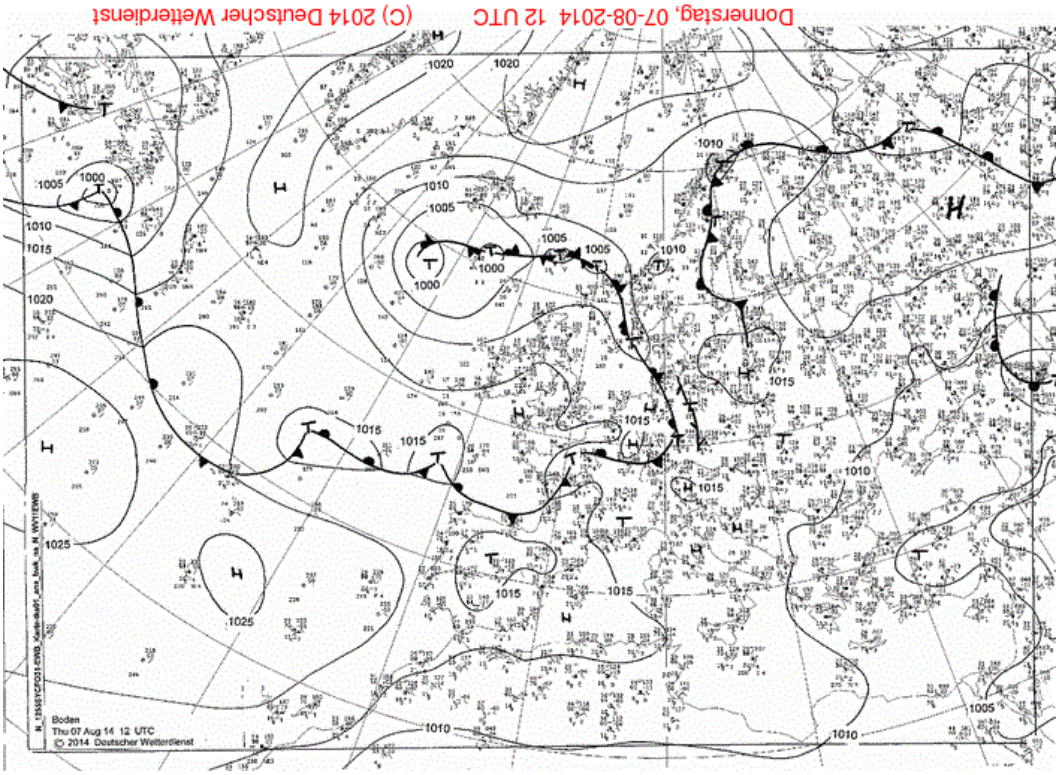
2.1.1 Yer Kartları



Şekil 1: 7 Ağustos 2014 00Z yer kartı

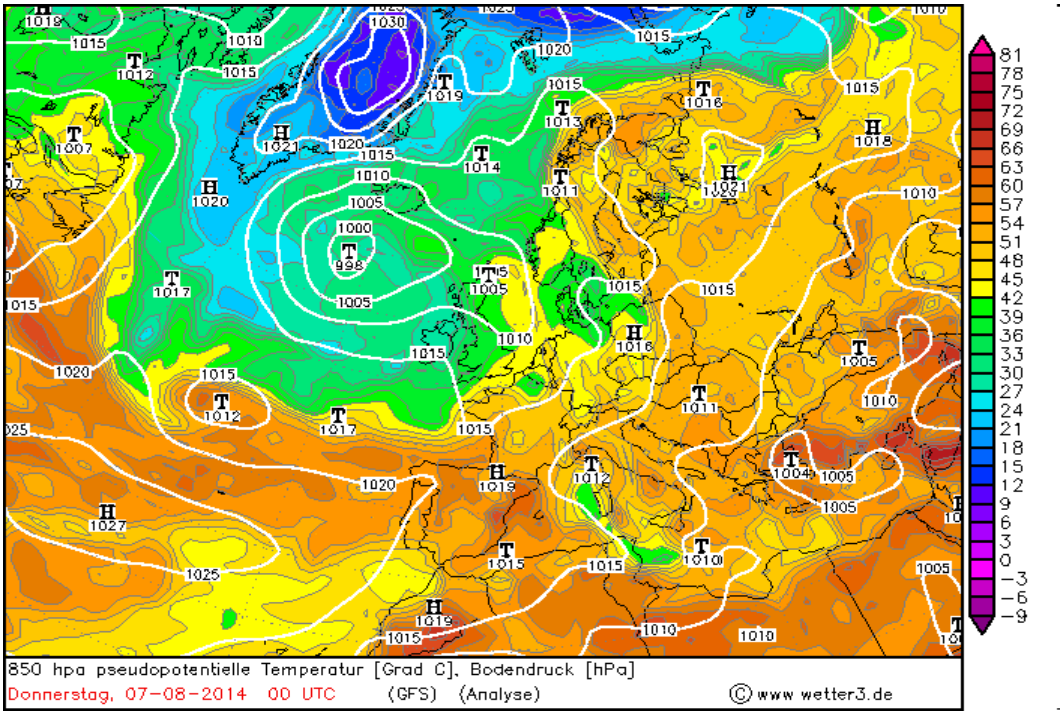


Şekil 2: 7 Ağustos 2014 06Z yer kartı

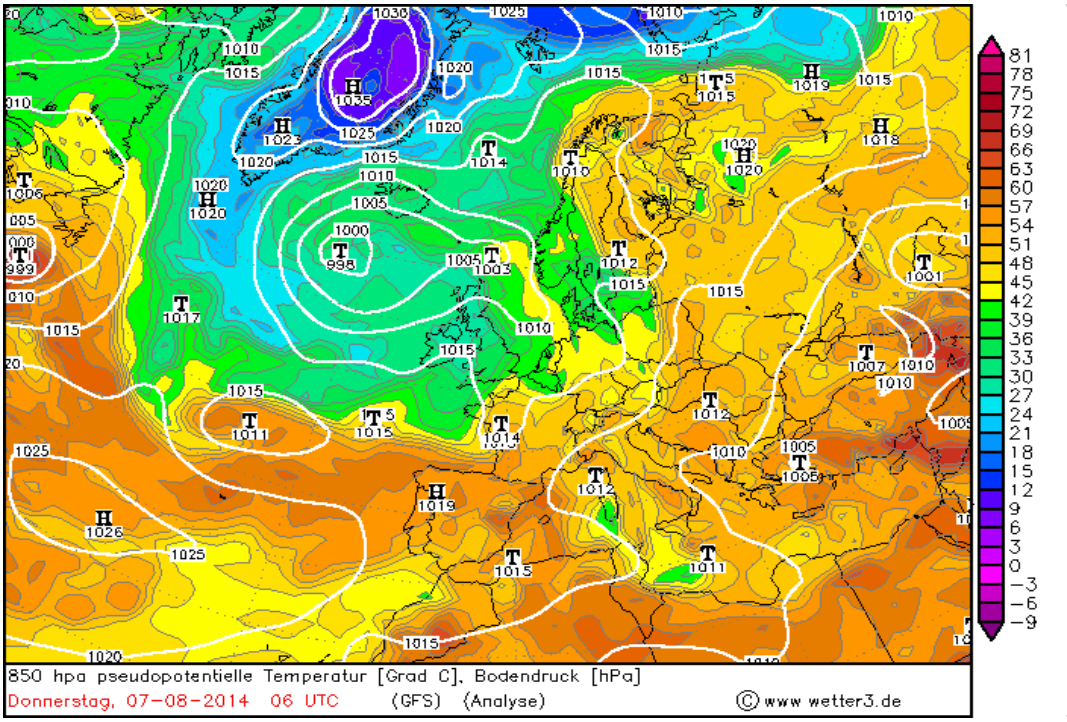


Şekil 3: 7 Ağustos 2014 12Z yer kartı

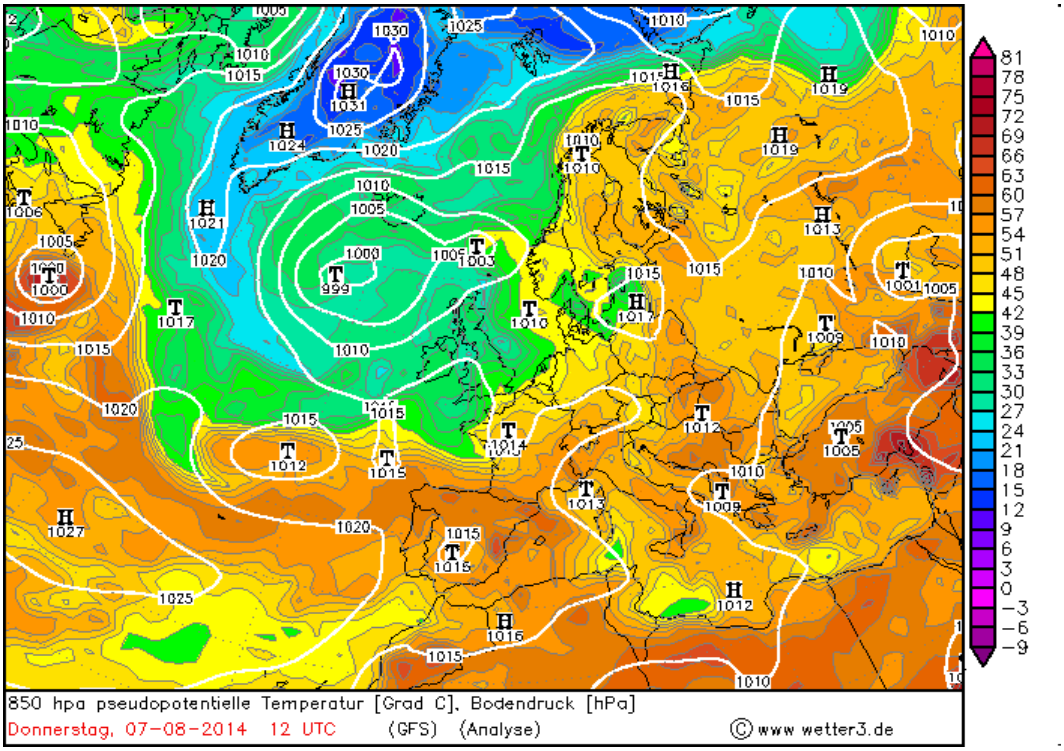
2.1.2 Yüksek Seviye Kartları



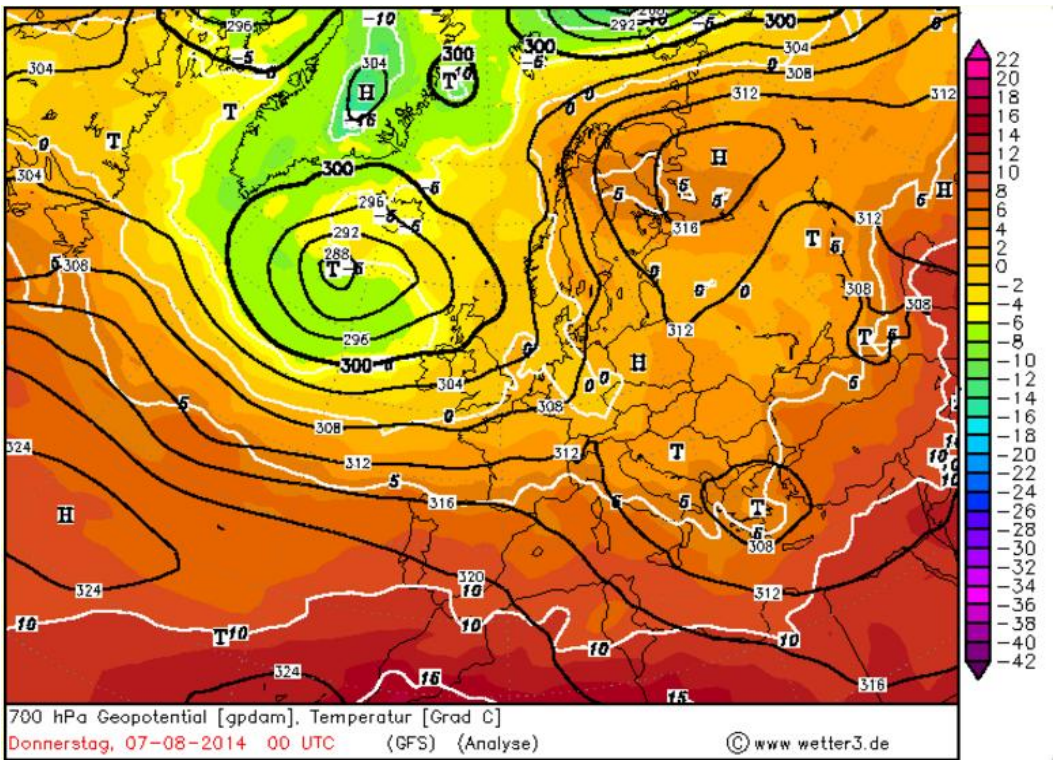
Şekil 4: 7 Ağustos 2014 00Z 850 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Sıcaklık



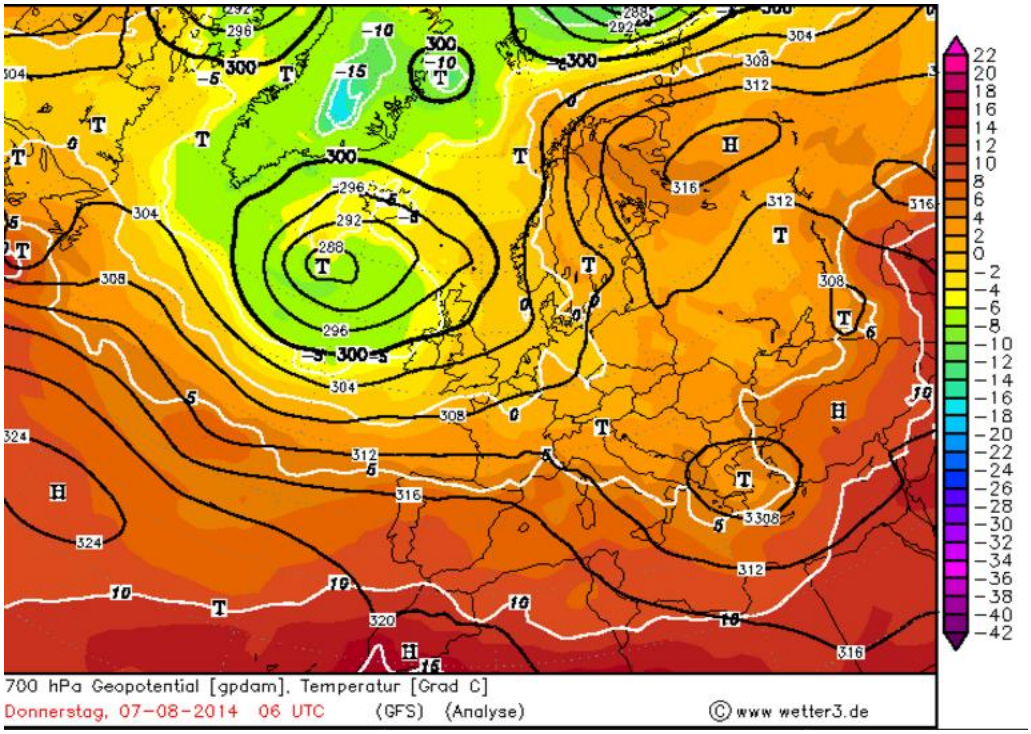
Şekil 5: 7 Ağustos 2014 06Z 850 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Sıcaklık



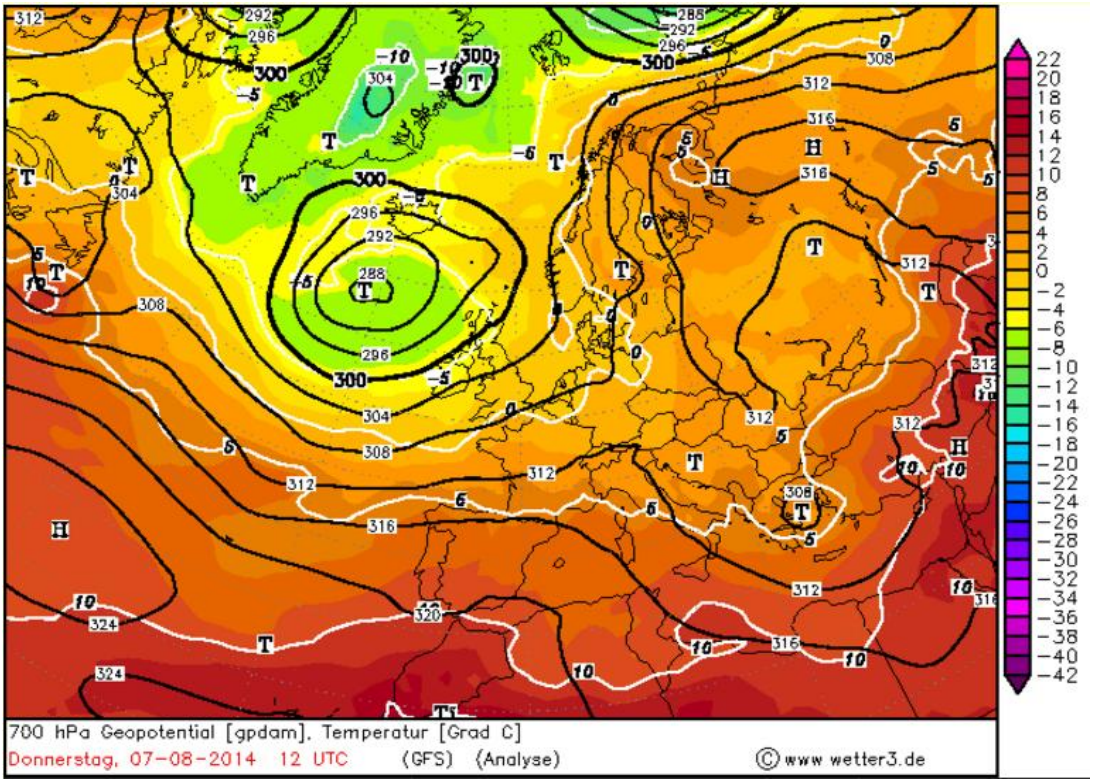
Şekil 6: 7 Ağustos 2014 12Z 850 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Sıcaklık



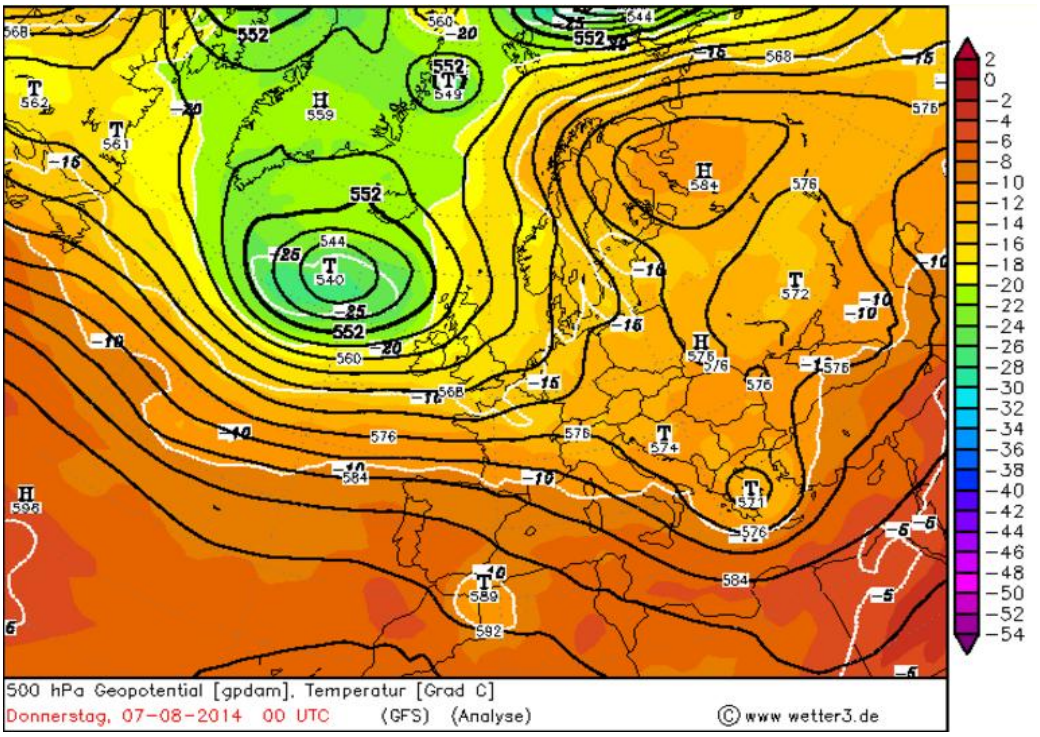
Şekil 7: 7 Ağustos 2014 00Z 700 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Sıcaklık



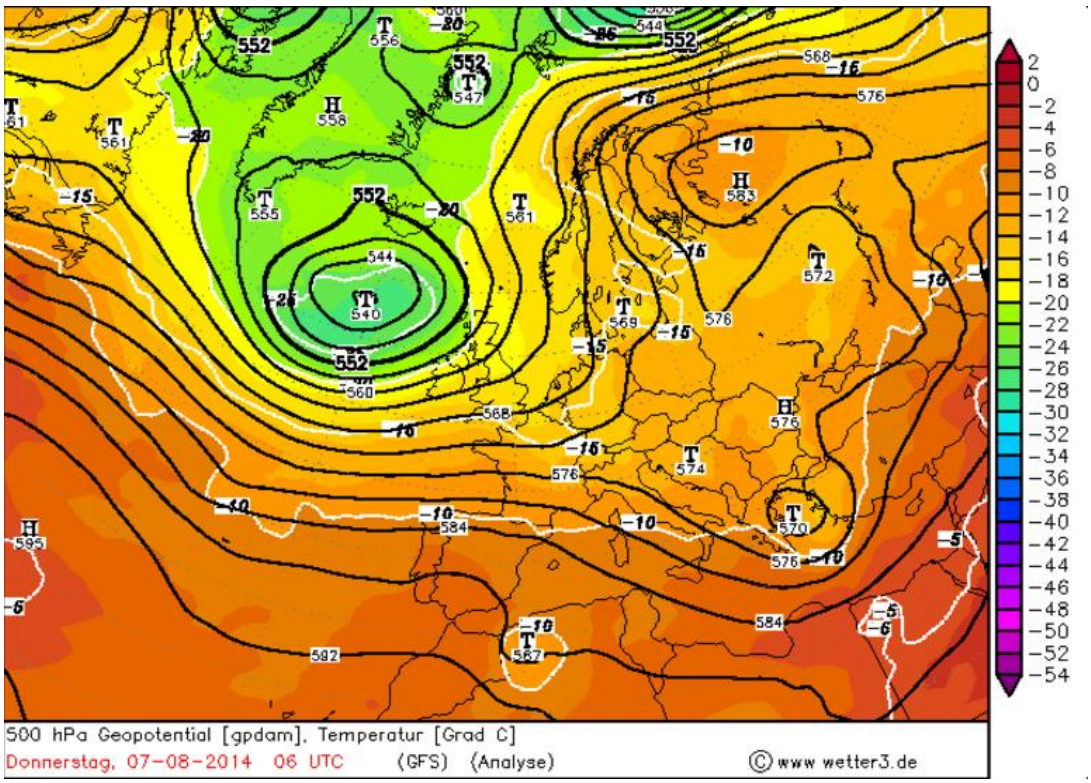
Şekil 8: 7 Ağustos 2014 06Z 700 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Sıcaklık



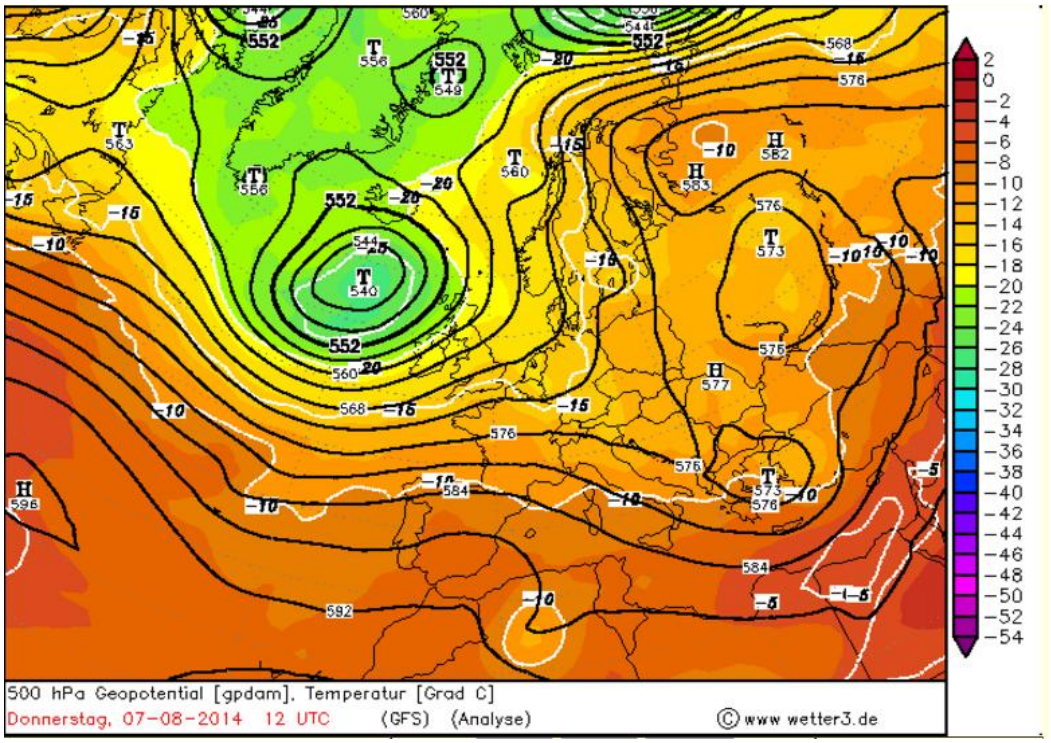
Şekil 9: 7 Ağustos 2014 12Z 700 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Sıcaklık



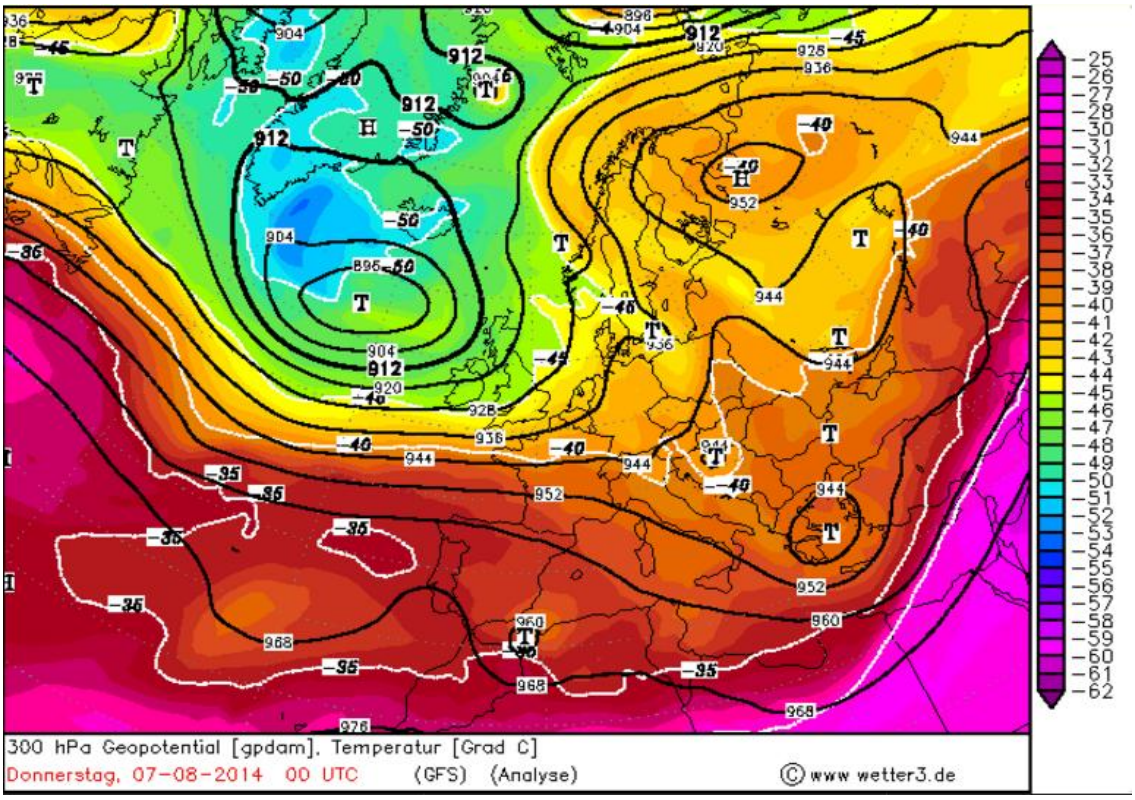
Şekil 10: 7 Ağustos 2014 00Z 500 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Sıcaklık



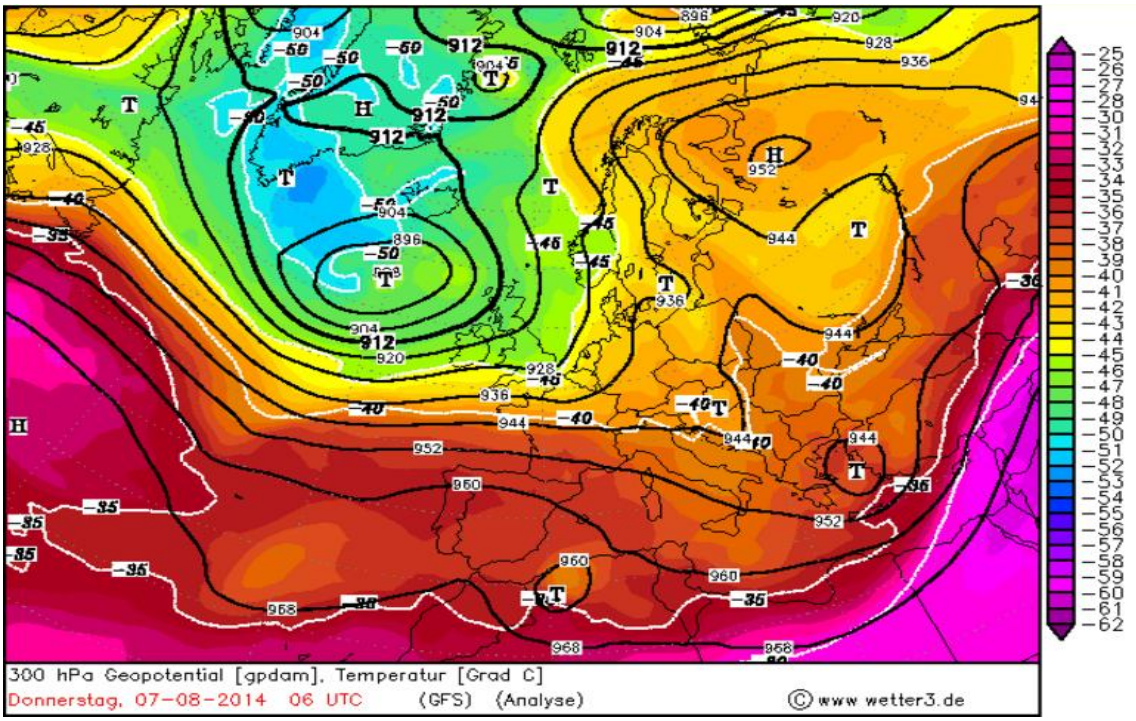
Şekil 11: 7 Ağustos 2014 06Z 500 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Sıcaklık



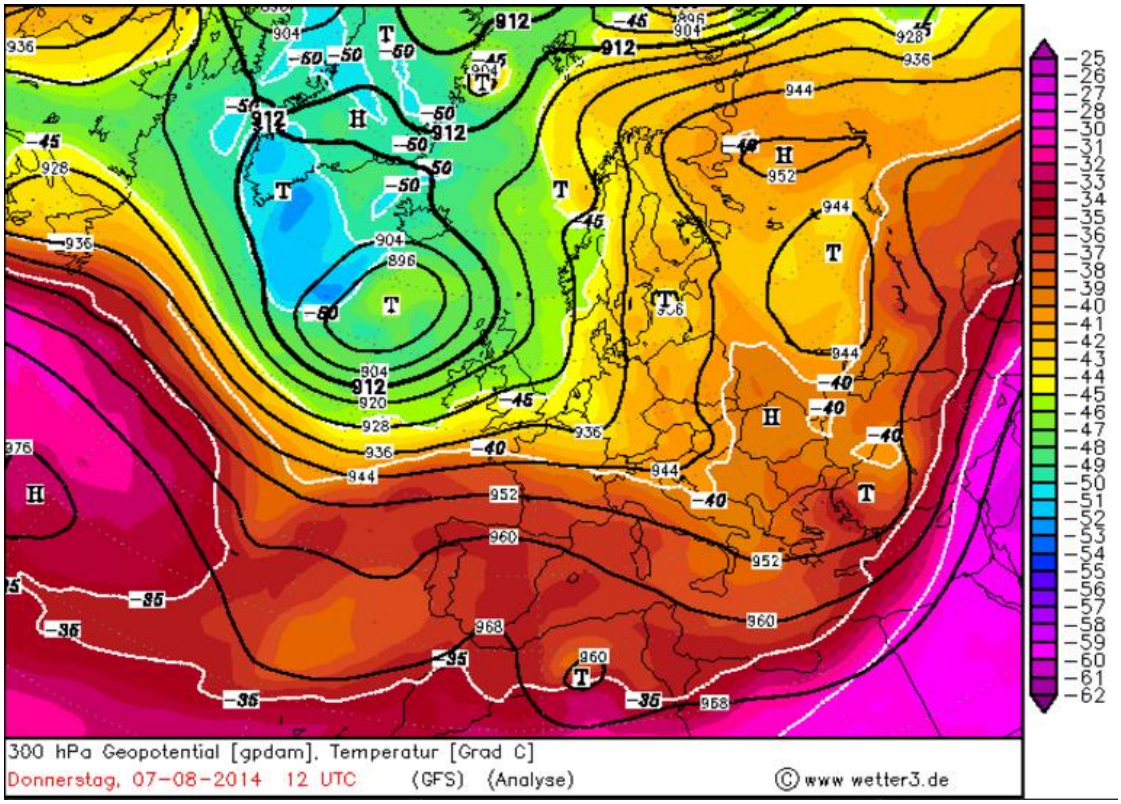
Şekil 12: 7 Ağustos 2014 12Z 500 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Sıcaklık



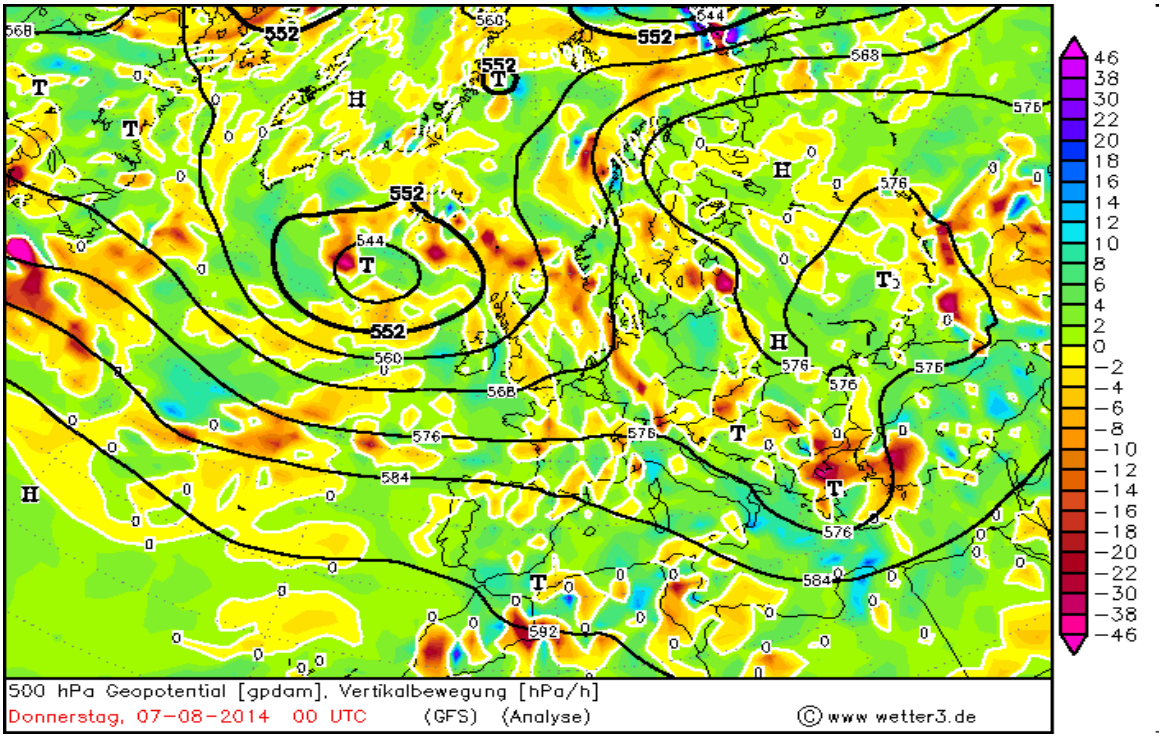
Şekil 13: 7 Ağustos 2014 00Z 300 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Sıcaklık



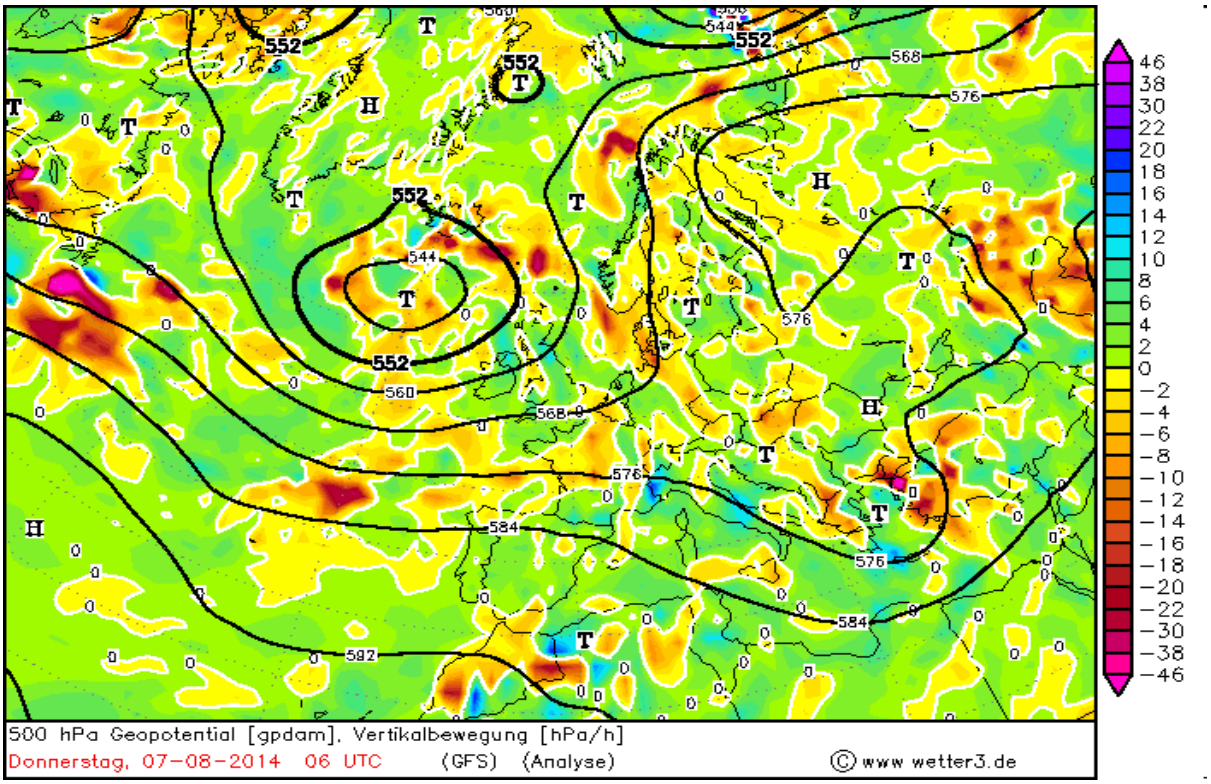
Şekil 14: 7 Ağustos 2014 06Z 300 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Sıcaklık



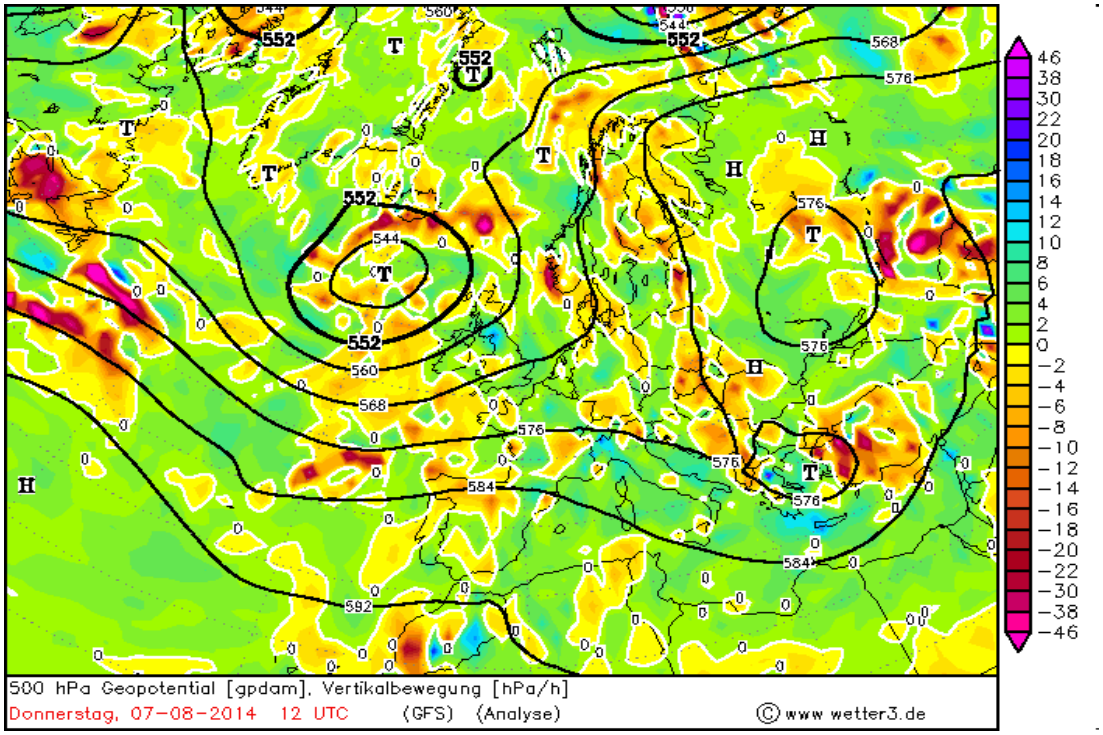
Şekil 15: 7 Ağustos 2014 12Z 300 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Sıcaklık



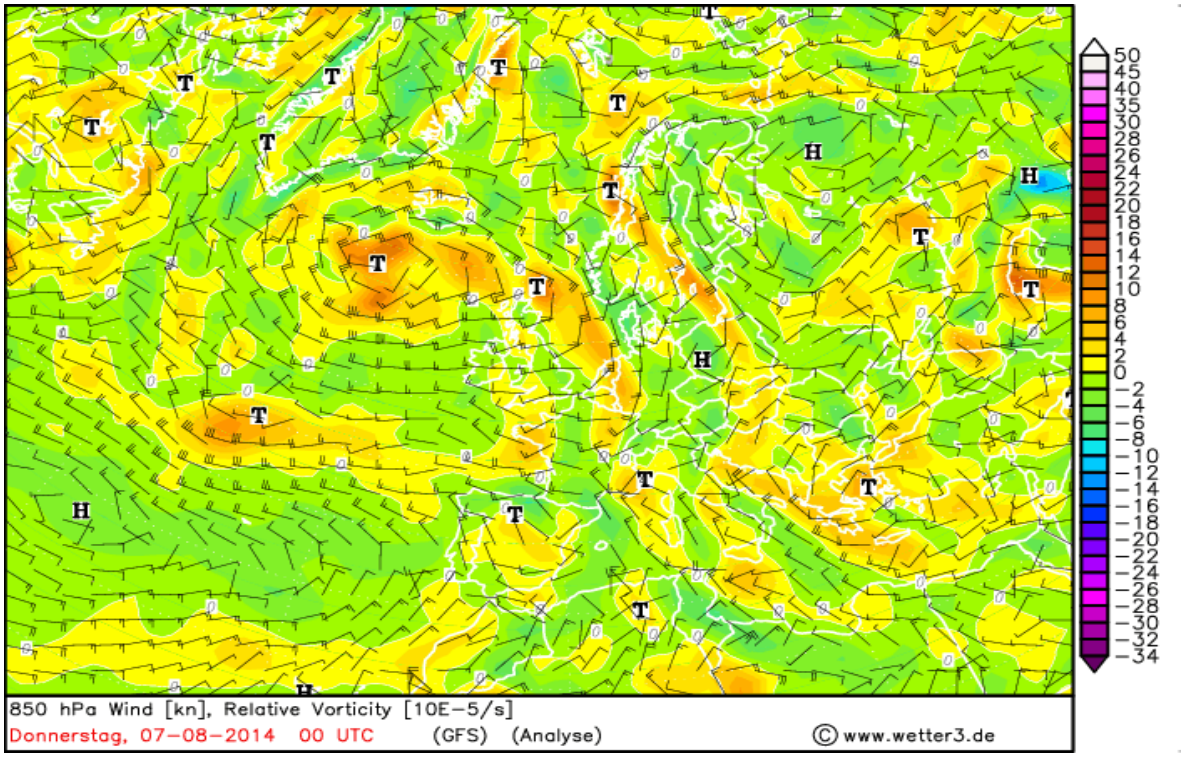
Şekil 16: 7 Ağustos 2014 00Z 500 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Düşey Hız



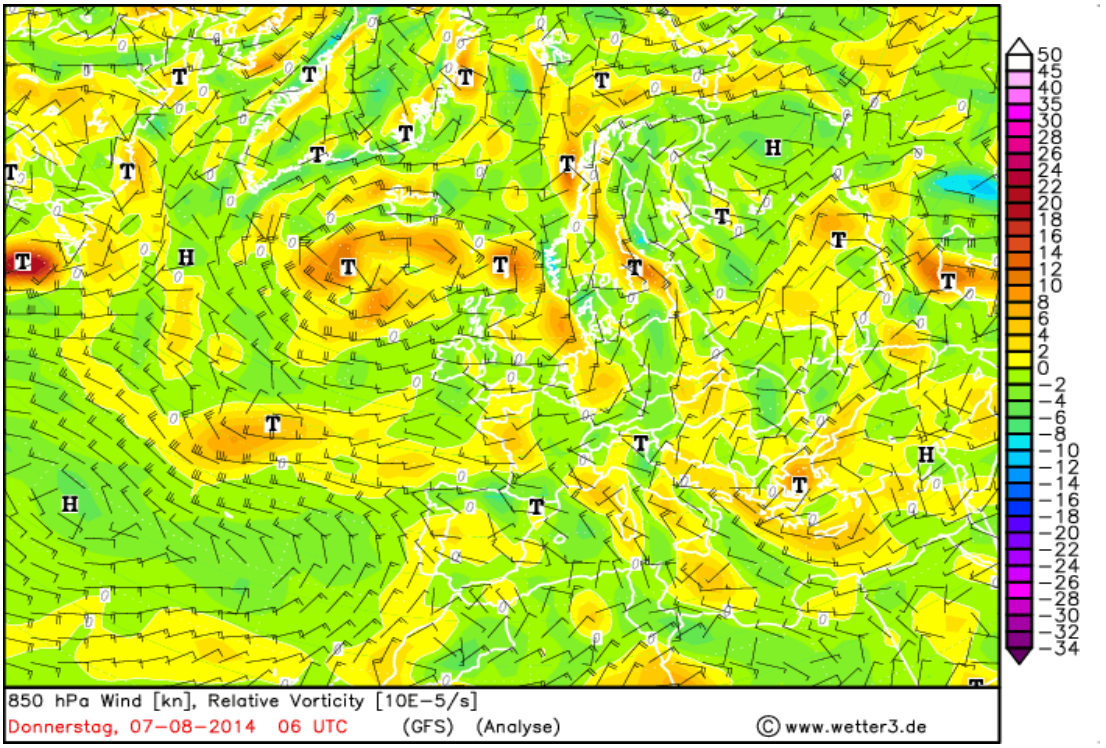
Şekil 17: 7 Ağustos 2014 06Z 500 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Düşey Hız



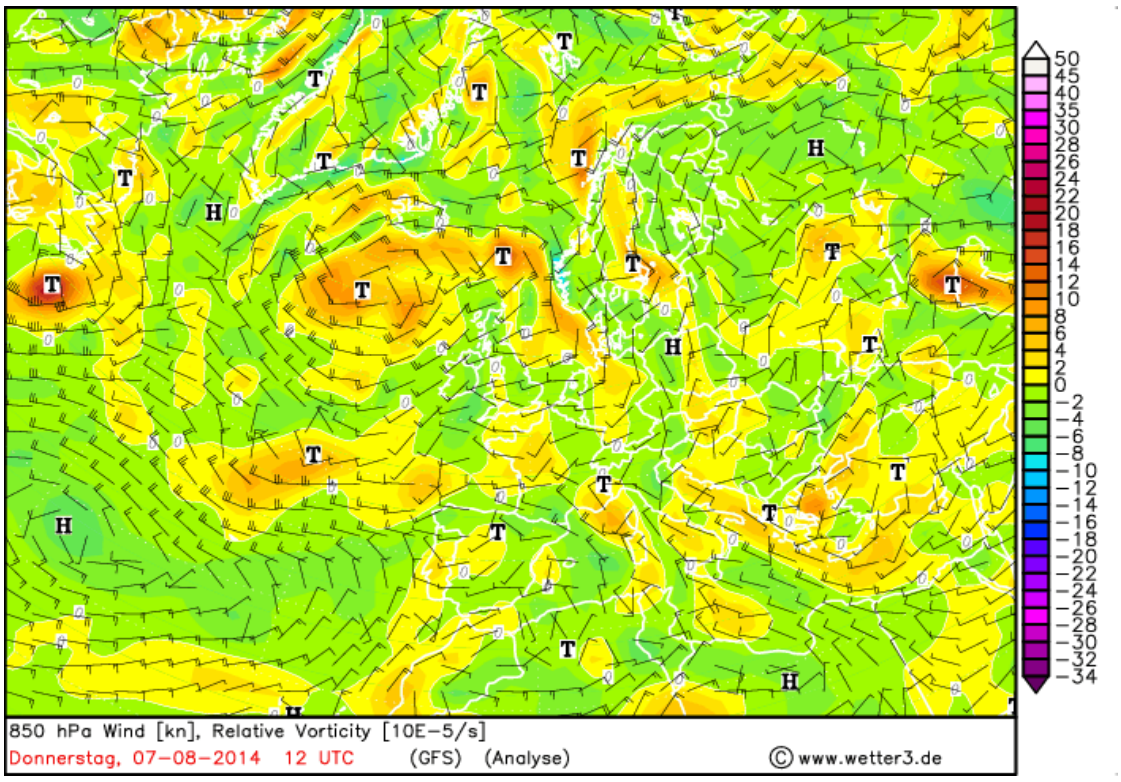
Şekil 18: 7 Ağustos 2014 12Z 500 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Düşey Hız



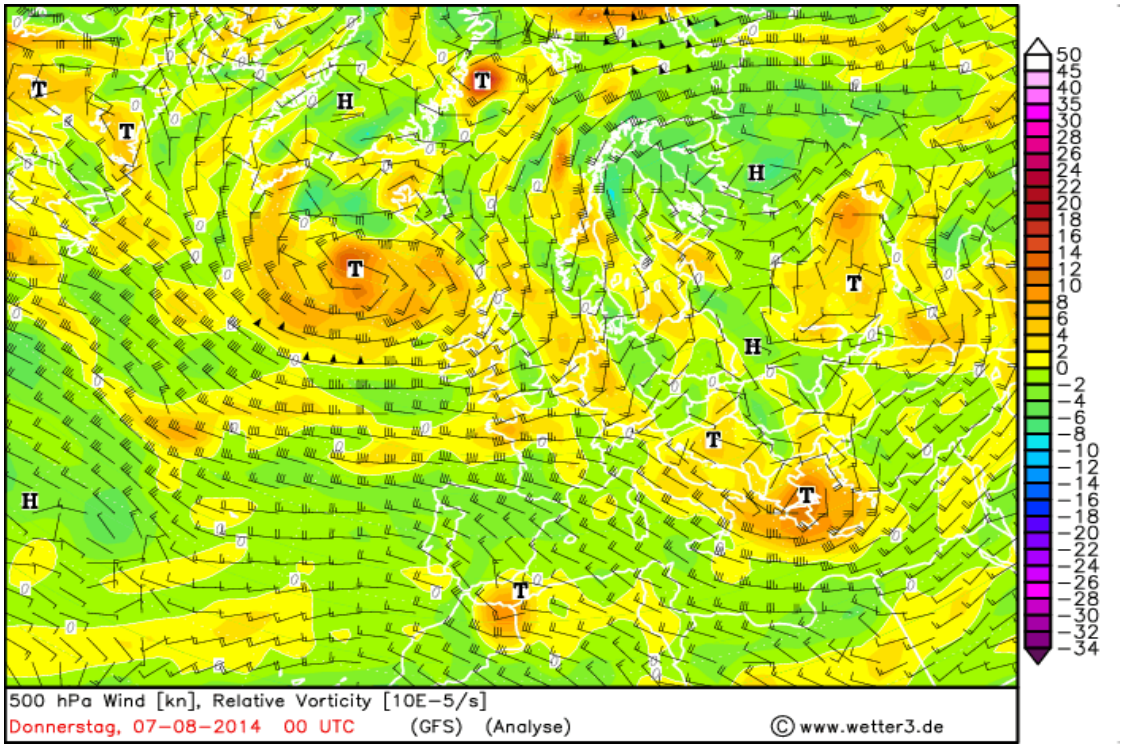
Şekil 19: 7 Ağustos 2014 00Z 850 hPa Rüzgar ve Bağıl Vortisiti



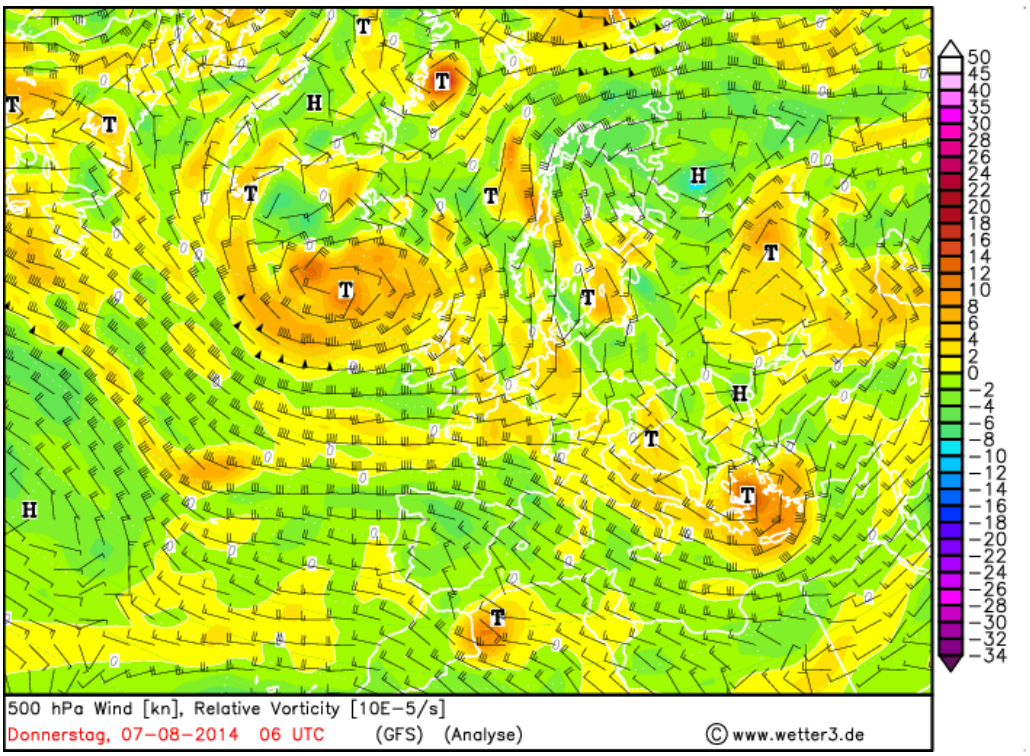
Şekil 20: 7 Ağustos 2014 06Z 850 hPa Rüzgar ve Bağıl Vortisiti



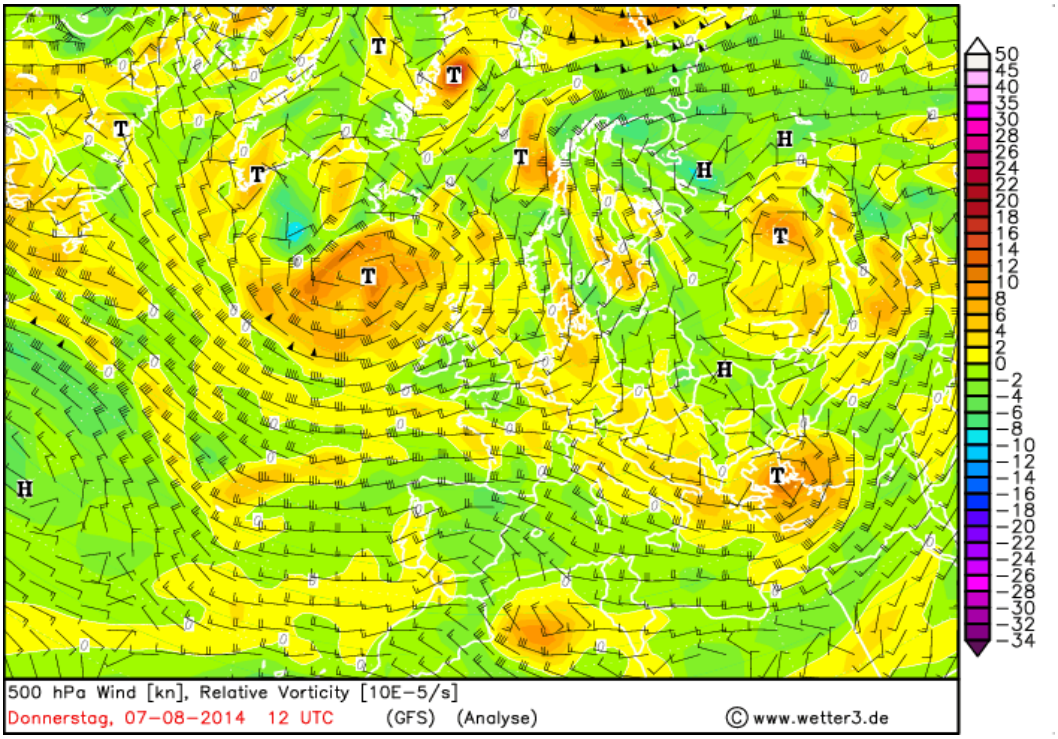
Şekil 21: 7 Ağustos 2014 12Z 850 hPa Rüzgar ve Bağıl Vortisiti



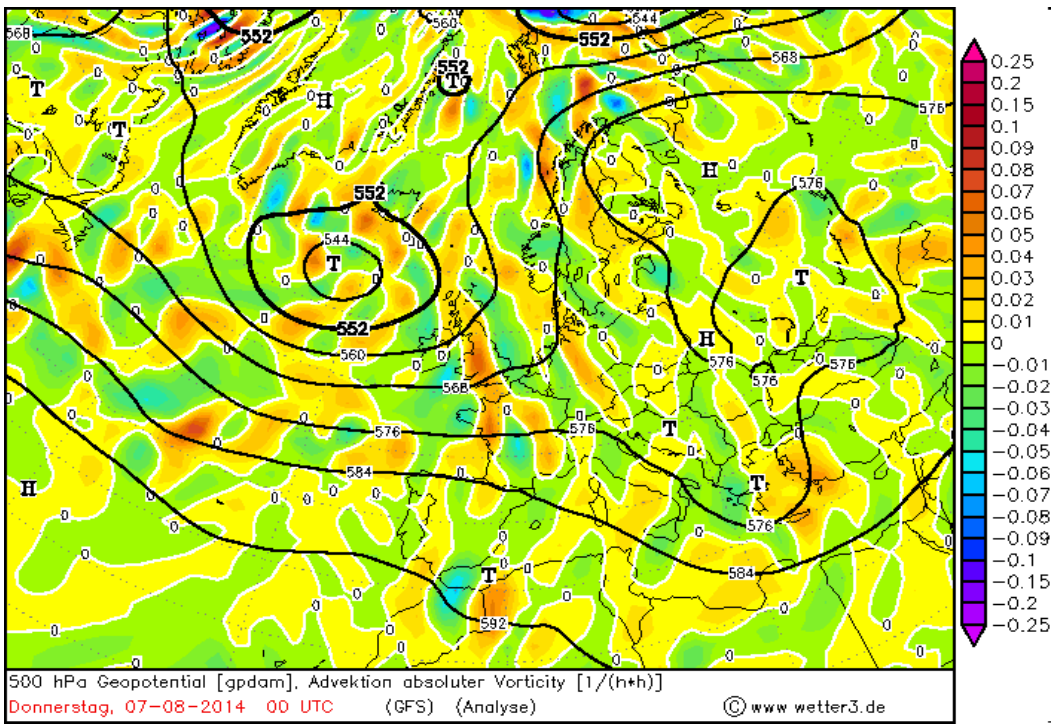
Şekil 22: 7 Ağustos 2014 00Z 500 hPa Rüzgar ve Bağıl Vortisiti



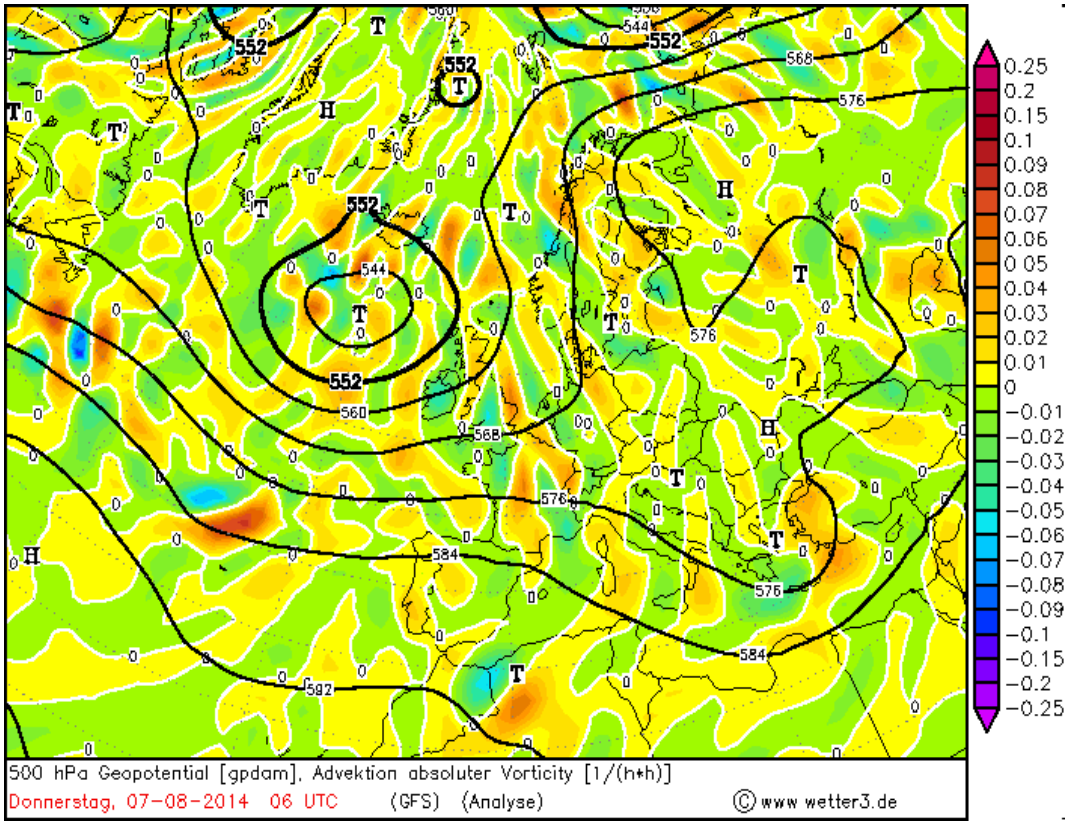
Şekil 23: 7 Ağustos 2014 06Z 500 hPa Rüzgar ve Bağıl Vortisiti



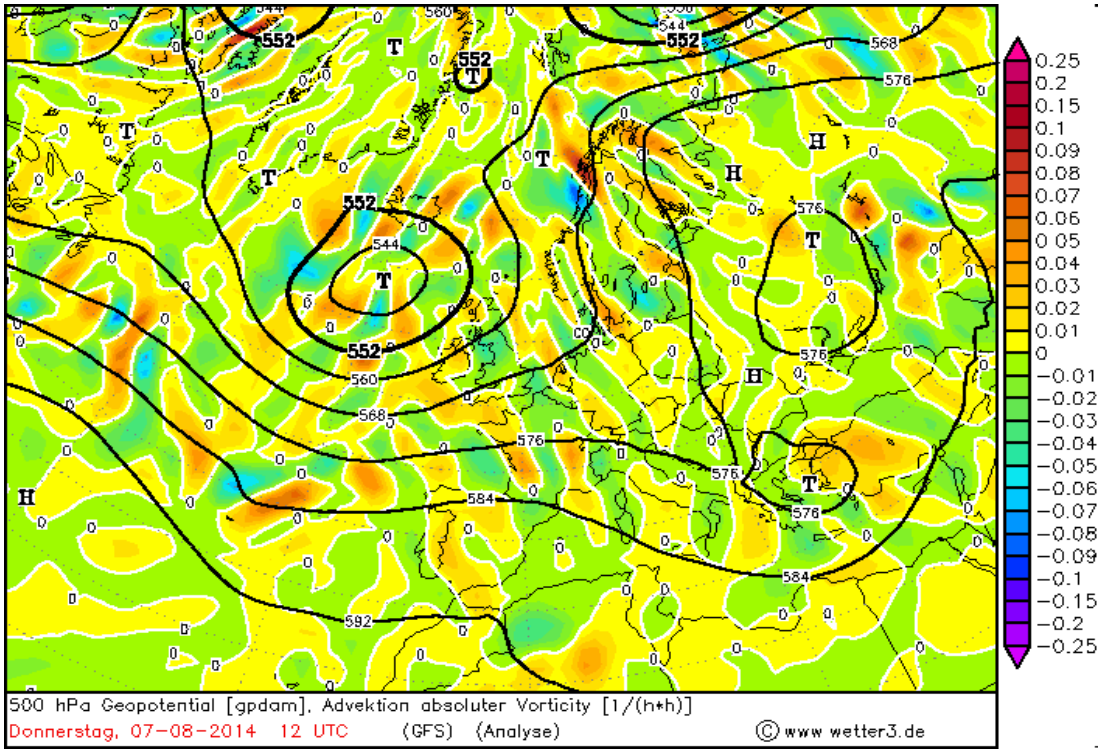
Şekil 24: 7 Ağustos 2014 12Z 500 hPa Rüzgar ve Bağıl Vortisiti



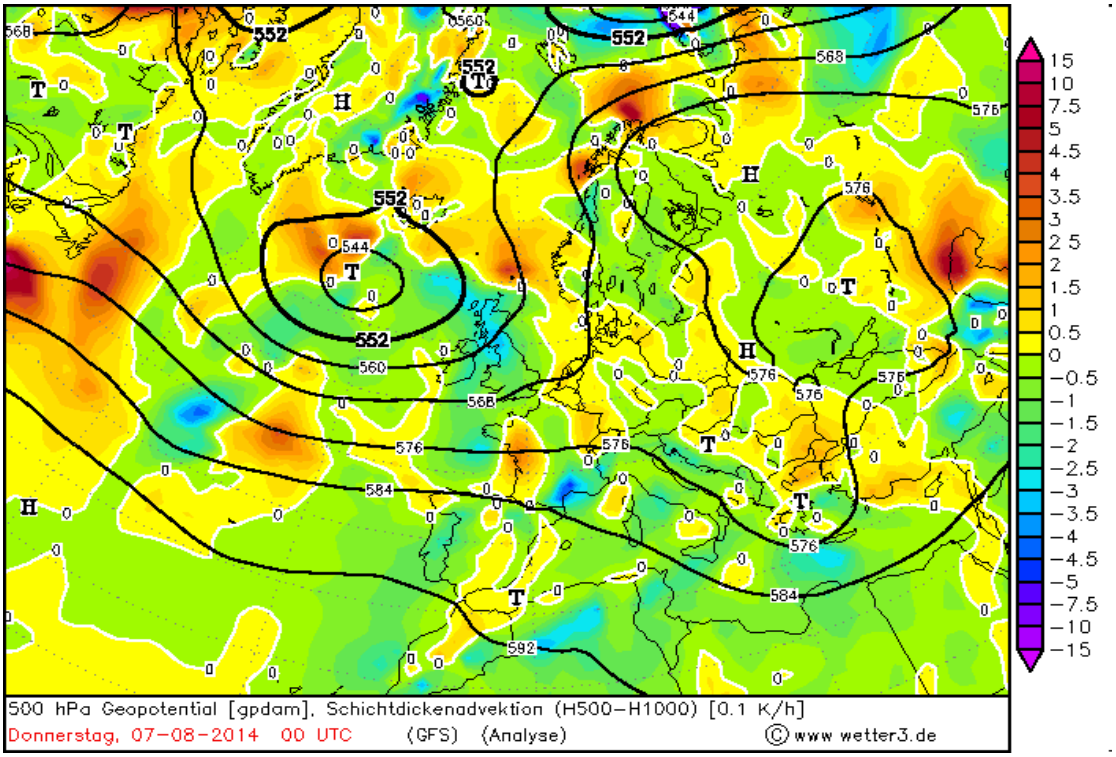
Şekil 25: 7 Ağustos 2014 00Z 500 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Mutlak Vortisiti Adveksiyonu



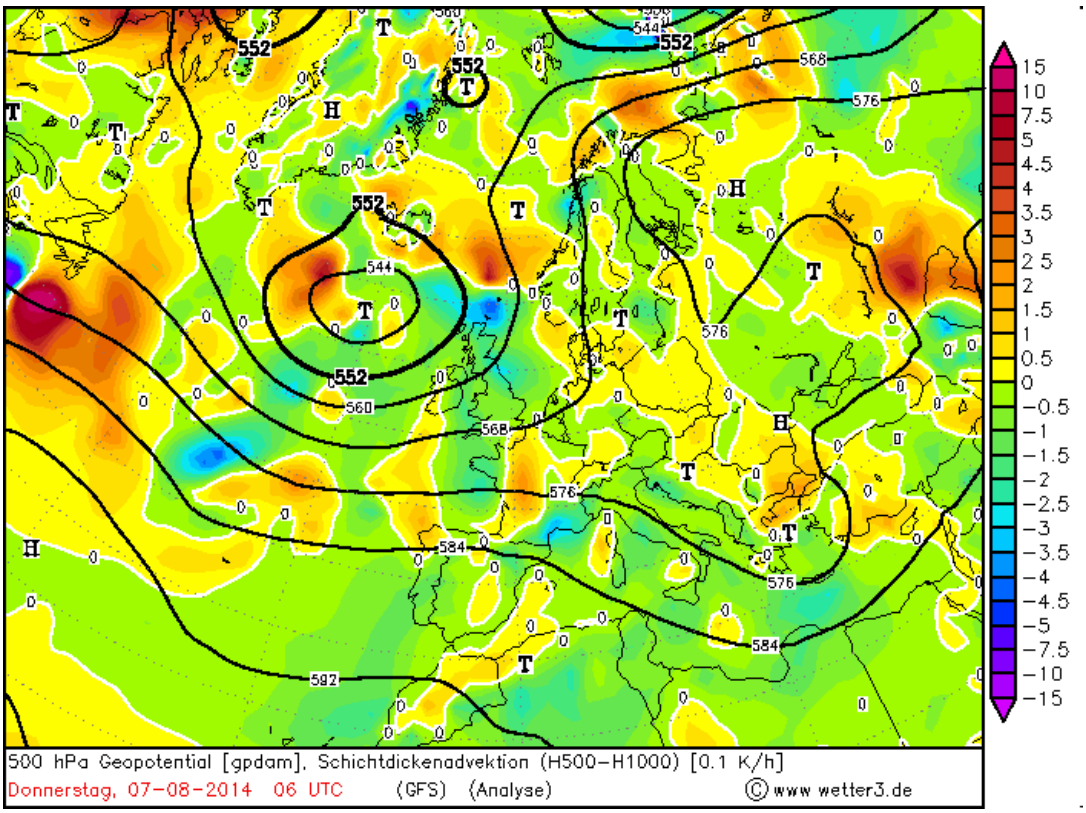
Şekil 26: 7 Ağustos 2014 06Z 500 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Mutlak Vortisiti Adveksiyonu



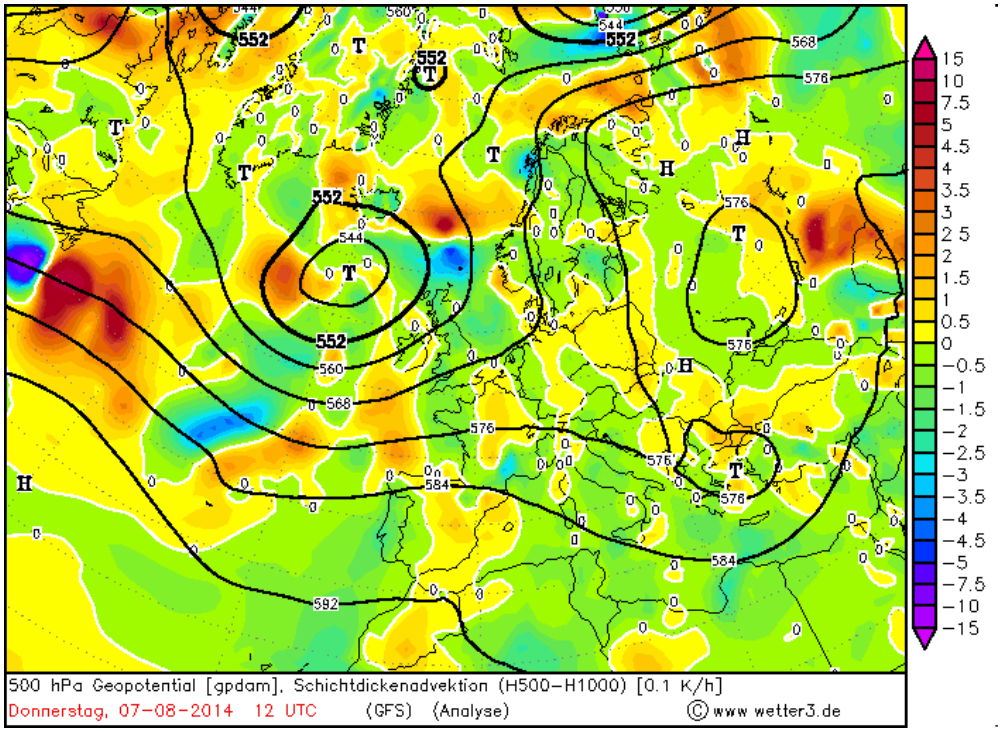
Şekil 27: 7 Ağustos 2014 12Z 500 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Mutlak Vortisiti Adveksiyonu



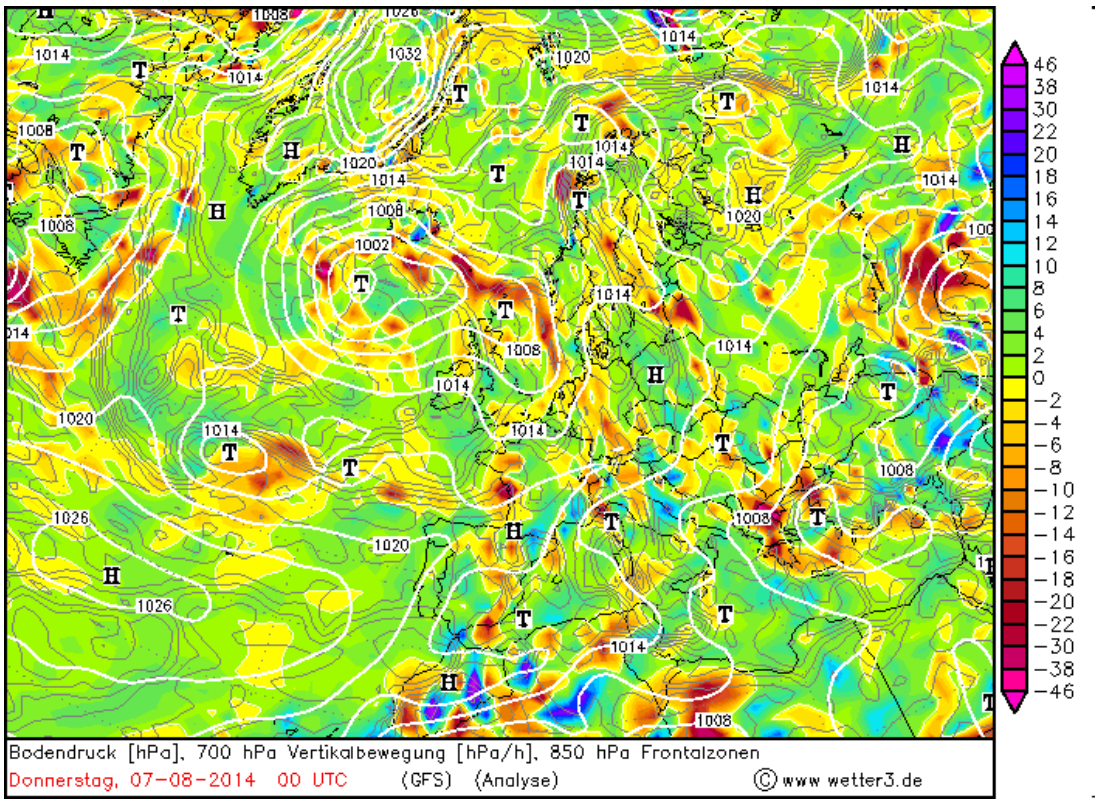
Şekil 28: 7 Ağustos 2014 00Z 500 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Kalınlık Adveksiyonu



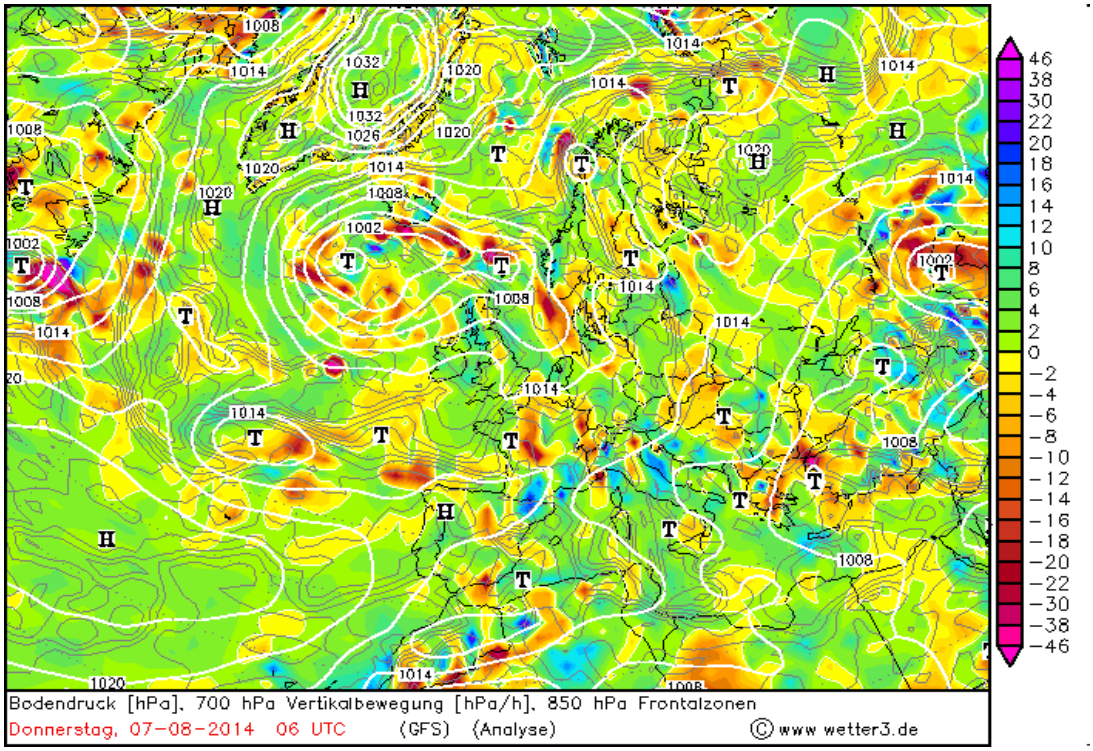
Şekil 29: 7 Ağustos 2014 06Z 500 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Kalınlık Adveksiyonu



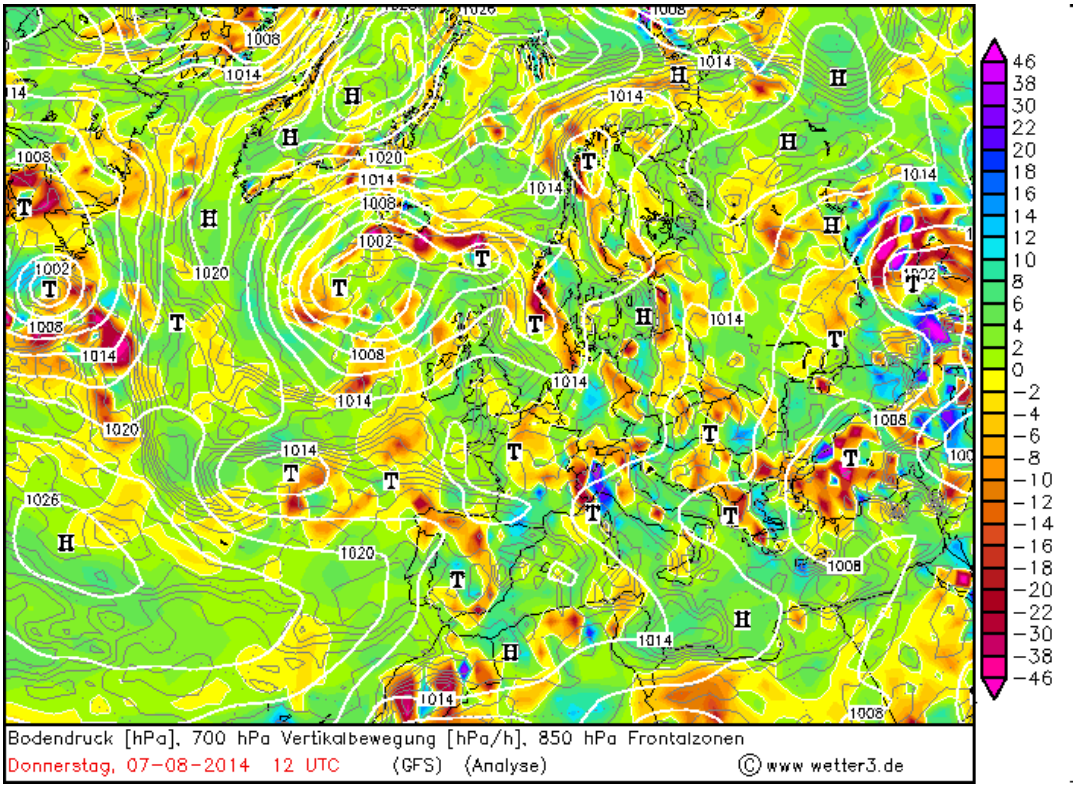
Şekil 30: 7 Ağustos 2014 12Z 500 hPa Jeopotansiyel Yükseklik ve Kalınlık Adveksiyonu



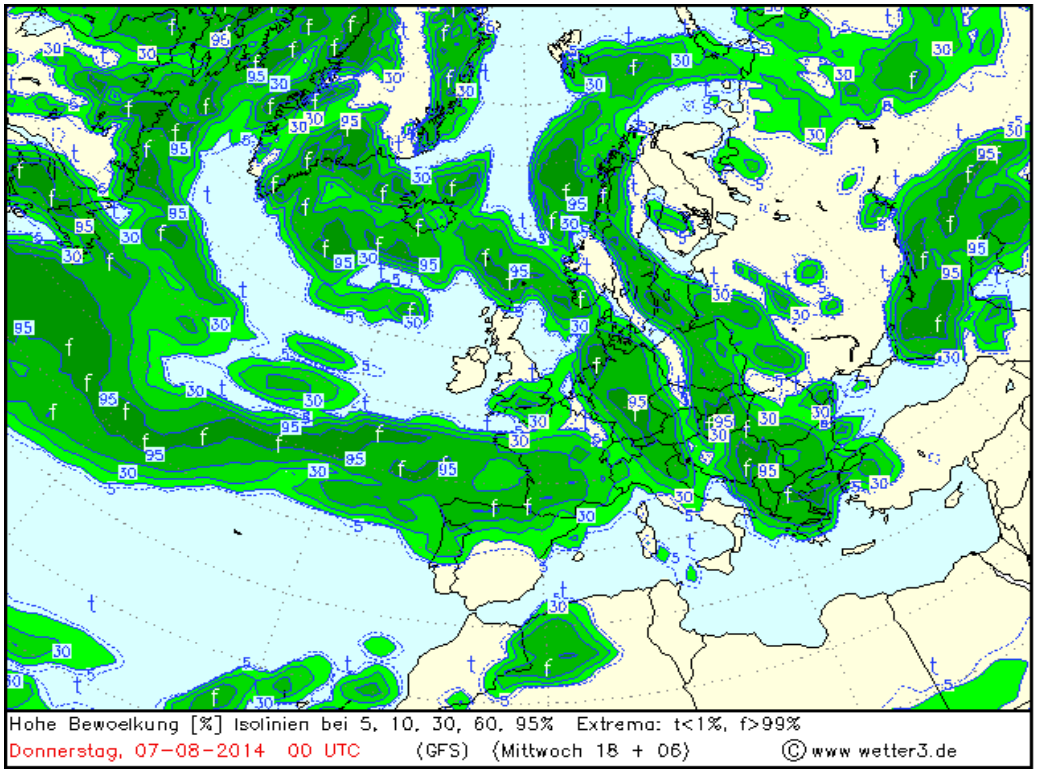
Şekil 31: 7 Ağustos 2014 00Z 700 hPa Düşey Hız ve 850 hPa Cephe Zonları



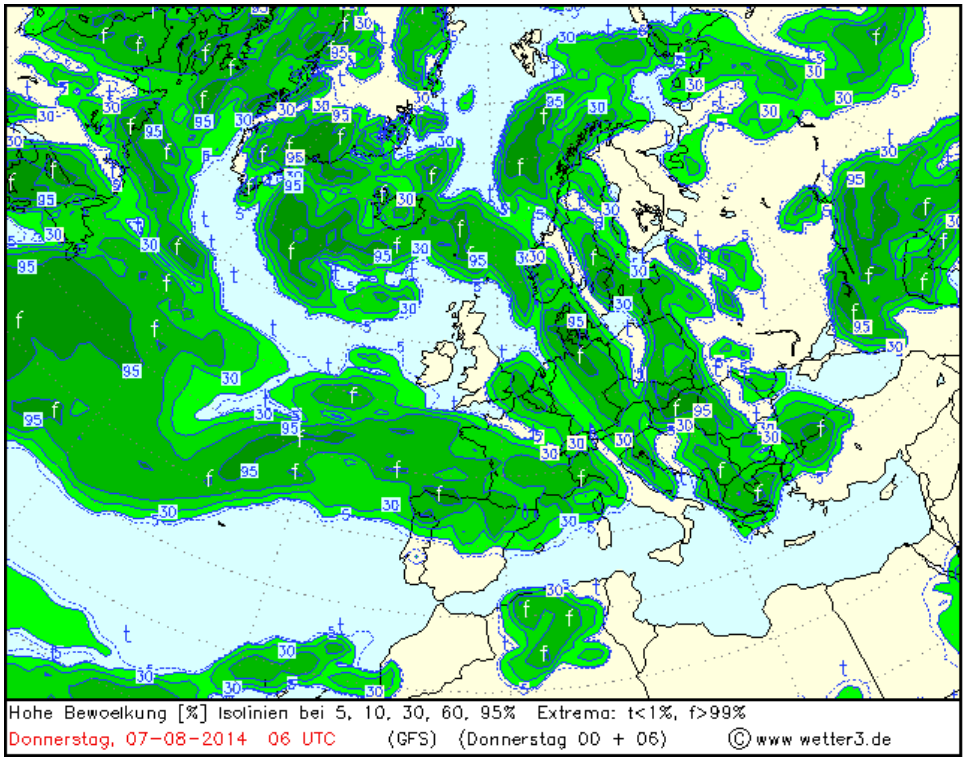
Şekil 32: 7 Ağustos 2014 06Z 700 hPa Düşey Hız ve 850 hPa Cephe Zonları



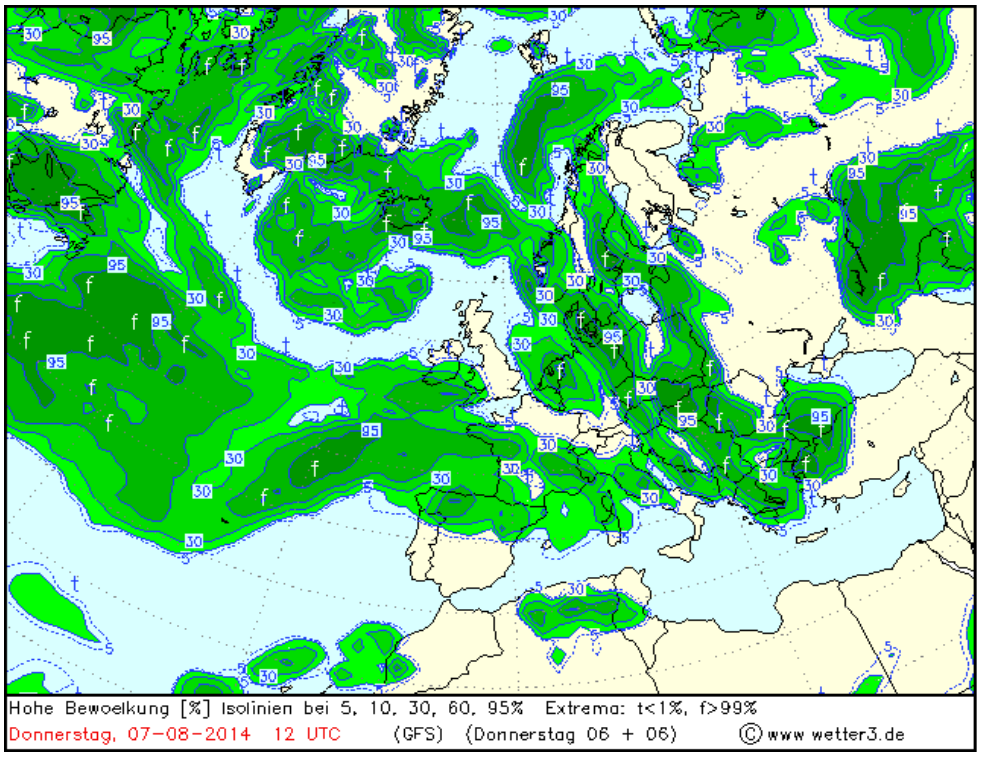
Şekil 33: 7 Ağustos 2014 12Z 700 hPa Düşey Hız ve 850 hPa Cephe Zonları



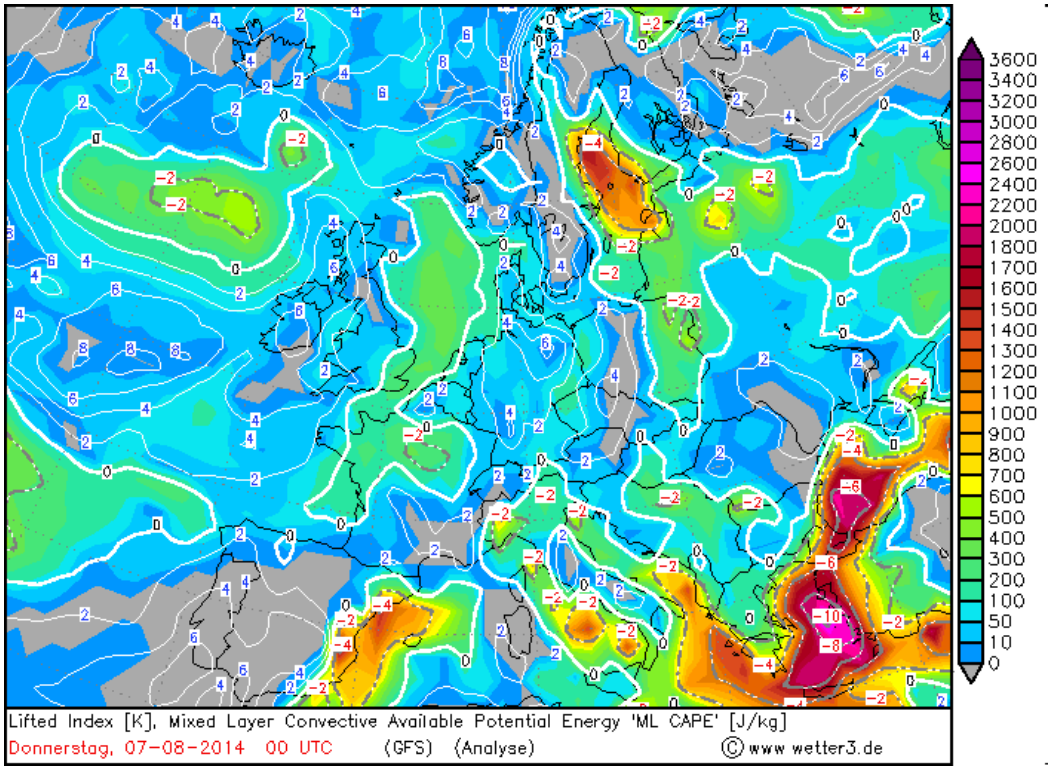
Şekil 34: 7 Ağustos 2014 00Z Yüksek Seviye Bulut Haritaları



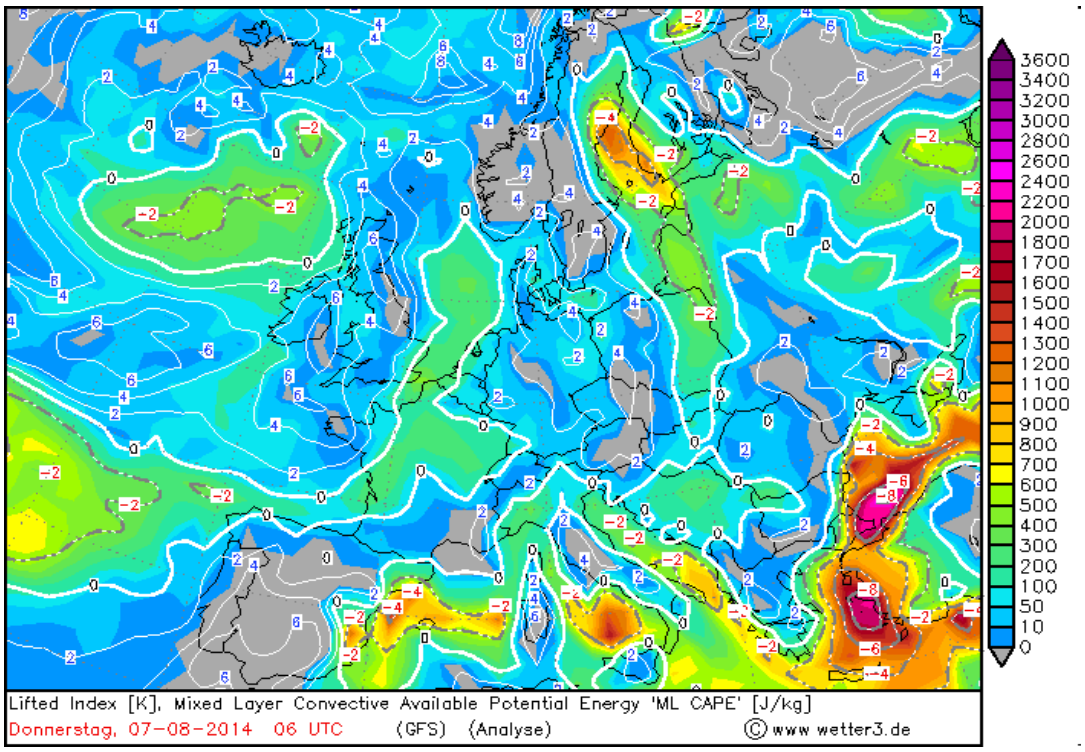
Şekil 35: 7 Ağustos 2014 06Z Yüksek Seviye Bulut Haritaları



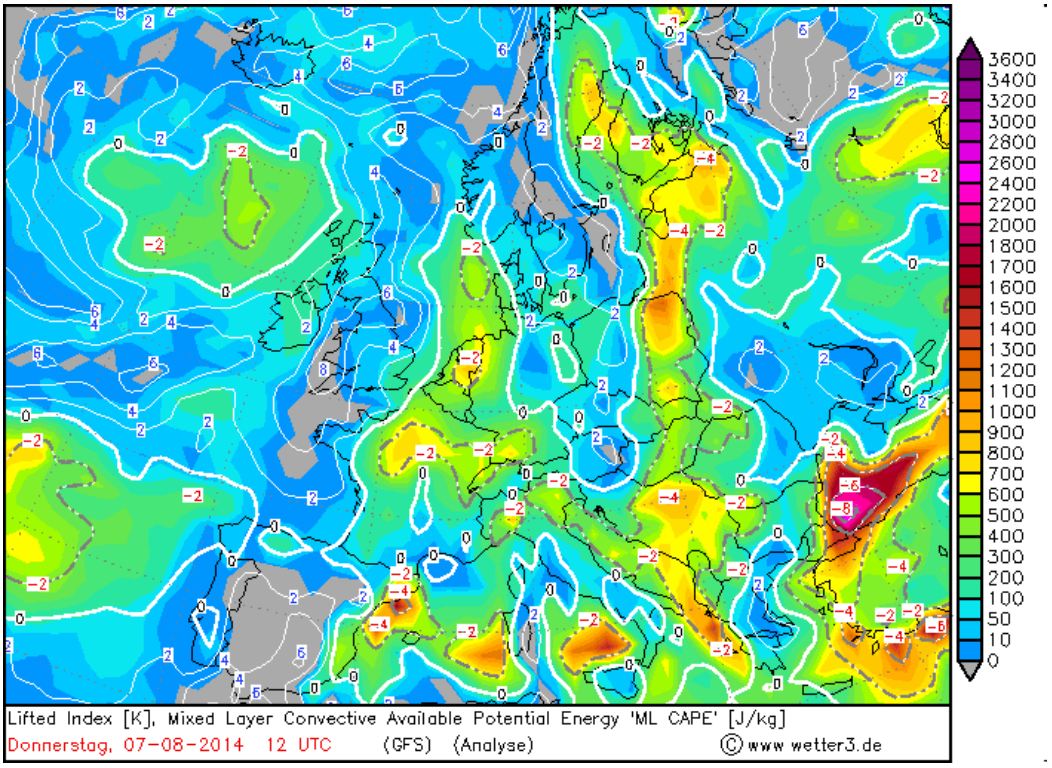
Şekil 36: 7 Ağustos 2014 12Z Yüksek Seviye Bulut Haritaları



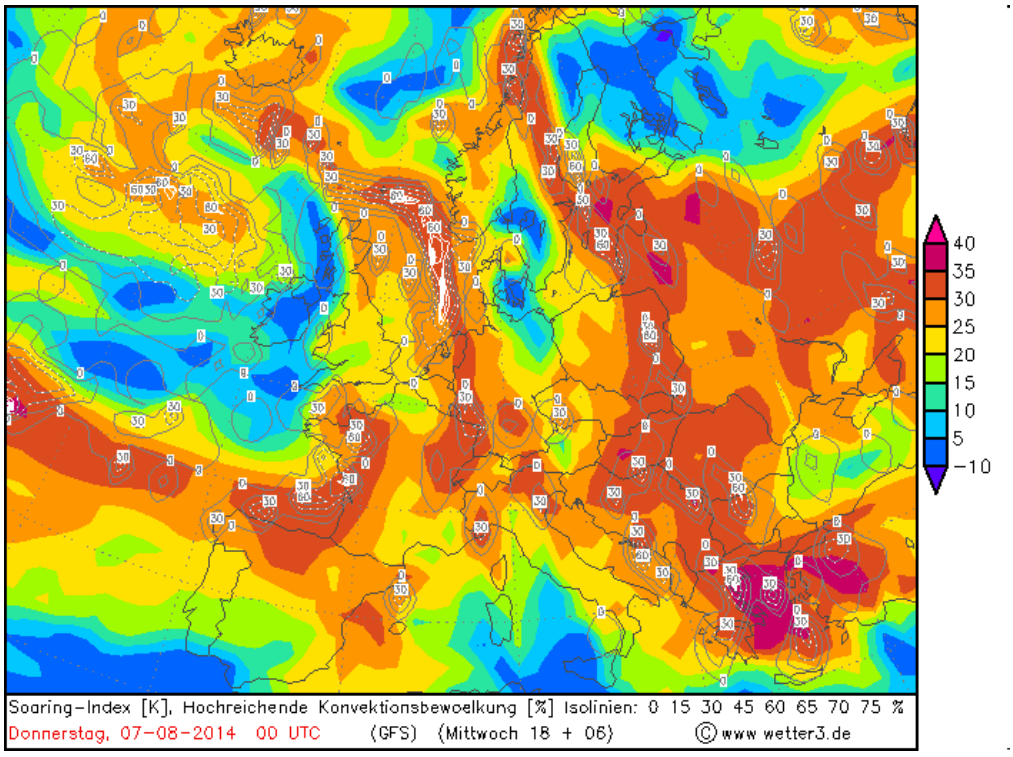
Şekil 37: 7 Ağustos 2014 00Z Lifted İndeks ve Karış Tabaka CAPE Haritaları



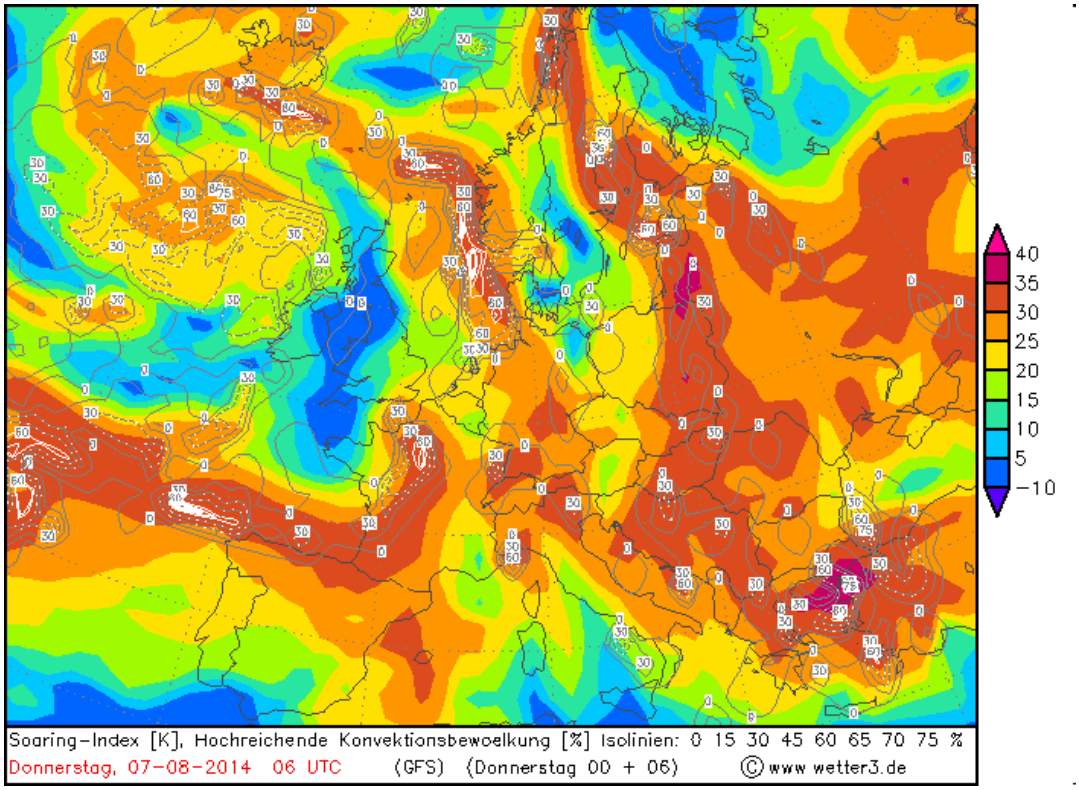
Şekil 38: 7 Ağustos 2014 06Z Lifted İndeks ve Karış Tabaka CAPE Haritaları



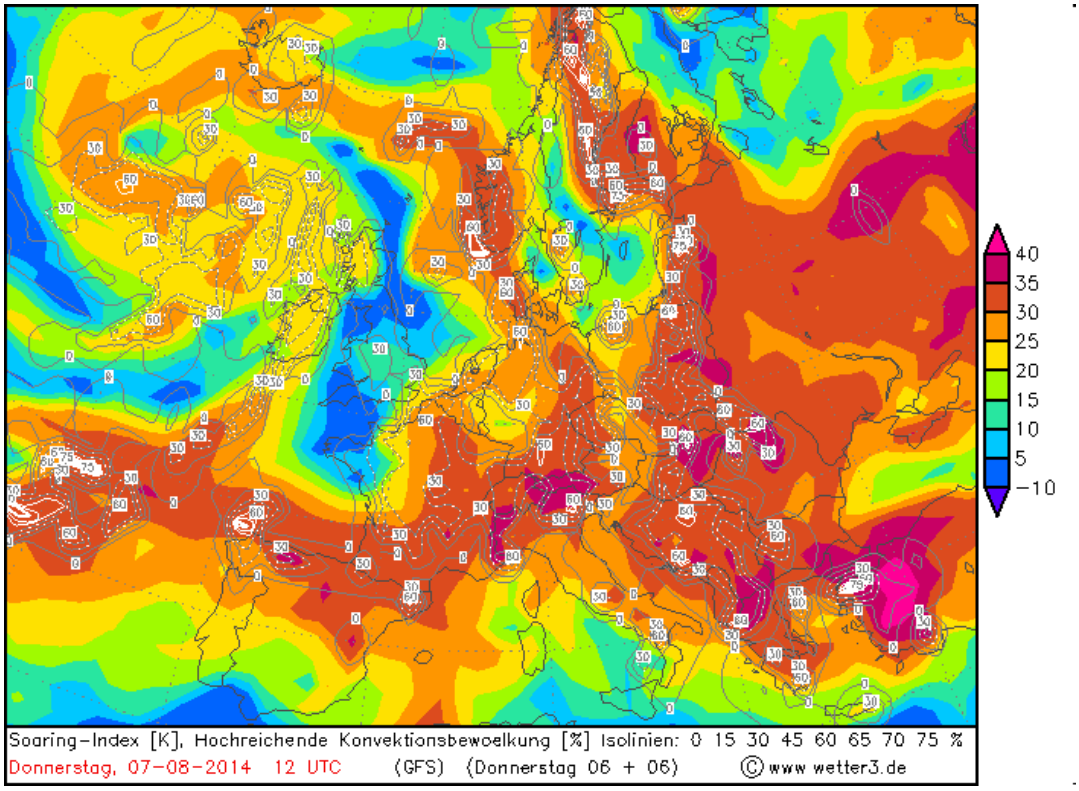
Şekil 39: 7 Ağustos 2014 12Z Lifted İndeks ve Karış Tabaka CAPE Haritaları



Şekil 40: 7 Ağustos 2014 00Z K İndeksi ve Yüksek Konvektif Bulutluluk

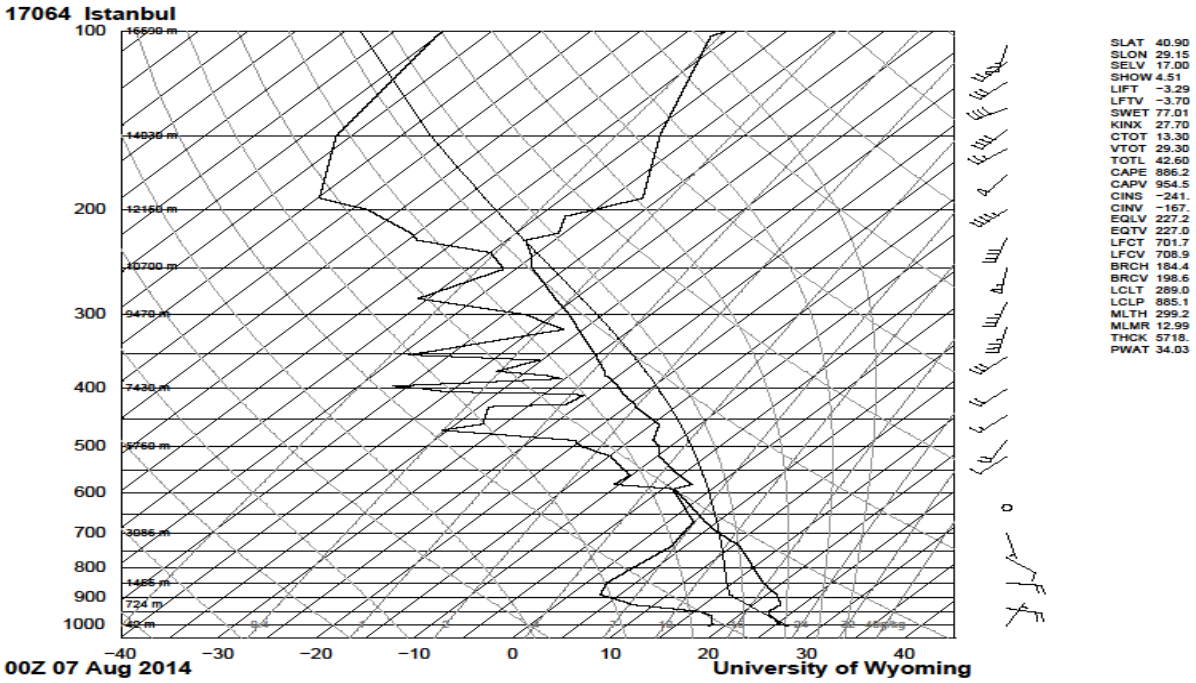


Şekil 41: 7 Ağustos 2014 06Z K İndeksi ve Yüksek Konvektif Bulutluluk

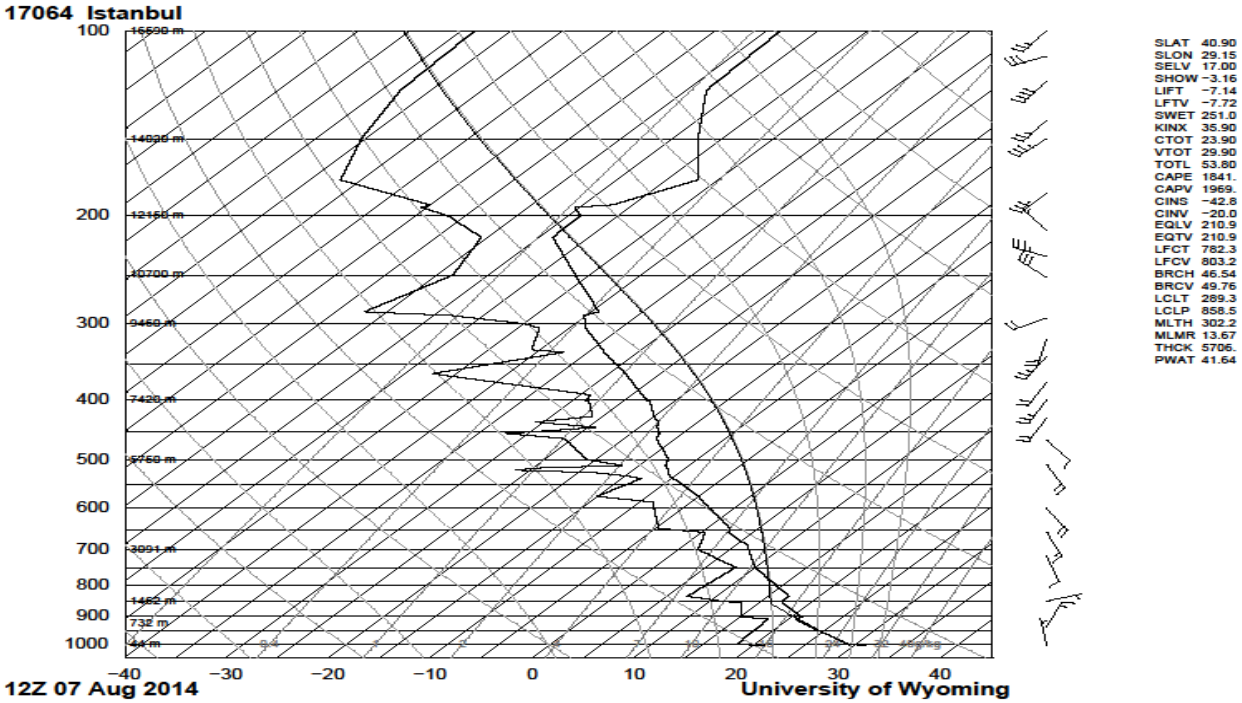


Şekil 42: 7 Ağustos 2014 12Z K İndeksi ve Yüksek Konvektif Bulutluluk

2.1.3 Temp Diyagramları



Şekil 43: 7 Ağustos 2014 00Z İstanbul Temp



Şekil 44: 7 Ağustos 2014 12Z İstanbul Temp

2.1.4 Rasatlar

Sinoptik Defter : 17060 Ağustos 2014

Tarih: 07.08.2014

GMT	iR	iX	h	VV	N	dd	ff	910	911	T	Td	Rh	3Po	4P	a	ppp	RRR	ww	WW	960	Bulut	Bg1	Bg2	Bg3	Bg4	924	931
00	1	2	6	60	6	050	9		17	25,8	21,4	77	1002,2	1005,9	3	0,1					83250	83835		85360			
03	4	2	6	60	6	030	7		17	25,6	21,3	77	1001,5	1005,2	5	0,7					83250	83835		85360			
06	1	1	5	60	6	080	9		17	27,5	20	64	1002,4	1006,1	2	0,9	0	02	82		85950	82920	83830	86359			
09	4	2	5	60	6	050	10		17	29,7	18,1	50	1002,6	1006,3	0	0,2					84240	82825	84835	85362			
12	1	1	5	60	7	020	12		20	27,9	20,6	65	1002,3	1006	7	0,3	0,2	80	22		85250	82825	84835	86359			
15	4	1	5	56	7	340	5		34	21,4	17,8	80	1006,4	1010,2	2	4,1		95	82		87900	84920	86833				
18	1	1	4	60	7	050	7		34	21,6	18,5	83	1005,4	1009,2	5	1	34	03	98		85250	82712	84835	87360			
21	4	2	4	60	7	010	2		12	22,1	18,5	80	1005,9	1009,7	2	0,5					85250	82717	84835	87360			

Tablo 1: 7 Ağustos 2014 Atatürk Havalimanı Sinoptik Rasatlar

Sinoptik Defter : 17063 Ağustos 2014

Tarih: 07.08.2014

GMT	iR	iX	h	VV	N	dd	ff	910	911	T	Td	Rh	3Po	4P	a	ppp	RRR	ww	WW	960	Bulut	Bg1	Bg2	Bg3	Bg4	924	931
00	1	1	5	60	6	030	5		19	23,8	19,2	76	994,8	1006	3	0,5		17	22		83350	81920	83835	85361			
03	4	1	5	60	6	040	11		15	23,5	21,1	87	993,7	1004,9	7	1,1		29	92		85250	85830		86360			
06	1	1	5	60	6	030	8		15	25,1	20,4	75	994,7	1006	2	1		02	92		85250	85830		86360			
09	4	1	5	60	6	020	9		15	30	19,9	55	994,9	1006,1	2	0,2		02	82		84230	84827		85359			
12	1	1	5	60	5	010	14		21	30	19,3	53	994,5	1005,7	7	0,4	0,1	02	82		85200	85825					
15	4	1	5	60	7	350	3		27	20	15,9	77	998	1009,5	2	3,5		17	92		87900	82920	85830				
18	1	1	6	60	6	040	7		33	19,5	17,3	87	997,8	1009,2	5	0,2	28,6	02	98		84230	84840		86360			
21	4	2	6	60	4	040	3		7	19,9	16,6	81	998	1009,3	0	0,2					81130	81840		83360			

Tablo 2: 7 Ağustos 2014 Sabiha Gökçen Havalimanı Sinoptik Rasatlar

Sinoptik Defter : 17064 Ağustos 2014

Tarih: 07.08.2014

GMT	iR	iX	h	VV	N	dd	ff	910	911	T	Td	Rh	3Po	4P	a	ppp	RRR	ww	WW	960	Bulut	Bg1	Bg2	Bg3	Bg4	924	931
00	1	2	6	60	4	050	2		17	25,6	20,1	72	1003,7	1005,7	3	0,5					84200	84835					
01	4	2	6	60	4	060	3			25,1	21,8	82	1002,6	1004,6	8	0,3					84200						
02	4	2	6	60	6	090	2			24,8	22,4	87	1003	1005	5	0,1					84250						
03	4	2	6	60	6	130	3		9	24,9	22,5	87	1002,8	1004,8	7	0,9					84250	84835		86360			
04	4	2	6	60	6	050	2			25,5	22,3	83	1003,5	1005,5	2	0,9					84250						
05	4	2	6	60	6	030	2			26,4	21,9	77	1003,1	1005,1	0	0,1					84250						
06	1	2	6	60	5	080	2		9	26,9	22,4	77	1003,7	1005,7	2	0,9					85200	85833					
07	4	2	6	60	5	050	4			29,2	21,8	65	1003,7	1005,7	1	0,2					85200						
08	4	2	5	60	5	050	3			30,5	21,4	59	1003,9	1005,9	2	0,8					85200						
09	4	2	5	60	5	060	4	14	14	30,2	20,7	57	1004	1006	3	0,3					85200	85830					
10	4	2	6	60	4	030	5			31,2	21,7	57	1003,6	1005,6	8	0,1					84200						
11	4	2	6	60	5	360	5			31,5	21,4	55	1003,6	1005,6	6	0,3					85200						
12	1	2	5	60	5	360	4		15	31,6	21	54	1003,6	1005,6	6	0,4					85200	85832					
13	4	1	5	50	7	220	8			22,5	19,2	82	1006,6	1008,6	2	3		95	22		87900						
14	4	1	5	60	7	300	3			22	17,7	77	1005,2	1007,2	0	1,6		29	99		87900						
15	4	1	5	60	6	220	2		19	21,4	18,5	84	1007,8	1009,8	2	4,2		80	92		86200	86830					
16	4	1	5	60	6	290	2			21,8	18,9	84	1006,2	1008,2	8	0,4		80	88		86200						
17	4	1	5	70	6	070	2			21,8	18,8	83	1005,1	1007,1	8	0,1		25	82		86200						
18	1	1	5	60	6	080	3		19	21,4	18,3	83	1006,9	1008,9	5	0,9	27,8	02	98		86200	86830					
19	4	2	6	60	3	090	1			21,1	18,5	85	1007	1009	3	0,8					83200						
20	4	2	6	60	2	030	1			21	18,2	84	1007,3	1009,3	2	2,2					82100						
21	4	2	6	60	2	060	1		4	20,8	17,8	83	1007,1	1009,1	0	0,2					82100	82835					
22	4	2	6	60	2	310	2			21,5	18,3	82	1006,8	1008,8	8	0,2					82100						
23	4	2	6	60	2	060	1			20,8	18,2	85	1006,9	1008,9	5	0,4					82100						

Tablo 3: 7 Ağustos 2014 Kartal İstasyon Sinoptik Rasatlar

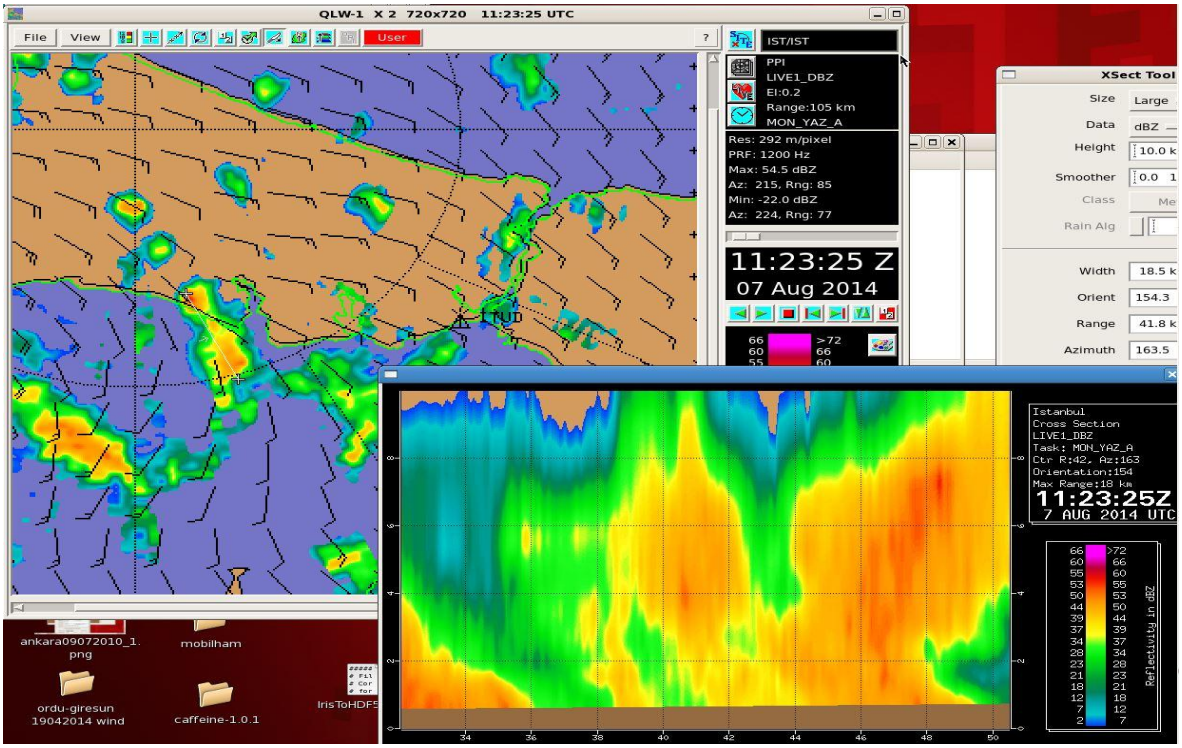
M	1120	030	11		340V060	10000						7	2	Tcu	2500	4	Cu	3500	6	Ac	10000			29,2	22,5	19,7	56	1001	1007	29,74
S	1133	030	12		350V060	10000			-SHRA			7	2	Tcu	2500	4	Cu	3500	6	Ac	9000			28,9	22,5	19,4	56	1000,9	1006,8	29,73
M	1150	020	12			10000			-SHRA			7	2	Tcu	2500	4	Cu	3500	6	Ac	9000			27,9	22,8	21,1	66	1000,4	1006,3	29,72
M	1220	060	7		030V090	10000			-SHRA			7	2	Cb	2200	5	Cu	3000	6	Ac	12000			27,9	22,8	20,9	65	1000,8	1006,7	29,73
S	1237	060	7		030V090	6000			TS			7	2	Cb	2500	4	Cu	3000	6	Ac	8000			27,9	22,8	20,9	65	1000,8	1006,7	29,73
M	1250	240	20			5000			TSRA			7	3	Cb	2000	4	Cu	2500	7	Ac	8000			22,5	20,4	18,5	78	1002,3	1008,2	29,77
S	1259	140	16	29	080V160	2200			+TSRA			7	3	Cb	1700	5	Cu	2500	7	Ac	7000			20,1	18,7	17,4	84	1003,3	1009,2	29,8
S	1304	150	18	29	080V190	1000			+TSRA			7	5	Cb	1600	7	Cu	2500						19,1	18,4	17,3	89	1003,9	1009,9	29,82
M	1320	040	14			2500			TSRA			7	4	Cb	1700	6	Cu	2800						17,9	17,4	17,1	95	1002,5	1008,5	29,78
M	1350	290	9		260V320	6000			-TSRA			7	4	Cb	2000	6	Cu	3500						19,8	18	17,4	86	1002,5	1008,4	29,78
M	1420	310	15			6000			-TSRA			7	4	Cb	2000	6	Cu	3500						21,1	19	18	82	1003,1	1009	29,8
M	1450	340	5		290V030	6000			-TSRA			7	4	Cb	2000	6	Cu	3300						21,4	19	17,9	80	1004,5	1010,4	29,84
M	1520	020	4		340V060	6000			-TSRA			7	4	Cb	2000	6	Cu	3000						21,4	19	17,7	79	1003,8	1009,7	29,82
M	1550	040	6			7000			-TSRA			7	3	Cb	2500	6	Cu	3500						21,4	18,5	17,1	76	1003,3	1009,2	29,8
M	1620	360	8			7000			-TSRA			7	3	Cb	2500	6	Cu	3500						21,5	19,2	18,2	81	1002,6	1008,5	29,78
M	1650	340	12			9000			-SHRA			7	1	Cb	2500	4	Cu	3500	7	Ac	12000			21,4	19,1	18,3	82	1002	1007,9	29,76
M	1720	360	14			10000						6	4	Cu	3500				6	Ac	10000			21,5	19	17,6	78	1002,4	1008,3	29,78

Tablo 4: 7 Ağustos 2014 Atatürk Havalimanı Metar Rasatları

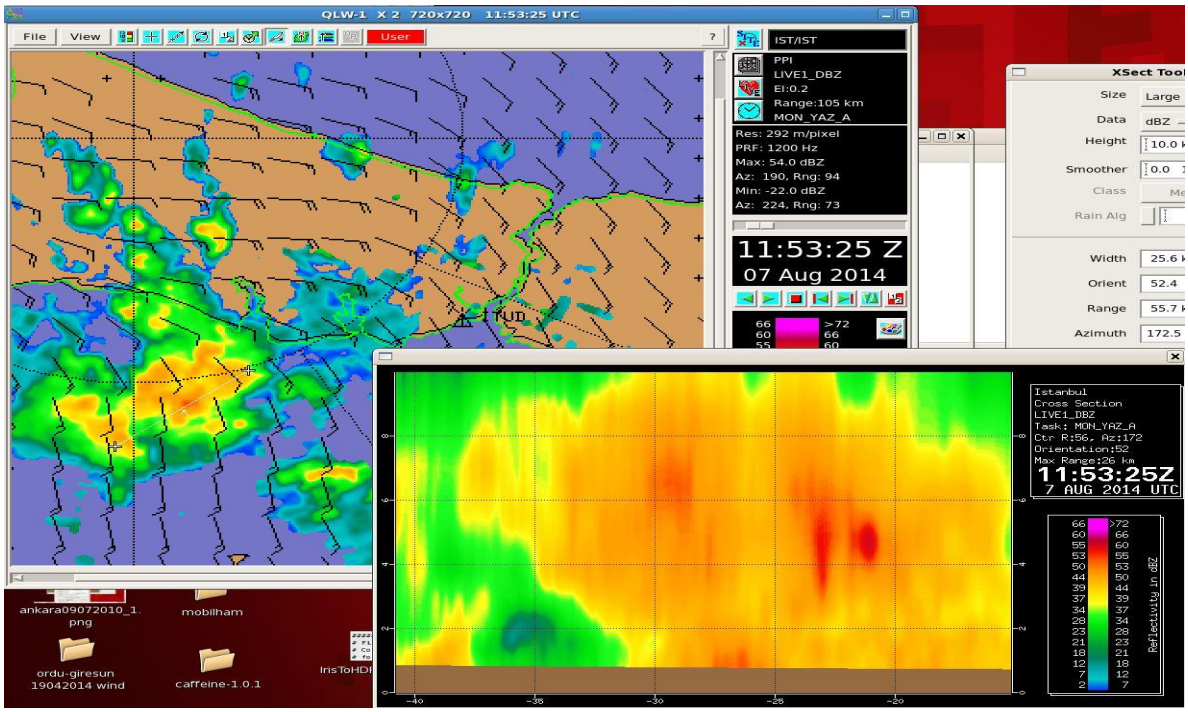
M	1150	010	14			###						5	1	Tcu	2500	4	Cu	3000						30	22,6	19,3	53	994,5	1006,3	29,72
S	1219	020	14			###			TS			6	2	Cb	2000	4	Cu	3000						28,4	22,1	19,2	58	994,4	1006,2	29,71
M	1220	020	13			###			TS			7	2	Cb	2000	5	Cu	3000						28,8	22,4	19,6	58	994,3	1006,1	29,71
S	1232	020	13			4000			-TSRA			7	3	Cb	2000	5	Cu	3000						28,8	22,4	19,6	58	994,3	1006,1	29,71
S	1239	050	13		360V08	1800			+TSRA			7	3	Cb	1800	5	Cu	2500						25,6	21,2	19,1	68	995,1	1006,9	29,73
M	1250	260	6		220V35	4000			TSRA			7	3	Cb	2000	5	Cu	2800						24,3	21,8	20,7	81	996,4	1008,2	29,77
S	1306	310	16			1600			+TSRA			7	4	Cb	1500	4	Cu	2500						19,2	17,5	16,5	85	996,4	1008,2	29,77
M	1320	010	17			1800			+TSRA			7	4	Cb	1500	4	Cu	2500						21,8	19,6	18,6	82	994,8	1006,6	29,72
S	1328	010	17			###			-TSRA			6	2	Cb	2000	4	Cu	2800						21,8	19,6	18,6	82	994,8	1006,6	29,72
M	1350	100	6		030V15	###			VCTS			7	2	Cb	2000	5	Cu	3000						22,9	20,3	19,1	79	997,2	1008,5	29,78
S	1411	VRB	6	18		###			-TSRA			7	3	Cb	1600	5	Cu	2700						20,1	17	15,2	73	998,5	1009,8	29,82
M	1420	VRB	5	16		###			-TSRA			7	3	Cb	1600	5	Cu	2700						19,9	17,3	15,8	77	998,5	1009,8	29,82
M	1450	350	3		300V01	###			TS			7	2	Cb	2000	5	Cu	3000						20	17,4	15,9	77	998,5	1009,8	29,82
M	1520	VRB	2			###			-TSRA			7	3	Cb	2000	5	Cu	3000						20,6	17,7	16,1	76	998	1009,8	29,82
M	1550	040	7		350V06	###			-SHRA			7	2	Cb	2000	5	Cu	3500						20,4	18,2	17,1	82	997	1008,8	29,79
M	1620	040	13			###						7	5	Cu	3500				7	Ac	10000			19,9	18,1	17,2	85	997	1008,8	29,79

Tablo 5: 7 Ağustos 2014 Sabiha Gökçen Havalimanı Metar Rasatları

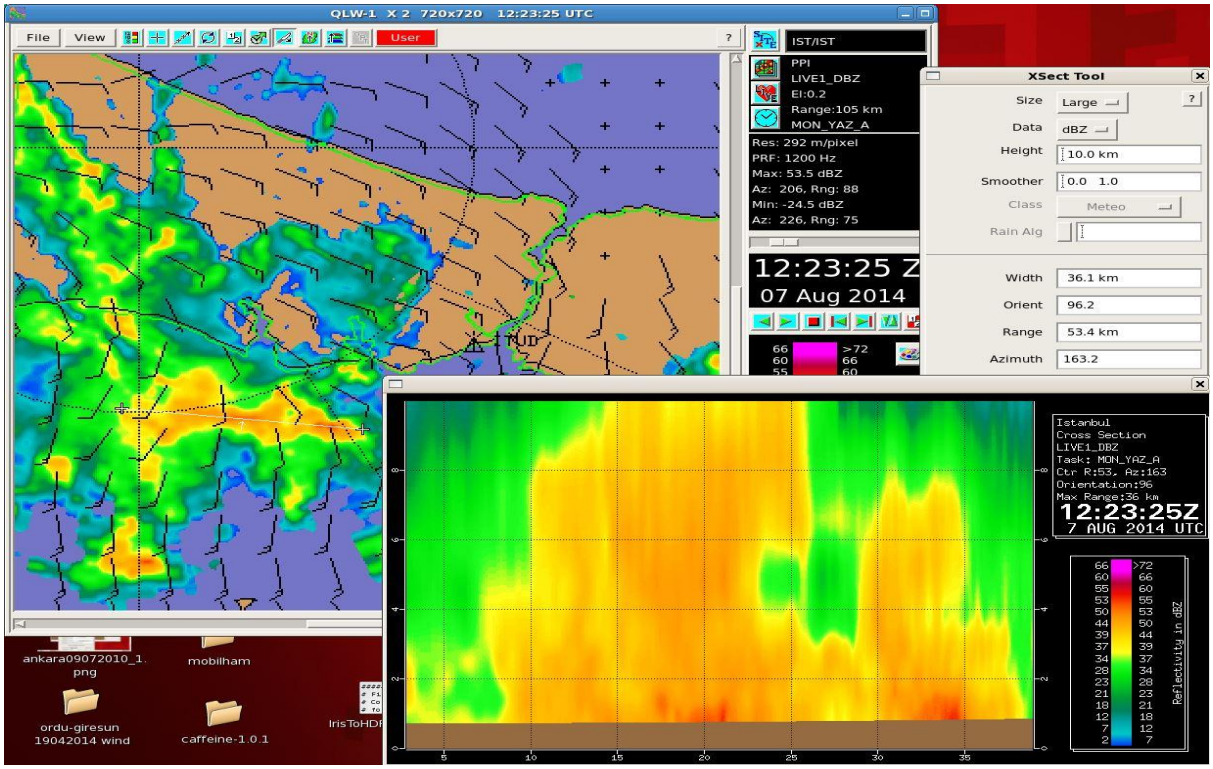
2.1.5 Radar



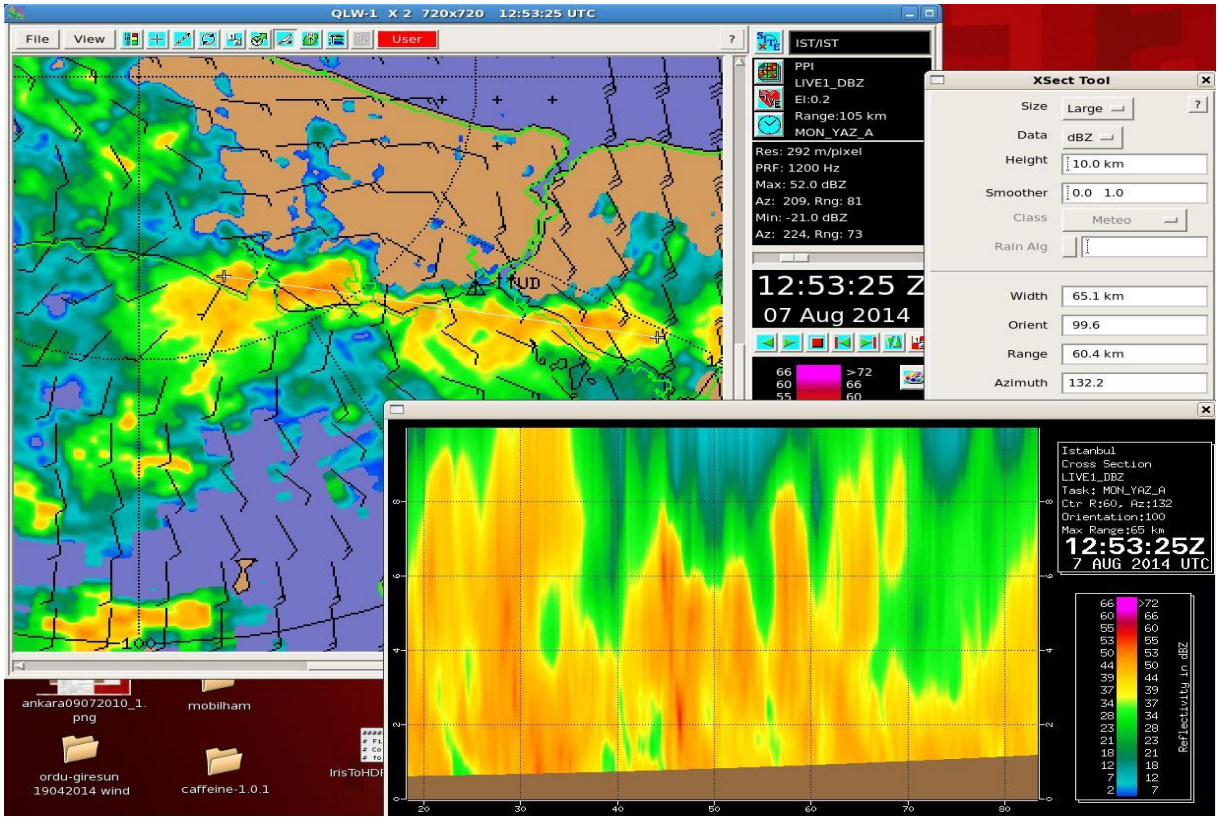
Şekil 45: 7 Ağustos 2014 11:23 Radar ve Dikey Kesiti



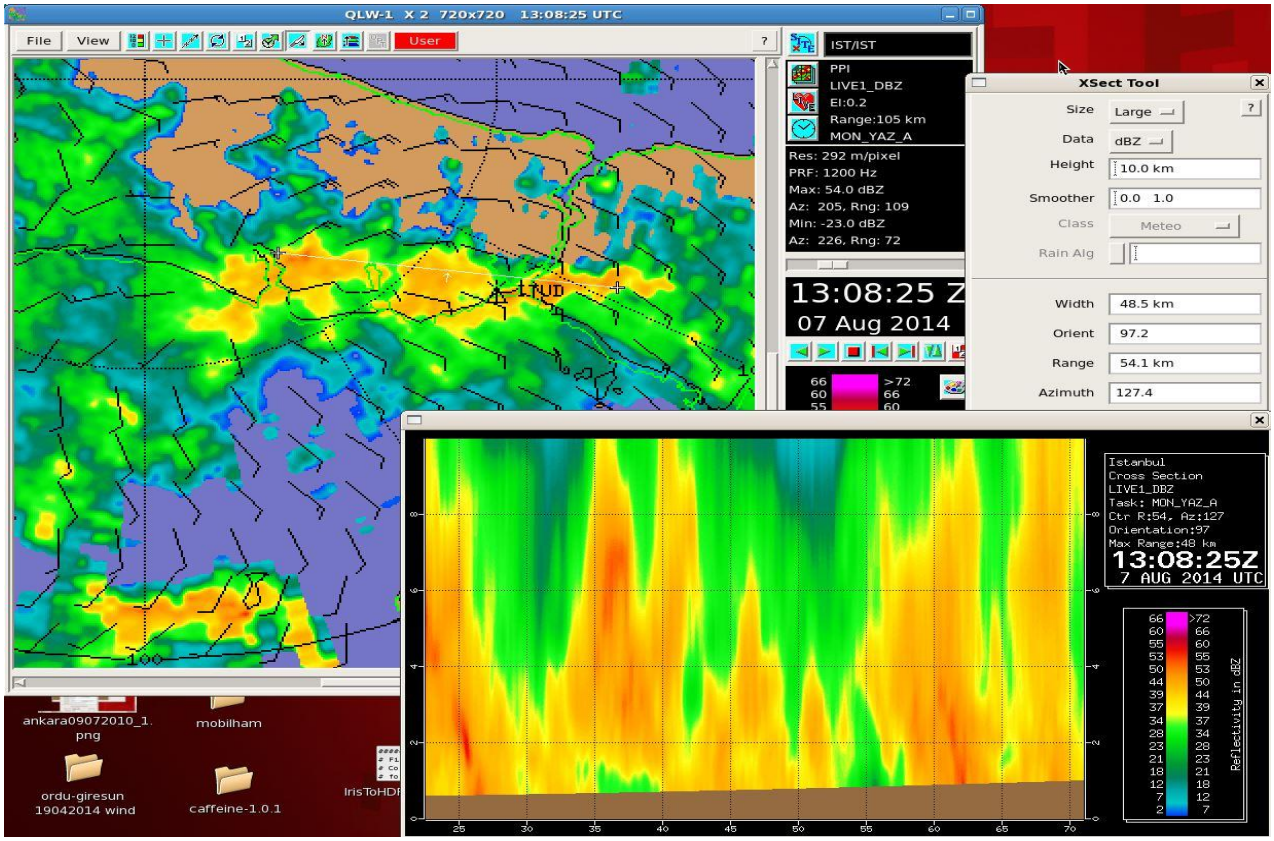
Şekil 46: 7 Ağustos 2014 11:53 Radar ve Dikey Kesiti



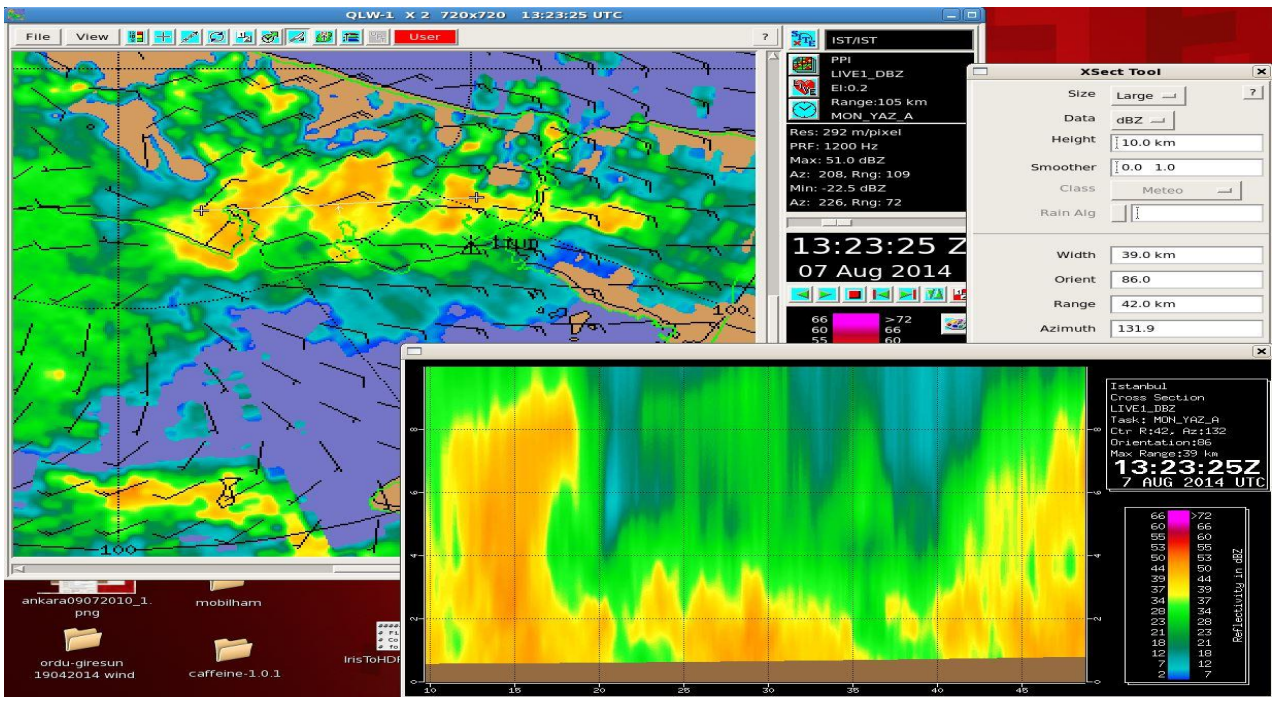
Şekil 47: 7 Ağustos 2014 12:23 Radar ve Dikey Kesiti



Şekil 48: 7 Ağustos 2014 12:53 Radar ve Dikey Kesiti

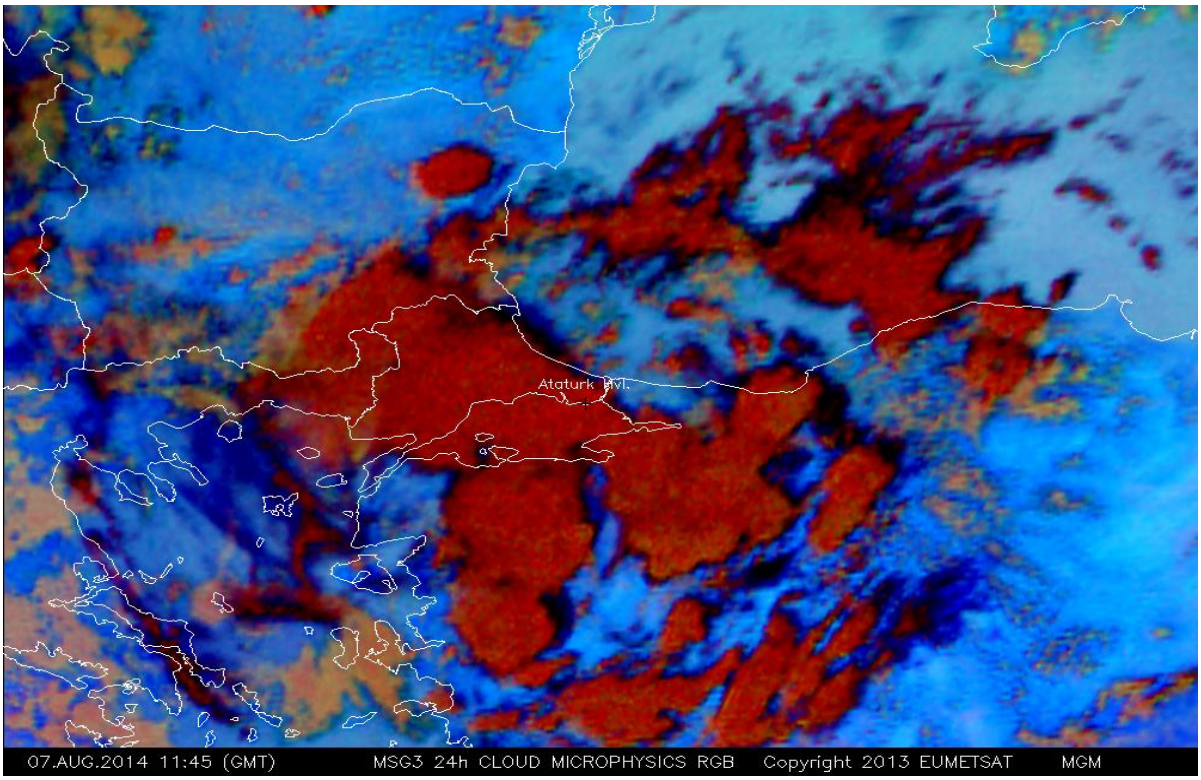


Şekil 49: 7 Ağustos 2014 13:08 Radar ve Dikey Kesiti

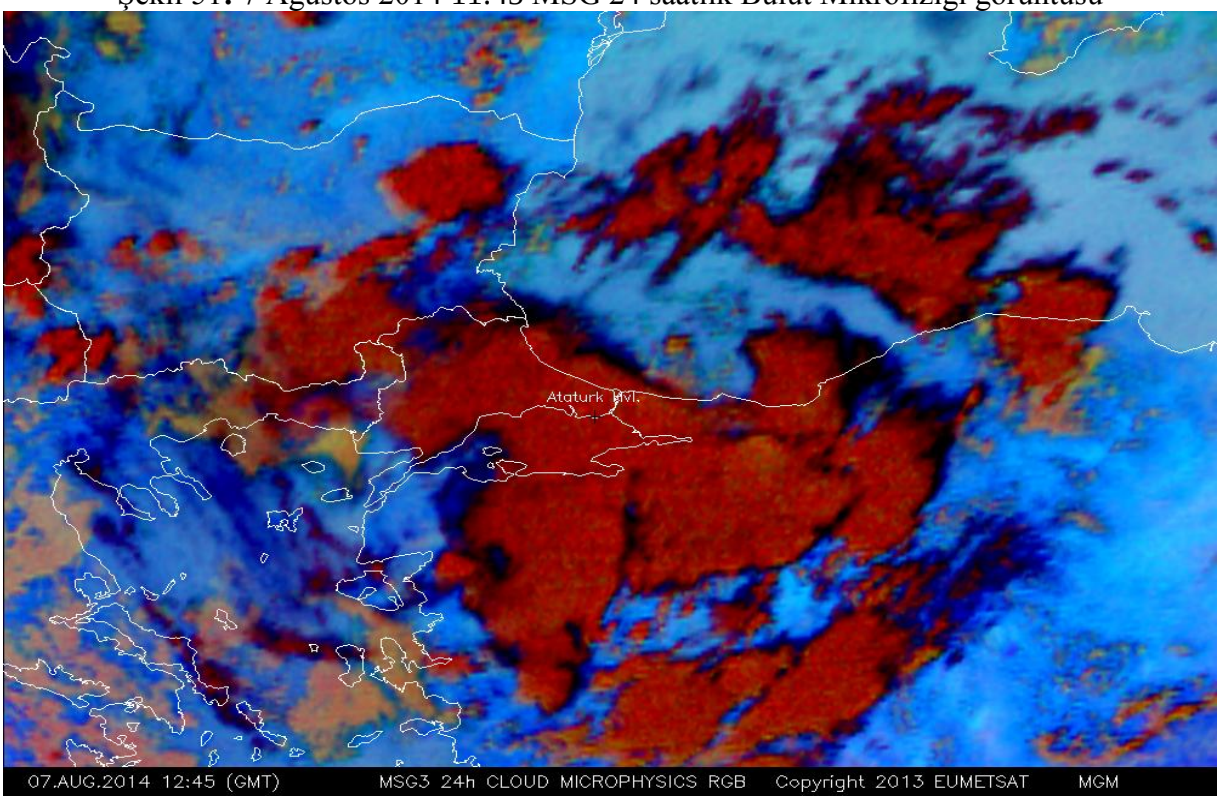


Şekil 50: 7 Ağustos 2014 13:23 Radar ve Dikey Kesiti

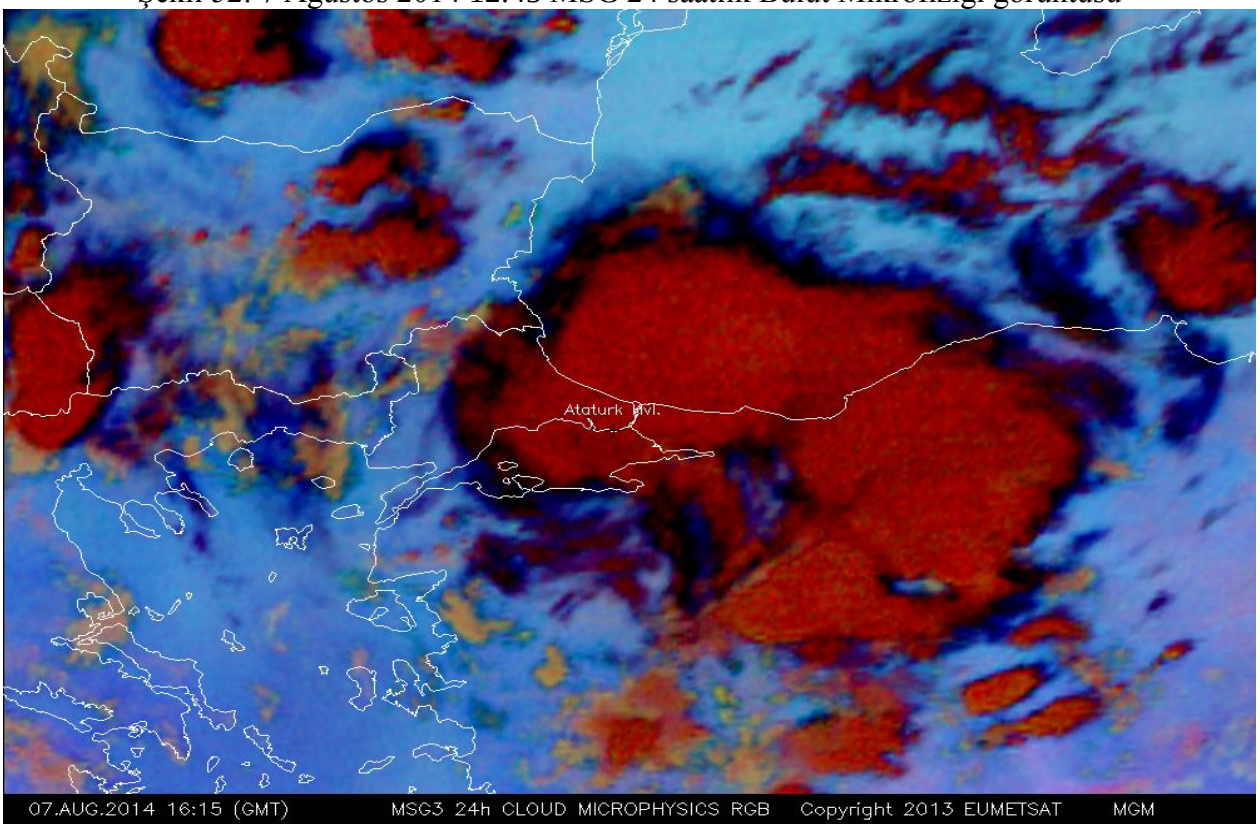
2.1.6 Uydu



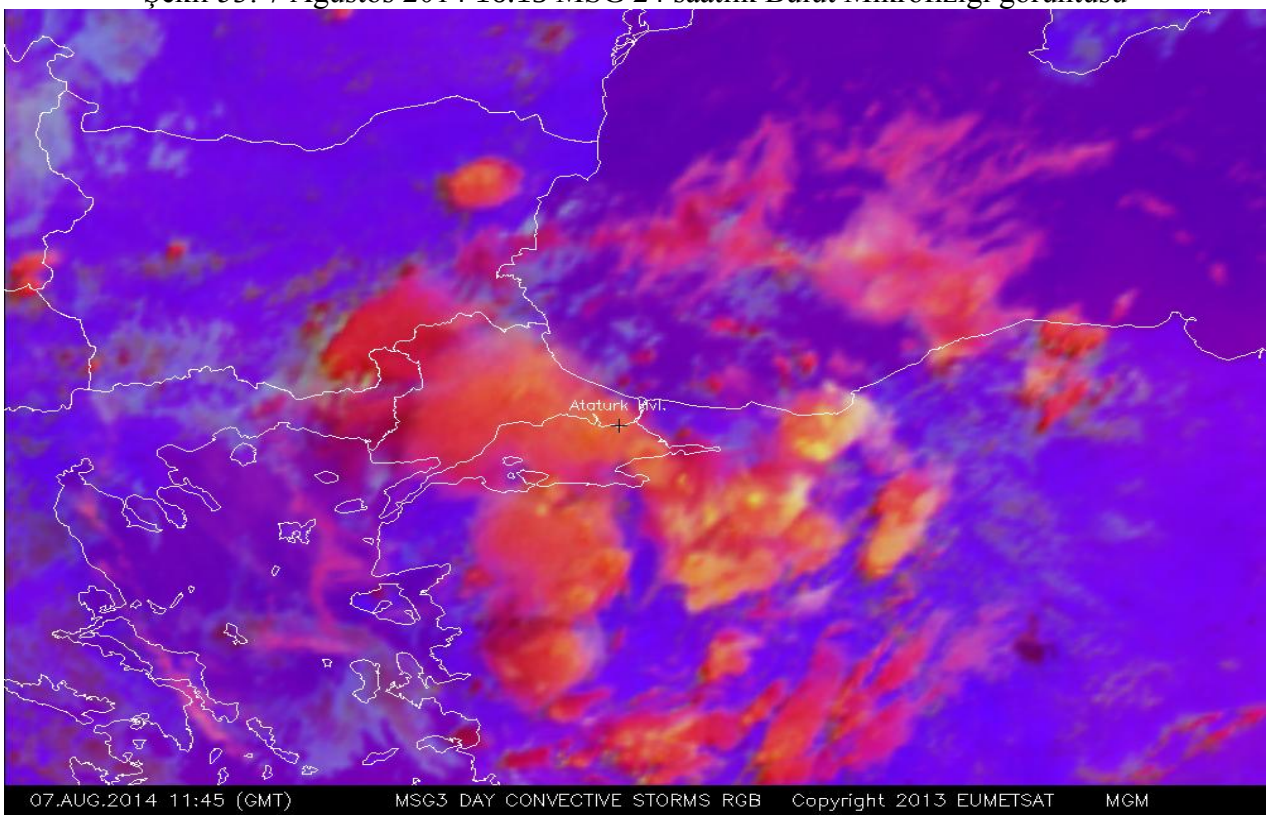
Şekil 51**:** 7 Ağustos 2014 11:45 MSG 24 saatlik Bulut Mikrofiziği görüntüsü



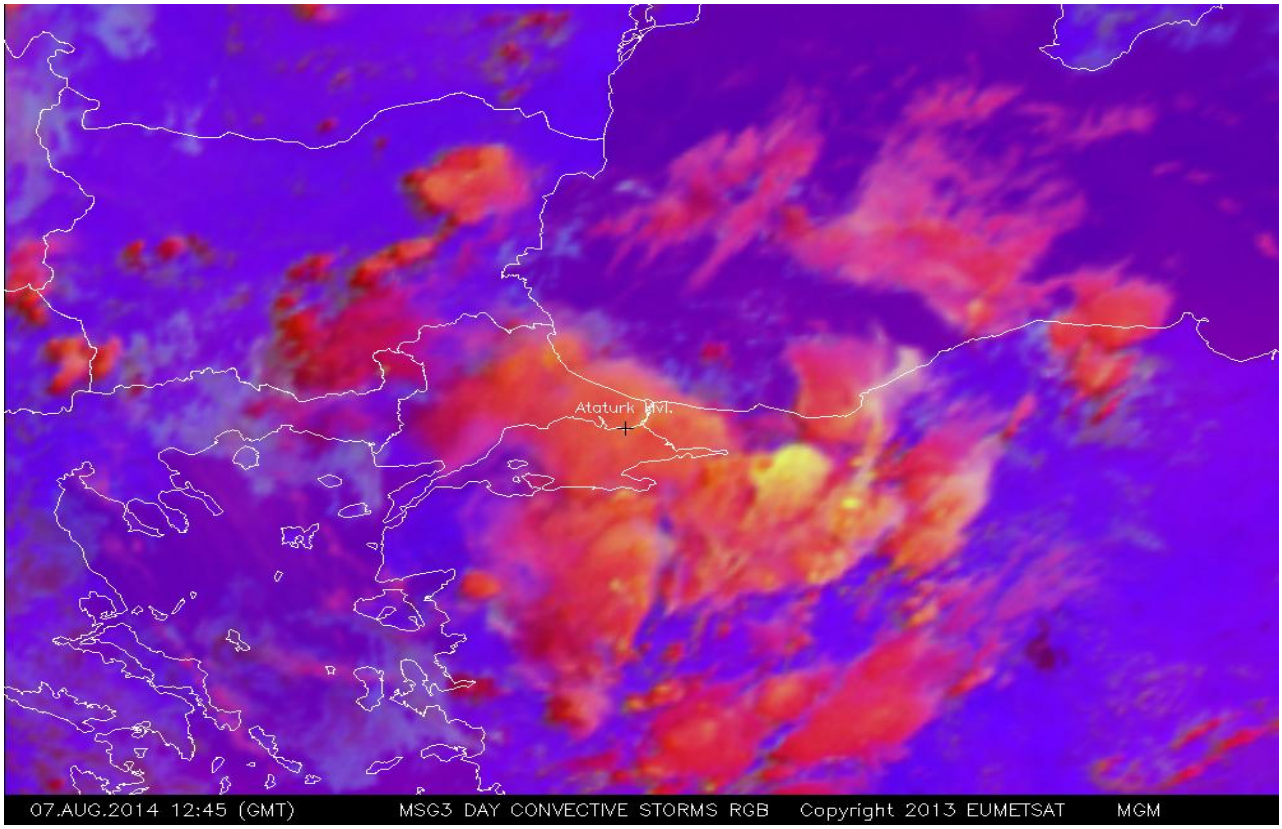
Şekil 52: 7 Ağustos 2014 12:45 MSG 24 saatlik Bulut Mikrofiziği görüntüsü



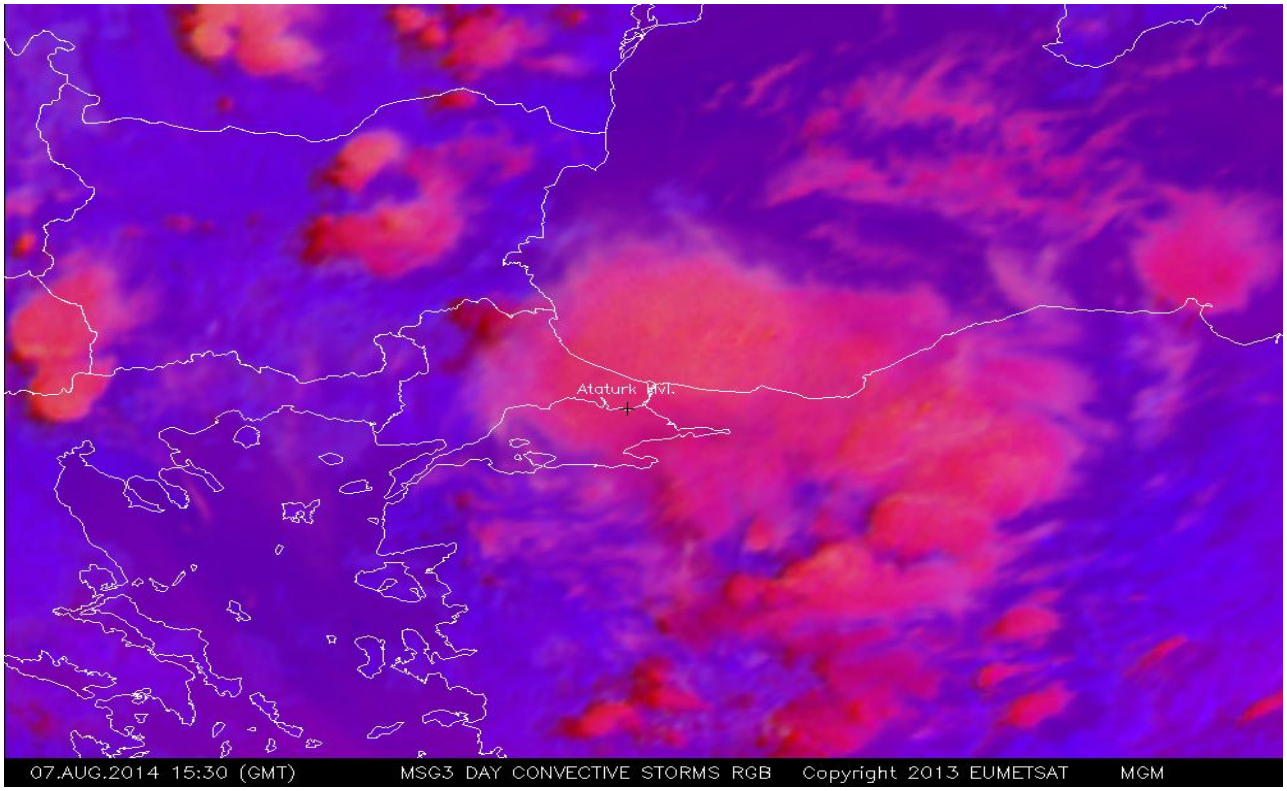
Şekil 53: 7 Ağustos 2014 16:15 MSG 24 saatlik Bulut Mikrofiziği görüntüsü



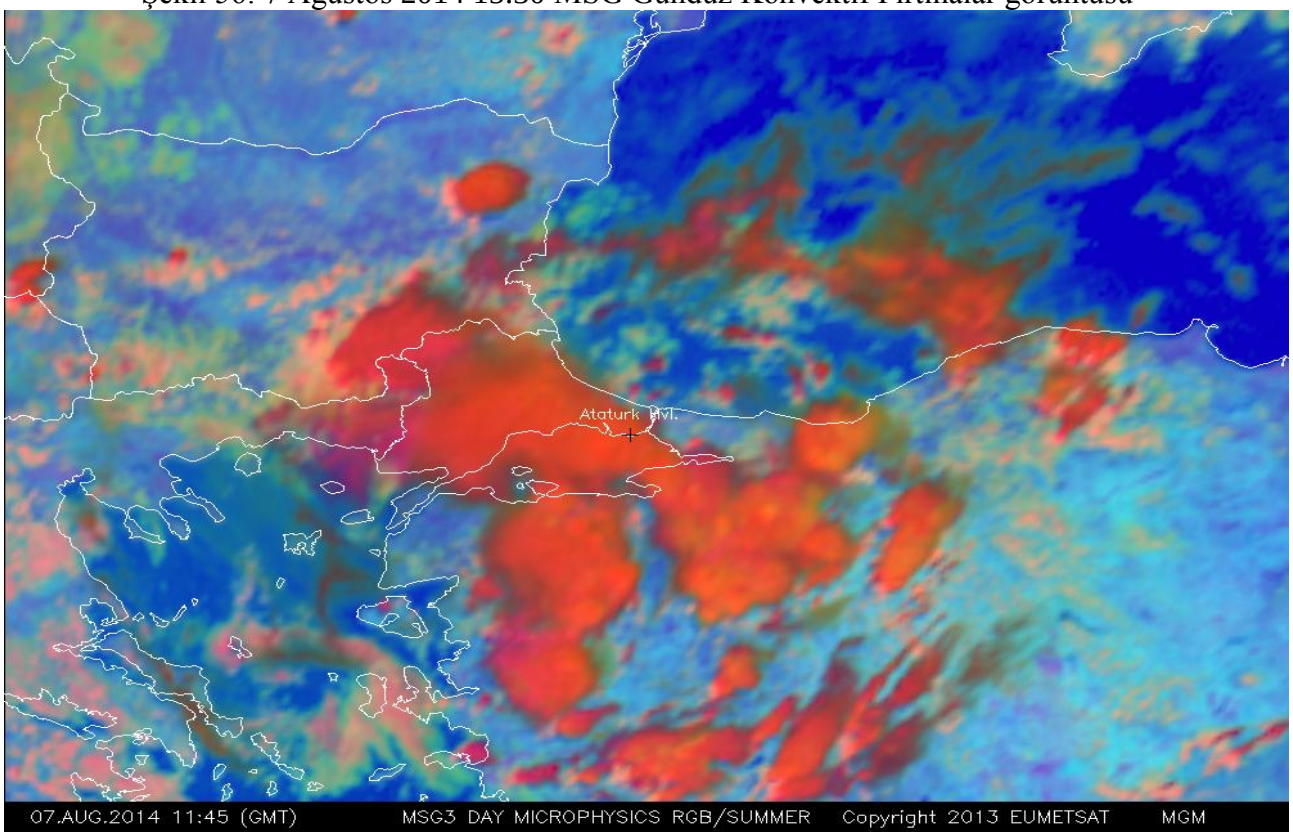
Şekil 54: 7 Ağustos 2014 11:45 MSG Gündüz Konvektif Fırtınalar görüntüsü



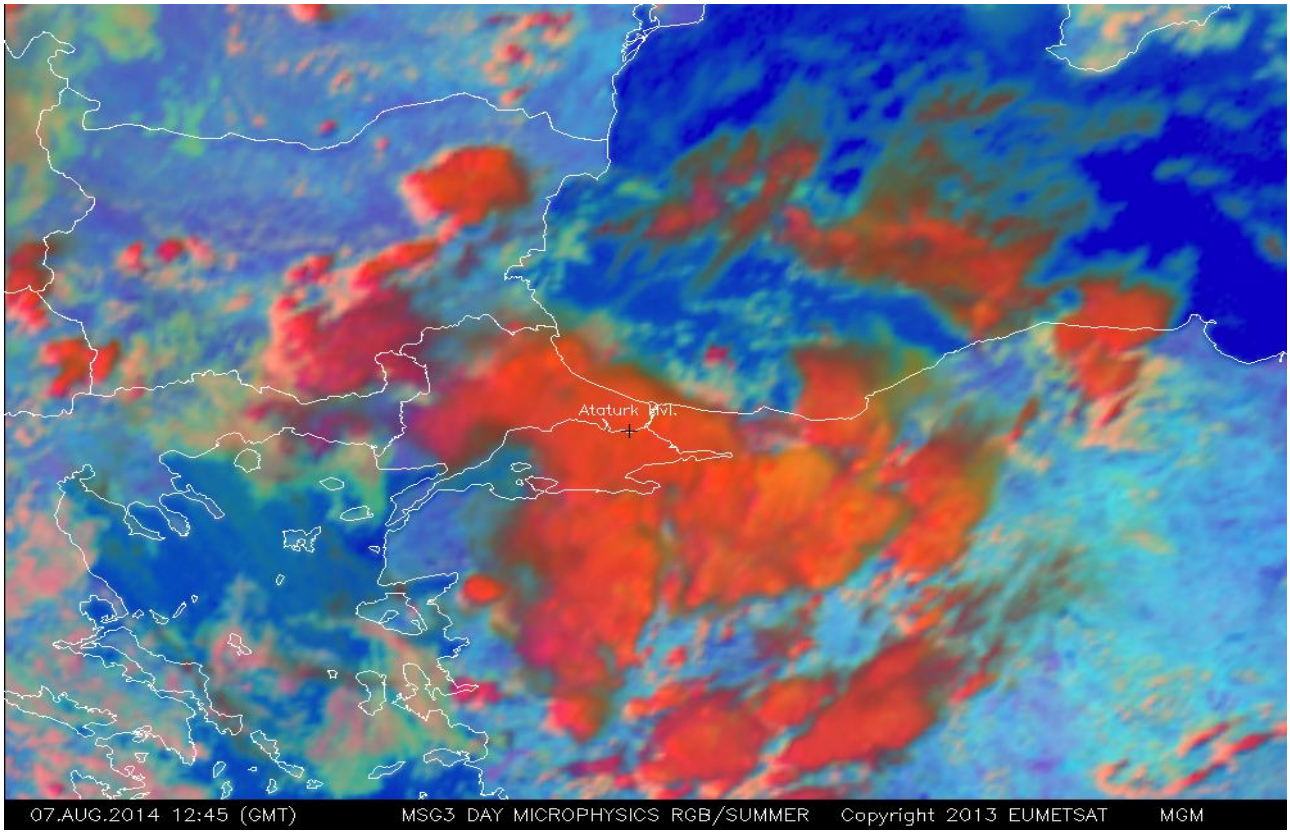
Şekil 55: 7 Ağustos 2014 12:45 MSG Gündüz Konvektif Fırtınalar görüntüsü



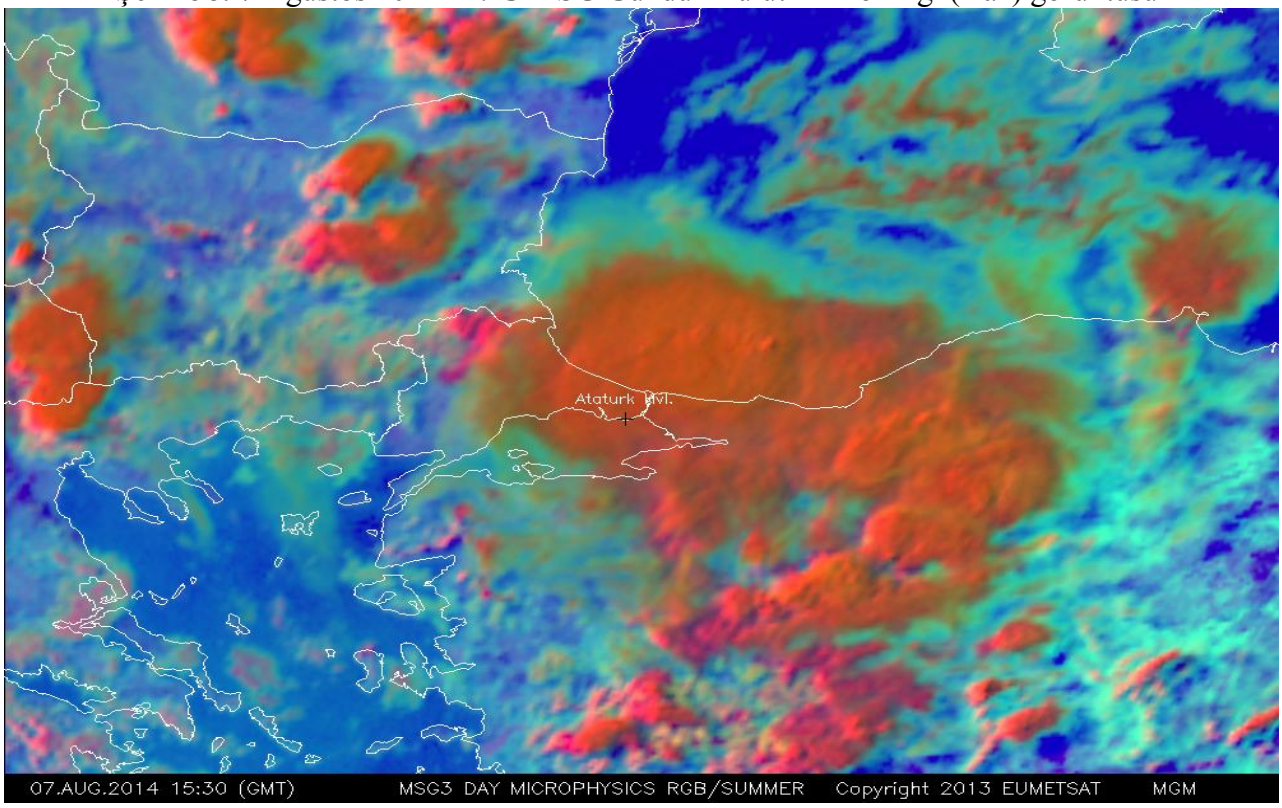
Şekil 56: 7 Ağustos 2014 15:30 MSG Gündüz Konvektif Fırtınalar görüntüsü



Şekil 57: 7 Ağustos 2014 11:45 MSG Gündüz Bulut Mikrofiziği (Yaz) görüntüsü



Şekil 58: 7 Ağustos 2014 12:45 MSG Gündüz Bulut Mikrofiziği (Yaz) görüntüsü



Şekil 59: 7 Ağustos 2014 15:30 MSG Gündüz Bulut Mikrofiziği (Yaz) görüntüsü

2.1.7 Verilerin Yorumu

Tüm veriler incelendiğinde üzerimizde 1005 mb'lık alçak basıncın olduğu, sabah saatlerinde sıcaklıkların 25^0 -28 ^{0} arasında seyrettiği, yüksek seviyelerde güneybatılı rüzgarların ve 500 hPa'da -10 ^{0} 'lik soğuk havanın olması kararsızlığın artmasına neden olmaktadır.

Temp diyagramlarına bakıldığında Lifted, Showalter indekslerinin giderek azaldığı; Total, Kindeks, Sweat ve CAPE değerlerinin giderek arttığının gözlemlenmesi bölgede orta şiddetli ve şiddetli kararsızlığa ve oraj ihtimaline işaret etmektedir.

Rasatları incelediğimizde ise Cb aktivitelerinin artıp mutedil ve kuvvetli gök gürültülü sağanak yağışlar sonucunda metrekareye Atatürk Havalimanı'nda 34 kg, Sabiha Gökçen Havalimanı'nda 28.6 kg, Kartal istasyona ise 27.8 kg yağış düştüğü tespit edilmiştir.

Düşey hızların (-), mutlak vortisiti, bağıl vortisiti ve kalınlık adveksiyonunun(+) 12 GMT'de İstanbul'un batısında kapsayacak şekilde alçak merkez meydana getirdiği ve bulutluğun % 90'a yaklaştığı görülmektedir. Lifted indeksin -6' dan -8'e düştüğü CAPE 'in 1600-2000 civarında olduğu, K indeksin zamanla 35'in üzerine çıktığı ve konvektif bulutluluğun %75 olduğu gözlemlenmektedir.Radar görüntüleri incelendiğinde;

11:08-12:30 hafif ve orta şiddette sağanak yağış
12:45-13:08 kuvvetli sağanak yağış
13:15-16:45 hafif ve orta şiddette sağanak yağış
Bu aktiviteler boyunca Kuzeydoğulu-Doğulu-Güneydoğulu rüzgarlar hakimdir.

Atatürk Uluslararası Havalimanı'na yaklaşan yapılara bakıldığında;

11:23 GMT: düşeyde 8-10 km lere ulaşan, yatayda 20 km uzunluğuna yaklaşan ve merkezinde 50 dBZ civarı reflektivite değerlerinde **(kuvvetli sağanak yağış)**,

11:53 GMT: düşeyde 8-10 km lere ulaşan, yatayda 25 km uzunluğuna yaklaşan ve merkezinde 60 dBZ'i geçen reflektivite değerlerinde **(kuvvetli sağanak yağış ve dolu yağışı ihtimali)**,

12:23 GMT: düşeyde 8-10 km lere ulaşan, yatayda yaklaşık 40 km uzunlukta ve 50 dBZ civarı reflektivite değerlerine **(kuvvetli sağanak yağış)** ulaşan,

12:53 GMT: düşeyde 8-10 km lere ulaşan, yatayda yaklaşık 65 km uzunlukta ve **Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı tarafını da etkileyen** 50 dBZ civarı reflektivite değerlerine **(kuvvetli sağanak yağış)** ulaşan,

13:08 GMT: düşeyde 8-10 km lere ulaşan, yatayda yaklaşık 50 km uzunlukta ve **Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı tarafını da etkileyen** 50-60 dBZ civarı reflektivite değerlerine **(kuvvetli sağanak yağış ve dolu yağışı ihtimali)** ulaşan,

13:23 GMT: düşeyde 8-10 km lere ulaşan, yatayda yaklaşık 40 km uzunlukta ve **Sabiha Gökçen Uluslarası Havalimanı tarafını da etkileyen** 50 dBZ civarı reflektivite değerlerine **(kuvvetli sağanak yağış)** ulaşan

yapıların mevcut olduğu görülmektedir.

Uydu görüntüleri incelendiğinde;

Özellikle 11:45 GMT'de Marmara Denizi'nin tamamını kaplayan ve İstanbul'un Avrupa yakasında başlayan bulutluluğun 12:45-16:15 GMT arası Marmara Denizi'nin tamamını ve İstanbul'un her iki yakasını da kapsadığı görülmektedir.
İlk olarak MSG 24 saatlik Bulut Mikrofiziği görüntüleri incelenmiştir. Burada koyu renkli alanlar soğuk,kalın ve Cb olmaya daha meyilli bulutları göstermektedir ve 11:45-16:15 GMT arasında Marmara Denizi'nin tamamında etkili olduğu görülmektedir.
İkinci olarak MSG Gündüz Konvektif Fırtınalar görüntüleri incelenmiştir. Burada sarı tonundaki renkler gelişmekte olan genç Cb bulutlarını ifade ederken pembeye yakın renk tonları gelişimini tamamlamış Cb bulutlarını göstermektedir. Bu görüntüler incelenirken 24 saatlik Bulut Mikrofiziği görüntülerinin aksine son görüntü olarak 15:30 GMT görüntüsünün alınmasının sebebi bu uydu ürününün Güneş'in mevcut olduğu gündüz süresince aktif olup Güneş'in batışıyla birlikte renklerin görünürlüğünü yitirmeye başlamasıdır. Bu görüntülerde Cb bulut gelişimleri belirgin şekilde görülmektedir.
Bir diğer uydu ürünü olarak MSG Gündüz Bulut Mikrofiziği (Yaz) görüntüleri alınmış olup burada kırmızıya yakın tondaki renkler büyük kristal yapılı kalın konvektif bulutları belirtirken sarıya çalan koyu renk tonları ise küçük kristalli güçlü yukarı akımlı Cb bulutlarını göstermektedir. Burada da MSG Gündüz Konvektif Bulutlar görüntülerinde karşılaşılan benzer problemden dolayı son görüntü olarak 15:30 GMT görüntüsü alınmıştır. Buradaki görüntülerde de genel itibariyle her iki yapıya da yakın yani özetle konvektif akımların beraberinde getirdiği bulut yapıları Marmara Denizi ve İstanbul üzerinde belirgin şekilde görülebilmektedir.

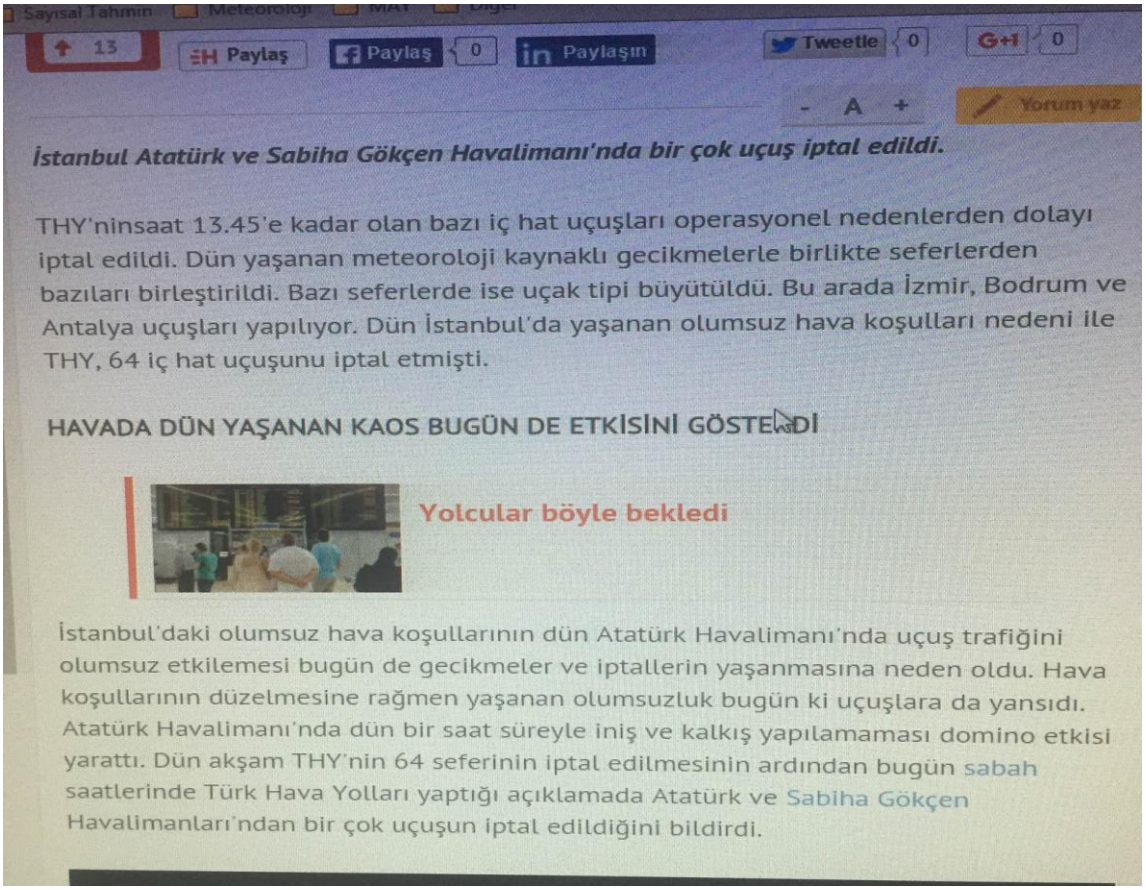
2.1.8 Medyada Çıkan Haberler



Resim 1: Atatürk Havalimanı



Resim 2: Atatürk Havalimanı



13 Paylaş Paylaş 0 Paylaşın Tweetle 0 G+1 0

- A + Yorum yaz

İstanbul Atatürk ve Sabiha Gökçen Havalimanı'nda bir çok uçuş iptal edildi.

THY'ninsaat 13.45'e kadar olan bazı iç hat uçuşları operasyonel nedenlerden dolayı iptal edildi. Dün yaşanan meteoroloji kaynaklı gecikmelerle birlikte seferlerden bazıları birleştirildi. Bazı seferlerde ise uçak tipi büyütüldü. Bu arada İzmir, Bodrum ve Antalya uçuşları yapılıyor. Dün İstanbul'da yaşanan olumsuz hava koşulları nedeni ile THY, 64 iç hat uçuşunu iptal etmişti.

HAVADA DÜN YAŞANAN KAOS BUGÜN DE ETKİSİNİ GÖSTERDİ

Yolcular böyle bekledi

İstanbul'daki olumsuz hava koşullarının dün Atatürk Havalimanı'nda uçuş trafiğini olumsuz etkilemesi bugün de gecikmeler ve iptallerin yaşanmasına neden oldu. Hava koşullarının düzelmesine rağmen yaşanan olumsuzluk bugün ki uçuşlara da yansıdı. Atatürk Havalimanı'nda dün bir saat süreyle iniş ve kalkış yapılamaması domino etkisi yarattı. Dün akşam THY'nin 64 seferinin iptal edilmesinin ardından bugün sabah saatlerinde Türk Hava Yolları yaptığı açıklamada Atatürk ve Sabiha Gökçen Havalimanları'ndan bir çok uçuşun iptal edildiğini bildirdi.

3. SONUÇLAR

7/8/2014 tarihine ait aktüel haritalar, yüksek seviye kartlar ve Temp diyagramları kararsızlık koşullarının mevcut olduğunu ortaya koymakta ve bu kararsızlık koşullarının etkisiyle Marmara Bölgesi'nde CB aktiviteleri meydana gelmiş ve bunların sonucunda metrekareye 25-30 kg arası yağış düşmüş olup; meydana gelen CB aktivitelerinin uydu ve radar ürünleri aracılığıyla görsel olarak incelenmelerinin bu aktivitelerin Marmara Denizi'nde ve İstanbul'un her iki yakasında etkili olduğunu ortaya koyduğu durumu destekler şekilde o gün Atatürk ve Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanlarındaki uçuşlar olumsuz etkilenmiştir. Sadece THY 64 uçuşunu iptal ettiğini duyurmuştur. Bu çalışmada da görüldüğü gibi havacılık açısından büyük önem arz eden CB aktiviteleri ve gökgürültülü sağanak yağış olaylarının sinoptik açıdan öngörüsünün yapılıp kısa vadeli tahminlerde de uydu-radar ürünleriyle desteklenmesi havacılık açısından meydana gelebilecek olası problemleri en aza indirecektir.

KAYNAKLAR

[1] http://www1.wetter3.de/Archiv/

[2] http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html

[3] http://kardelen.mgm.gov.tr/Bultenler

[4] http://uzal.mgm.gov.tr/index.htm

[5] http://www.hurriyet.com.tr/istanbulda-bir-cok-ucak-seferi-iptal-26964535

[6] http://m.airporthaber.com/read.php?id=50311

[7] Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü (2013). RGB Listesi. MGM.

Ege Denizi üzerinde gerçekleşen 21-22 Ocak 2004 hızlı gelişen siklonu (bomba siklonu)'nun Türkiye üzerindeki etkilerinin uydu verileri, model çıktıları ve gözlem verileri ile incelenmesi

Murat KARACAKAYA
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Ankara
mkaracakaya@mgm.gov.tr

Elif Müdrike KOÇ
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Ankara
emkoc@mgm.gov.tr

ÖZET

21-22 Ocak 2004 tarihinde Ege Denizi üzerinde gerçekleşen ve etkileri Türkiye'de de hissedilen siklojenez, son 50 yıl boyunca gözlenen en kuvvetli meteorolojik olaylardan biridir. 24 saat içinde 27mb basınç düşüşü kaydedilen siklon Ege Denizi üzerinden Türkiye'ye giriş yapmış olup, Denizli'de 979mb değere sahip merkez oluşturmuştur. Bu değerin Batı Anadolu'da kaydedilen en düşük basınç değeri olduğu Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün uzun yıllar gözlem verileri ile sabittir. 2004 yılında meydana gelen bu bomba siklonu, özellikle Ege Bölgesi'nde çok kuvvetli yağışlara ve fırtınaya neden olmuştur. Bu çalışma ile bahsi geçen bomba siklonunun uydu görüntüleri, gözlem verileri ve model çıktıları ile analizi ve tetikleyici faktörlerin belirlenebilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler —bomba siklonu; derin gelişimli siklonlar; siklojenez; 2004 Ege siklonu.

1 GİRİŞ

Yapılan birçok araştırmada bomba siklonunun geniş çapta etki oluşturduğu ve en önemli meteorolojik olaylardan biri olarak kabul edilebileceği açıklanmıştır. Bomba siklonu olarak nitelendirilen derin ve hızlı gelişen siklonların oluşumunda yüzey özelliklerinin etkisi göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir. Bomba siklonu çok kısa zamanda geliştiği için yer seviyesinde çok kuvvetli basınç düşüşleri (24hPa/24sa), kuvvetli yağış ve kısa sürede yer basıncındaki değişiklik sebebi kuvvetli yer rüzgârlarına sebep olmaktadır. Bomba siklonlarının analiz edilebilmesi için yukarı seviye atmosferde (500 hPA trofu, 300 hPA rüzgâr hızı ve jet stream) ve yer seviyesinde (rüzgar akışı ve orta seviye nem bütçesi 700 hPA) uygun şartların gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu çalışmada bomba siklonlarının yarattığı önemli olumsuz etkiler göz önünde bulundurularak, geçtiğimiz 50 yıl içinde ölçülen en derin ve hızlı gelişimli siklon olan 21-22 Ocak 2004 bomba siklonunun öncesi, gelişimi ve sonrası incelenmiştir.

Bahsedilen bomba siklonunun yaşamı süresince 21-22 Ocak 2004 günü Libya'nın Kuzeyinde 21 Ocak 12 GMT ECMWF yer kartında analiz edilen ve 999hPA basınç değerli alçak basınç merkezi; 22 Ocak 2004 12 GMT ECMWF yer kartında analiz edilen 976hPA (Sisam adası yakınlarındaki bir otomatik meteoroloji istasyonundan alınan değer 972hPa) basınç ve Kuzey Ege'de ise 45m/sn hızda hamle ile 30m/sn hızda rüzgâr değerleri kaydedilmiştir.
21-22 Ocak 2004 bomba siklonunun hızlı gelişimi model çıktıları, meteorolojik rasatlar ve uydu görüntüleri ile değerlendirilmiş, sistemin derinleşme süreci incelenmiştir.

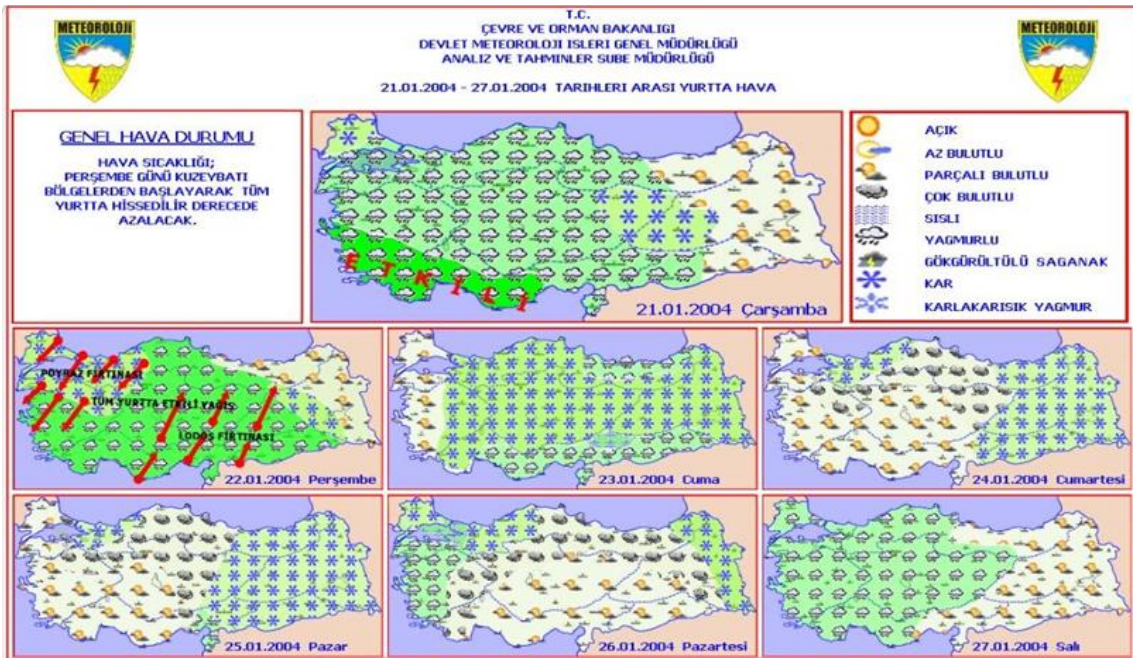
Çalışma Bölüm 2'de Analizler ve Öngörüler; Bölüm 3'te Bomba Siklonunun Uydu Görüntüleri ile Analizi Bölüm 4'te 21-22 Ocak 2004 Bomba Siklonunun Türkiye'ye Etkileri ve Bölüm 5'te Sonuçlar ve Analiz Önerileri ile devam etmektedir.

2 ANALİZLER VE ÖNGÖRÜLER

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 20 Ocak tarihinden itibaren yapılan tahminlerde ve bomba siklonunun gerçekleşme periyodunda hazırlanan yer ve atmosfer seviye kartları; siklonun hızlı gelişimini ve etkisini anlamakta fayda sağlamaktadır.

2.1. Öngörüler

20 Ocak 2004 günü hazırlanan uzun vade tahmin haritasında özellikle kuvvetli yağışların Ege Kıyı kesiminde meydana geleceği, 22 Ocak itibari ile yurdun kuzeybatı kesimlerinin özellikle Marmara bölgesinin poyraz fırtınasının, Akdeniz bölgesi ve iç kesimlerin ise kuvvetli basınç gradyanı nedeni ile lodos fırtınasının etkisi altında olacağı tahmin edilmiş ve Şekil 1'de görüldüğü gibi haritalandırılmıştır.

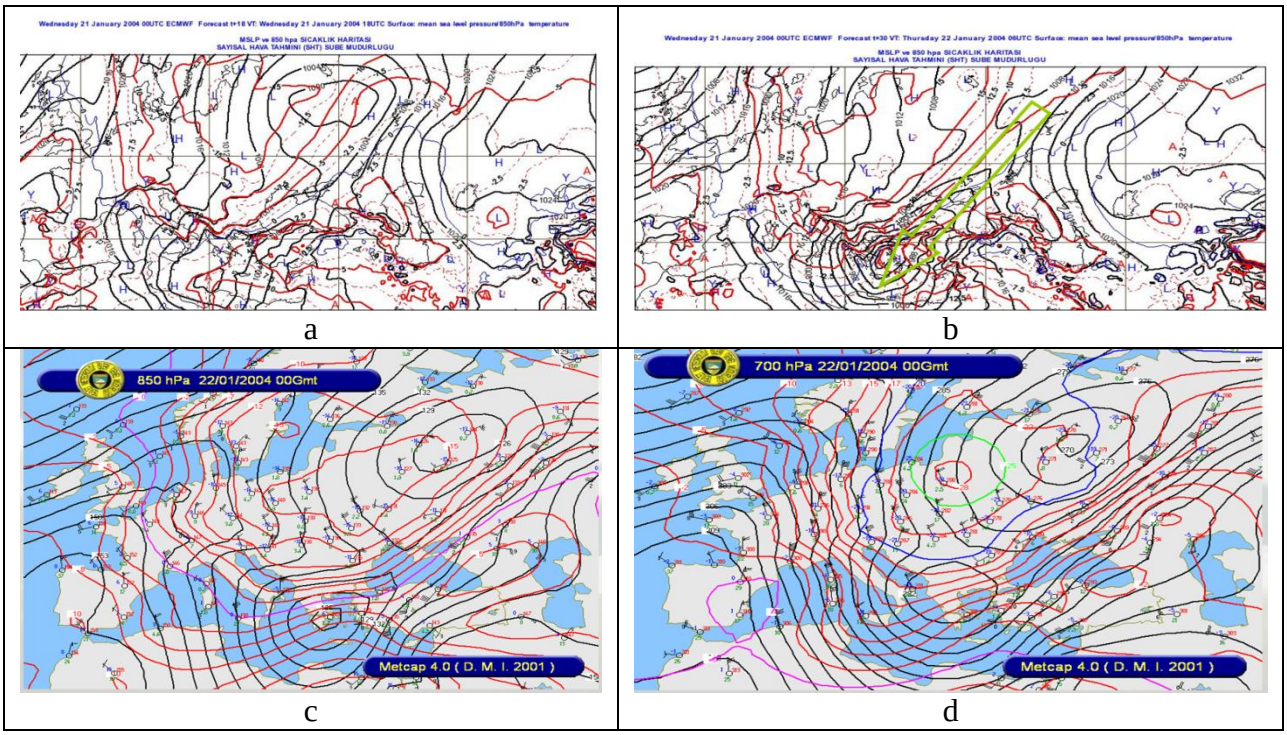


Şekil 1: *20 Ocak tarihinde yayınlanan haftalık tahmin haritası [5]*.

2.2. Model Çıktıları ve Sinoptik Analiz

Şekil 2a'da 21 0cak 18 GMT ECMWF yer kartı analizinde Libya'nın kuzeyinde ve Yunanistan'ın güneybatısında deniz üzerinde 993hPa alçak basınç merkezi ve 850hPa seviyesinde 10℃'lik sıcaklık değeri ve Ege denizi üzerinde sıcaklık gradyanı açık şekilde analiz edilmiştir [1]. Şekil 2b'de 22 Ocak 2004 günü 00 GMT'de ise alçak basınç merkezinin Libya'nın kuzeyinden çok kuvveli jet rüzgârlarının etkisi ile Mora yarımadasına doğru derinleşerek hareket ettiği ve basınç değerlerinin 986hPa'a kadar düştüğü analiz edilirken kuzeyli soğuk akımlarla soğuk adveksiyonun sistemi beslediği model çıktılarından görülebilmektedir.

Şekil 2c'deki 22 Ocak 00 GMT 850hPa yukarı seviye haritası ile 126 dam'lik alçak merkezin Mora yarımadası üzerinde oluştuğu ifade edilebilmektedir. Yer kartı ve 850hPa haritasına ve Şekil 2d'de görülen 700hPa yukarı seviye kartına [7] göre hareket ettiği kaynak bölgesine bakıldığında bu sistem "sıcak taşıyıcı kuşak (warm conveyor belt)" olarak isimlendirilebilir. Bu kuşak, bulutlanmanın artışını ve sistemin daha da güçlenmesini sağlamakatadır [5]. Özellikle Karadeniz üzerindeki soğuk havanın Ege üzerine bir kama gibi sokulması, yani sistemin soğuk hava ile beslenmesi ve Ege Denizi üzerindeki sıcak havanın, soğuk hava üzerinde yükselmesi ve çok kuvvetli yukarı hareketlere ve Ege Denizi üzerindeki sistemin daha da güçlenmesine sebep olmuştur.

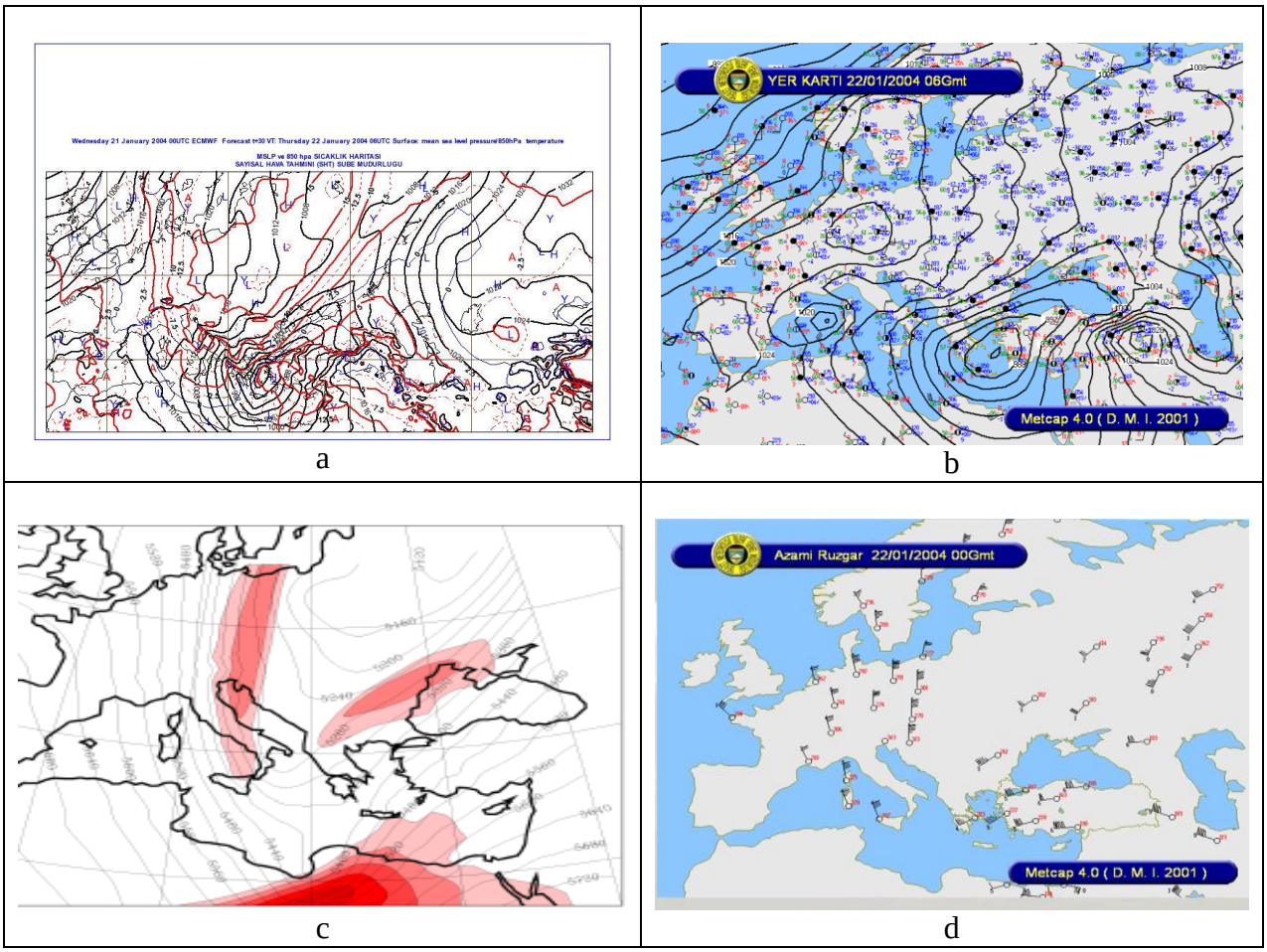


Şekil 2: *a) ECMWF 21 Ocak 18 GMT deniz seviyesi basınç; 850 hPa sıcaklık b) ECMWF 22 Ocak 00 GMT deniz seviyesi basınç; 850 hPa sıcaklık [1] c) Metcap 22 Ocak 00 GMT 850 hPa analizi d) Metcap 22 Ocak 00 GMT 700 hPa analizi [7]*

Şekil 3a'daki 22 Ocak 06 GMT 'de ECMWF modeli deniz seviyesi basınç ve 850hPa sıcaklık haritasında ve Şekil 3b'deki aktüel deniz seviyesi basınç haritasında alçak basınç merkezindeki basınç değeri 980hPa olarak görülmektedir. Özellikle Karadeniz üzerinden Ege Denizi'ne doğru esen rüzgârın aynı yönden ve uzun süreli hareketi fetch sahasının uzunluğunu arttırmış, bu

durumda da rüzgârın kuvvetli ve hamleli olmasına neden olmuş ve sistemin yaşamsal desteği olan soğuk havanın sistemin arka tarafına (soğuk advekiyon) akarak sistemi güçlendirdiği (derinleşerek) analiz edilebilmektedir. Kuvvetli siklon yapısının, 300hPa haritasında yukarı seviye trof hattına paralel uzanan kuvvetli jet rüzgârının etkisi ile (yaklaşık 150 knot ve üzeri kuvvetli akımlarla) Mora yarımadasından İzmir–Bodrum arasına doğru hareketi Şekil 3c'de görülebilmekte ve Şekil 3d'deki aktüel azami rüzgâr haritası ile desteklenmektedir.

Hızlı gelişen bomba siklonlarının en önemli özelliklerinden birinin de basınç değerlerindeki ani değişim olduğu daha önceki bölümlerde belirtilmişti. Aşağıda rasatları [6] verilen Türkiye'deki 17232, 17219, 17234, 17186 sinoptik kodlu dört istasyonda 3 saat içinde 8.3hPa'a varan düşüşler yaşandığı görülmektedir.



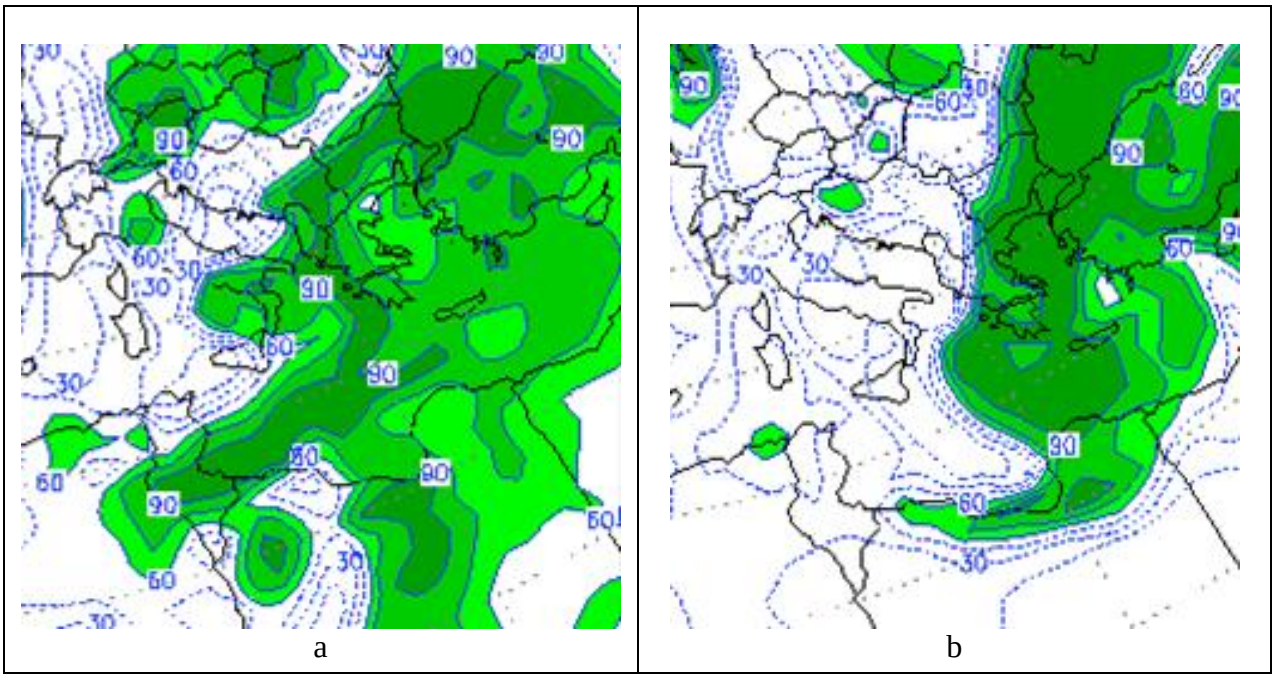
a b c d

Şekil 3: a) ECMWF 22 Ocak 06 GMT deniz seviyesi basınç; 850 hPa sıcaklık; [1] b) Metcap 22 Ocak 06 GMT deniz seviyesi basınç [7]; c)ECMWF 22 Ocak 00 GMT 300hPa jet stream [3]; d) Metcap 22 Ocak 00 GMT azami rüzgâr haritası [7]

17219 11465 71712 10118 20090 49803 **57076** 60132 78082 85970 333 20109 70246 81915 84830 87359 91130=
17234 11660 70806 10130 20086 49824 **57070** 60022 78082 83270 333 20114 32010 50024 20018 30018 70112 91121
17186 11670 81005 10116 20079 39742 49825 **57066** 60142 70382 8422/ 333 20114 32010 50074 55000 20365 30365 70178 84837 88460
17218 11570 71412 10130 20083 49826 **56062** 60182 79582 86970 333 20120 32/// 70182 82925 84830 87359=
17220 11658 71507 10132 20096 49807 **57075** 60172 79582 84970 333 20116 32011 55000 20369 70243 81927 84235 87459 92426
17232 12/// /1213 10162 20104 39776 49807 **57083** 60052 333 20123 3/011 70220 91124
17302 11560 71333 10156 20115 39889 49941 **57060** 60342 78088 85250 333 20128 32012 50024 55/// 20142 30141 70498
17292 11558 71216 10096 20085 39121 49855 57066 60452 78199 85270 333 20074 32006 55000 **70925** 85830 87358 91035=

22 Ocak tarihinde 12 GMT'de alçak basınç merkezinin değeri güneydoğu Ege Denizi üzerinde 976hPa olarak ECMWF kartlarında analiz edilmiş, Yunanistan adalarından birinde bulunan otomatik deniz meteoroloji istasyonunda kaydedilen değerin 972hPa olduğu kaynaklardan alınmıştır (Lagouvardos ve ark., 2006).

22 Ocak 2004 12 GMT ECMWF deniz seviyesi haritası ile birlikte analiz edilen 850hPa sıcaklık haritasının aktüel haritalar ile uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Ege Denizi üzerinde kuvvetli soğuk adveksiyonlar etkili olurken, Anadolu üzerinde ise sıcak adveksiyonların oluşması nedeni ile sistem biraz daha derinleşerek Batı Anadolu'ya doğru hareket etmiş, Muğla ve İzmir'de basınç değeri 979 hPa'a kadar düşen alçak basınç merkezi oluşturmuştur. 850hPa haritasında alçak merkez yer kartında olduğu gibi Muğla ile Denizli arasındaki alanda 117 dam olarak analiz edilmiş ve bu değer 2004 yılına göre son 40 yıl içinde hiç ölçülmemiştir (Lagouvardos ve ark., 2007). Ege üzerinde soğuk hava çökmeleri yaşanırken İç ve Doğu Anadolu da kuvvetli yukarı yönlü hareketler gerçekleşmiştir. Bu durum uydu görüntülerine de yansımıştır. Ege Bölgesinde bulut tepe yüksekliği düşerken İç ve Doğu bölgelerde yüksek olduğu ve durumun bulut tepe sıcaklığına da yansıdığı uydu görüntülerinde görülmüştür.



a b

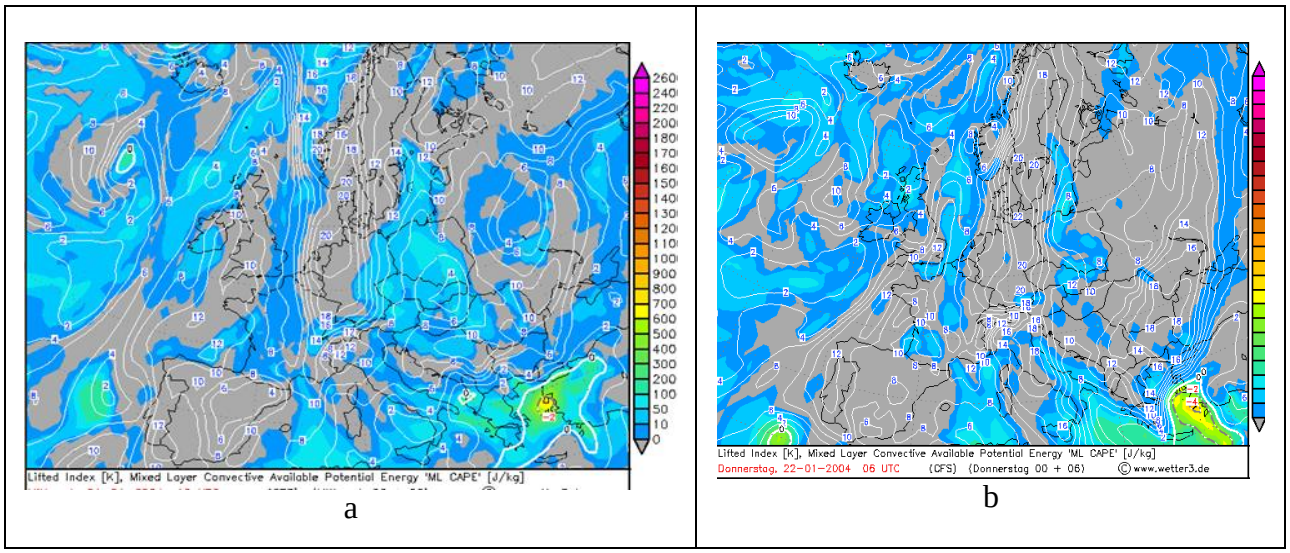
Şekil 4: a)GFS 21 Ocak 12 GMT 700hPa nem b)GFS 22 Ocak 12 GMT 700hPa nem haritası[2]

22 0cak 2004 18 GMT yer kartı analizinde alçak merkez ikiye bölünerek kuvvetli güneybatılı akışlarla kuzeydoğuya doğru hareket etmiştir. Ege ve Marmara bölgelerinde atmosferin üst seviyelerindeki soğuk hava çökerken, İç ve Doğu Anadolu'da sıcak hava etkili olmuştur.

Şekil 4'te görülen 700hPa GFS 21-22 Ocak 12 GMT nem haritalarında da Libya'nın kuzeyindeki Sidra denizi üzerinden nemli havanın kuvvetli rüzgârlarla birlikte (sıcak taşıyıcı sistemle) Ege Denizi'ne doğru hareket ettiği desteklenmektedir.

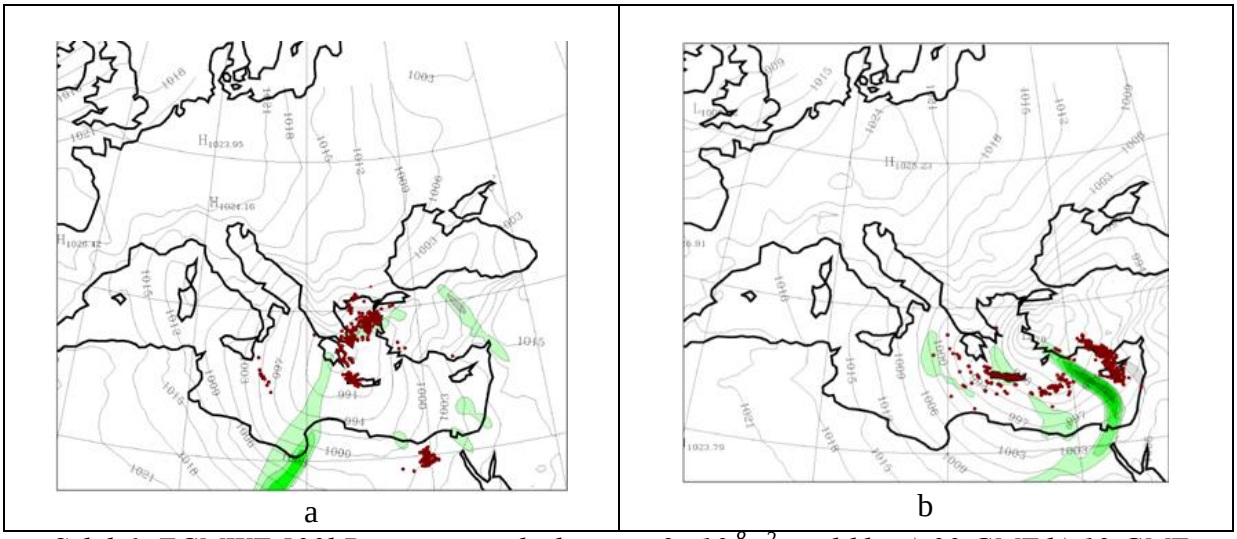
Ege ve Marmara bölgesinde kuzeyli akımlarla soğuyan hava sebebi ile Kıyı Ege dâhil tüm Ege ve Marmara'da kar sağanağı ve kuvvetli fırtına yaşanırken, iç ve doğu bölgelerde sağanak ve yağmur şeklinde yağışlar görülmüştür.

Karasızlık indekslerine bakıldığında GFS modeli [2] ile 21 Ocak 2004 12 GMT'de CAPE değeri 300-400 J/kg, K indeks (lifted) değeri -2 iken, 22 Ocak 2004 12 GMT'de CAPE değeri 800 J/kg ve K indeksi -4 olarak analiz edilmiştir. Şekil 5a ve Şekil 5b'de kararsızlık indekslerine ait model çıktıları görülmektedir.



a b

Şekil5: a) GFS 21Ocak 2004 12 GMT CAPE ve K index b) GFS 21 Ocak 2004 12 GMT CAPE ve K index haritası



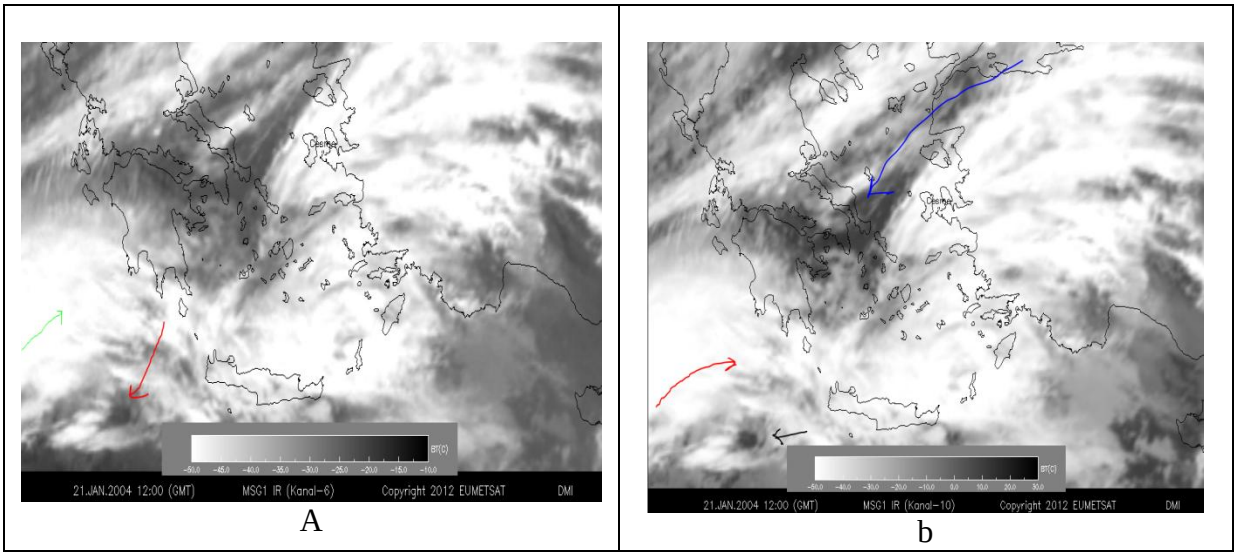
a b

Şekil 6: ECMWF 500hPa vortisiti adveksiyonu $2\times10^{-8}s^{-2}$ aralıkla a) 00 GMT b) 12 GMT

Şekil 6a ve Şekil 6b'de [3] yine önemli parametrelerden olan şimşek gözlemleri ve 500hPa vortisiti adveksiyonu model çıktıları bulunmaktadır. ECMWF analiz kartlarında 22 Ocak 2004 00 GMT ile 12 GMT arasındaki farklılıklar görülebilmektedir. 22 Ocak 2004 2004 00 GMT'de Libya üzerindeki değer $6\times10^{-8}s^{-2}$ iken, Türkiye'nin hemen güneyinde 12 GMT de $14\times10^{-8}s^{-2}$ değerine ulaşmıştır.

3 BOMBA SİKLONUNUN UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE ANALİZİ

2004 yılında gerçekleşen bomba siklonu uydu görüntüleri kullanılarak da analiz edilebilmektedir. 21 Ocak 2004 12 GMT tarihine ait MSG1 kanal 6 7.2 WV ve kanal9 IR.10.8 uydu görüntülerinde siklon gözü ve nem taşınımı başarılı bir şekilde görülebilmektedir.

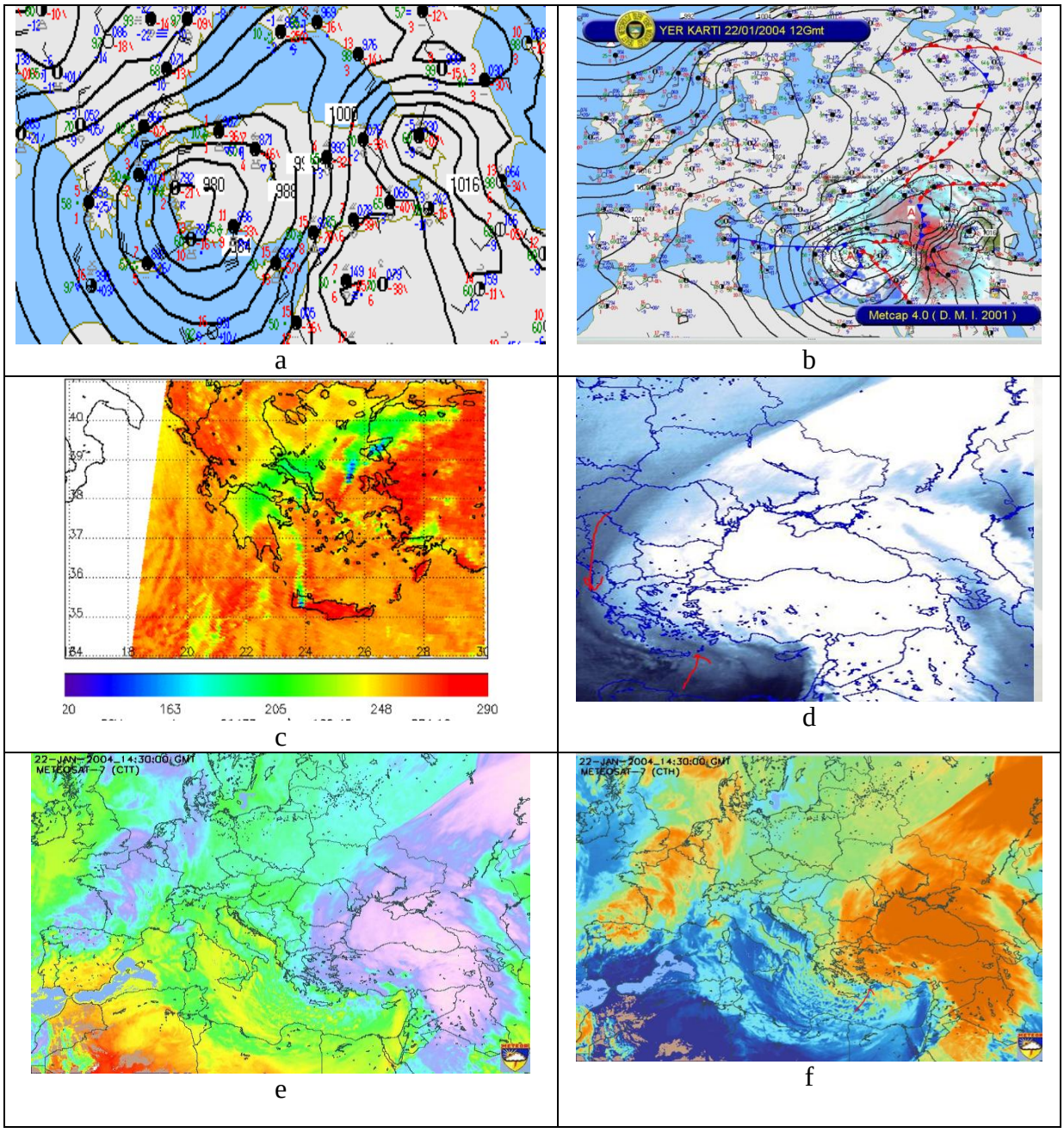


A b

Şekil 7: 21 Ocak 2004 12 GMT a)MSG1 Kanal 6 7.2 WV; b)kanal 9 IR.10.8

Şekil 7a ve Şekil7b'de görüldüğü üzere Ege Denizi üzerindeki soğuk havanın çöküşü uydu görüntülerine de yansımıştır [8], soğuk havanın Ege denizi üzerine kama gibi sokulması özellikle su buharı kanalında soğuk ve kuru havanın yapısı (dry intrusion) görülmektedir.

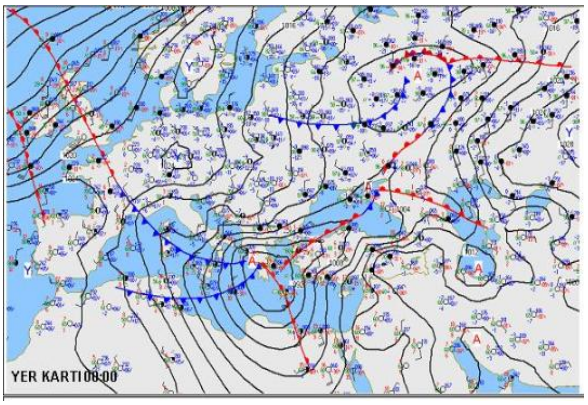
Şekil 8a, Şekil 8b, Şekil 8c, Şekil 8d, Şekil 8e ve Şekil 8f incelendiğinde 22 0cak 2004 tarihinde alçak basınç sisteminin Libya üzerinden Yunanistan'ın Mora Yarım Adası üzerine hareketi görülmektedir. Ayrıca yine Metcap programı ile oluşturulan 00 GMT yer kartı cephe analizi ile uyum içinde olduğu görülmüştür. Bomba siklonu hızlı bir şekilde 22 Ocak 2004 06 GMT'de Ege Denizi'nin ortasına hareket etmiş ve derinleşmesini sürdürmüştür. Sistem zamanla 22 Ocak 2004 12 GMT itibari ile Türkiye Doğru hareket ederek dağılma aşamasana girmiştir ve Güney Ege'de, Türkiye sınırındaki Sisam Adası yakınlarında en düşük basınç değerini aldığı görülmüştür.



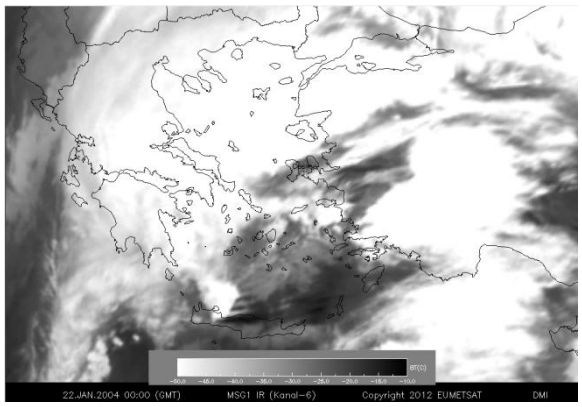
a b c d e f

Şekil 8: a)22 Ocak 12 GMT aktüel yer kartı; b)22 Ocak 12 GMT aktüel cephe analizi; c)22 Ocak 0023 GMT AMSR-AQUA 89V parlaklık sıcaklığı [3]; d)22 Ocak 14.30 GMT METEOSAT 7 WV; e) 22 Ocak 14.30 GMT METEOSAT 7 CTT; f) 22 Ocak 14.30 GMT METEOSAT 7 CTH görüntüsü

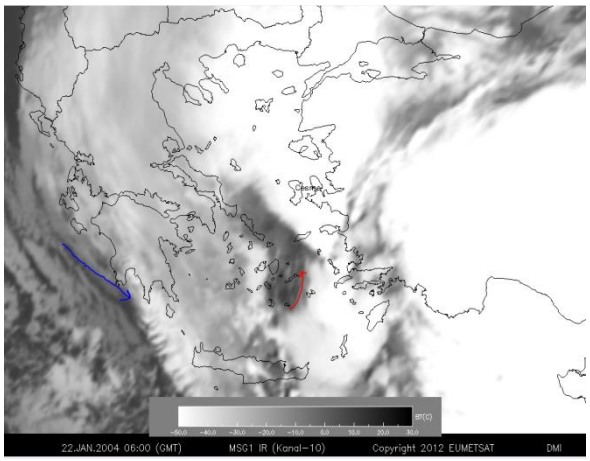
Şekil 9a'da aktüel yer kartında görülen sistem yakın saatlerde alınmış Şekil 9b, Şekil 9c ve Şekil 9d'de görülen uydu görüntüleri ile desteklenmektedir. Hızlı gelişen bomba siklonunun gelişmesi için en temel şartlardan biri olan kuru hava ihlali (dry intrusion) ile sıcak ve soğuk hava tabakalarının iç içe girmiş olduğuna dair en güvenilir işaretlerdir.



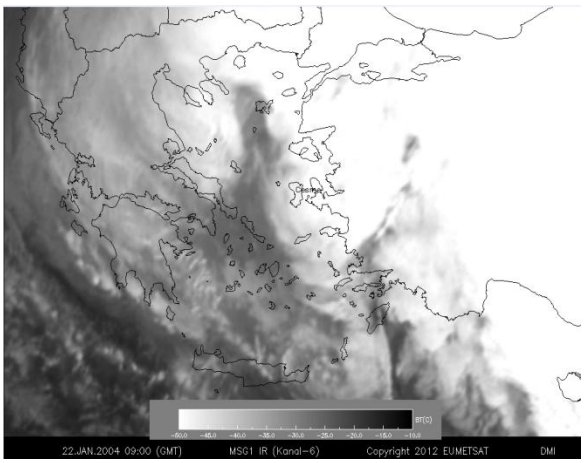
a



b



c



d

Şekil 9: a) 22 OCAK 06 GMT yer kartı; b) 22 Ocak 00 GMT MSG1 KANAL6; c) 22 Ocak 06 GMT MSG1 KANAL10; d) 22 Ocak 09 GMT MSG1 KANAL6 [8]

4 21-22 OCAK 2004 BOMBA SİKLONUNUN TÜRKİYE'YE ETKİLERİ

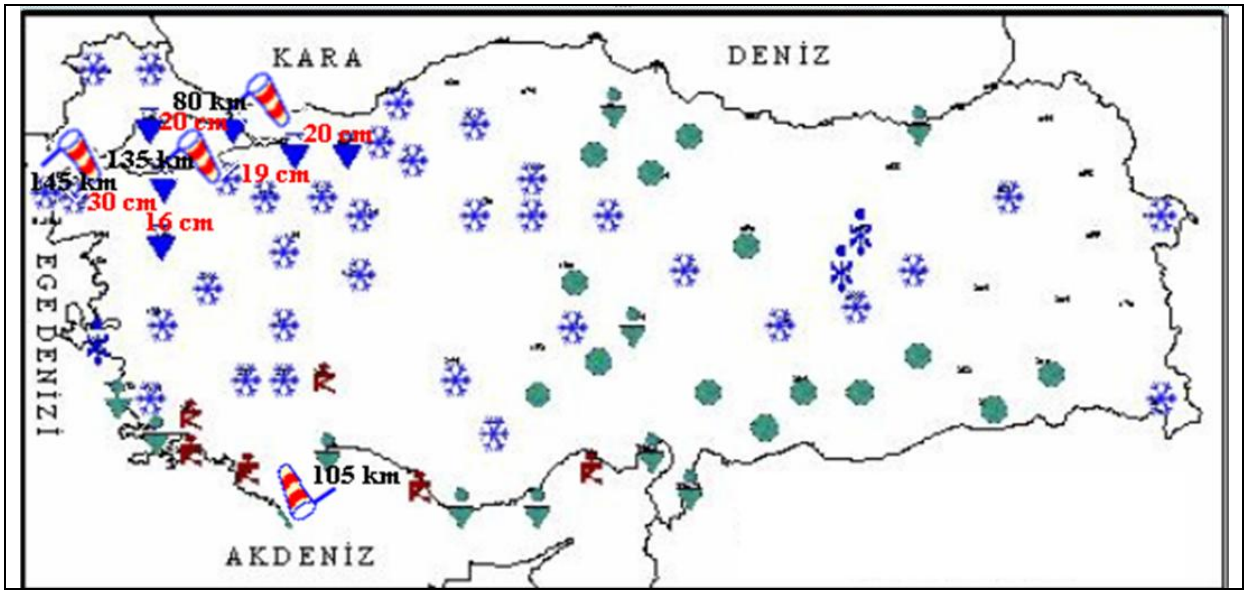
2004 bomba siklonunun Türkiye'de önemli etkileri olmuştur. Batı bölgelerimizdeki istasyonlarda çok kısa sürede kuvvetli basınç düşüşlerinin yanında, özellikle yurdun kuzeybatı bölgelerinde kuvvetli poyrazla birlikte taşınan soğuk hava ile birlikte Marmara, Kuzey Ege ve İç Ege'de kar fırtınaları yaşanırken, Güney Ege'de ve Batı Akdeniz'de kuvvetli gök gürültülü sağanak yağışlara sebep olmuştur. Deniz seviyesindeki basınç değeri Güney Ege sahilindeki istasyonlarımızda (Kuşadası) 978.2hPa'a kadar düşmüştür. 22 Ocak 2004 03Z ile 23 Ocak 2004 03Z arasındaki zamanda yapının etkisi Doğu ve İç bölgelerde hissedilmiş 17199 sinoptik kod numaralı Malatya istasyonunda 22 Ocak 2004 03 GMT'de basınç değeri 1017.5 hPa'dan 23 Ocak 03 GMT'de 995.9

hPa'a düşmüş yani 24 saatte 21.6hPa düşüş yaşanmıştır. Keza yine 24 saatte Adana'da 20hPa, Giresun'da 19.2hPa, Silifke'de 19hPa'lık kuvvetli basınç düşüşleri yaşanmıştır.

Rüzgar hızları ise Bozcaada'da 155 km/saat, İstanbul'da 100 km/saat, Bandırma'da 135 km/saat, Antalya'da 105 km/ saat olarak ölçülmüştür. İstanbul'da Boğaz Köprüsü'nün çelik halatları zarar görmüş, kuvvetli tipi ve fırtına sebebi ile yaşam durmuştur.

Kuzeybatı bölgelerde maksimum sıcaklıklarda 24 saate 15-20 °C derecelik düşüşler yaşanmıştır.

Kar ölçümlerine bakıldığında Çanakkale'de 30 cm, Tekirdağ'da 20 cm, Yalova'da 20cm, Kocaeli'de 20cm kar yüksekliği ölçülmüştür. Yine yağış değerlerine bakıldığında Güney Ege ve Batı Akdeniz'de bulunan istasyonlarda 70-100kg/m^2 arasında değişen yağışlar ölçülmüştür. Şekil 10'da bahsi geçen bomba siklonunun yaşandığı gün için hazırlanan günlük meteoroloji bülteni görülmektedir.



Şekil 10: 23 Ocak 2004 tarihli ''Günlük Meteoroloji Bülteni''

5 SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma ile bomba siklonlarının ne kadar hızlı geliştiği ve sadece açık denizlerde değil, Türkiye gibi karasal alanları da etkisi altına alabileceği görülmüştür. Bomba siklonunun gerçekleşebilmesi için ani basınç düşüşü, yüksek seviyede taşıyıcı nitelikte olan sistem (conveyor belt) ile belirli seviyelerde uygun nem ve rüzgâr bütçesi (jet stream) gibi temel şartların [9] oluşması gerekmektedir. Bu tarz hızlı gelişimli siklonların model çıktıları ve uydu görüntüleri ile önceden tahmin edilebilmesi için ise yakın mesafelerde vortisiti değerleri arasında büyük fark değerlerinin görülmesi, HRV, göürünür ve IR 6.2 su buharı kanalında soğuk havanın gelişiminin

incelenmesi ve yine uydu görüntülerinde parlaklık sıcaklığı (brightness temperature) farklılıkları ile birbirine yakın mesafedeki farklı özellikteki hava kütlelerinin gelişiminin incelenmesi faydalı olacaktır. Ayrıca sonbahar ve kış aylarında soğuk karakterli yukarı seviye trofunun soğuk havasının sıcak karakterli deniz üzerine hareket yönünün takip edilmesi bomba siklonlarının öngörüsünde anlamlı ip uçları verecektir.

KAYNAKLAR

[1] **ECMWF,** Yer seviyesi ve yukarı seviye model çıktıları, 21-22.01.2004.

[2] **GFS,** Yukarı seviye model çıktıları, 21-22.01.2004.

[3] **Lagouvardos K., Kotroni V. ve Defer, E.,** 2006: *Synoptic environment related to rapid cyclogenesis in the Eastern Mediterranean.* Adv. Geosciences 7: 115-119, 2006.

[4] **Lagouvardos K., Kotroni V. ve Defer, E.,** *The 21-22 January 2004 explosive cyclogenesis over the Aegean Sea: observations and model analysis.* Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 133, 1519-1531, 2007.

[5] **Orman ve Su İşleri Bakanlığı.** *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*, Hava Tahmin Raporları, 2004.

[6] **Orman ve Su İşleri Bakanlığı.** *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*, İstasyon rasatları, 2004.

[7] **Orman ve Su İşleri Bakanlığı.** *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*, Metcap seviye kartları, 2004.

[8] **Orman ve Su İşleri Bakanlığı.** *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*, Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü*, uydu görüntüleri,* 2004.

[9] **Sanders, F. and Gyakum, J. R.:** *Synoptic-dynamic climatology of the bomb*, Mon. Wea. Rev., 108, 1589–1606, 1980.

20 Mayıs 2015 Tarihinde İzmir'de Meydana Gelen Şiddetli Yağış ve Sel Olayının Sinoptik Analizi

Ercüment Avşar
Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteoroloji 2. Bölge Müdürlüğü
Adnan Menderes Havalimanı Meteoroloji Müdürlüğü
İzmir
eavsar@mgm.gov.tr

ÖZET

Bu çalışmada 20 Mayıs 2015 tarihinde İzmir'de meydana gelen ani ve aşırı yağışın neden olduğu sistemin meteorolojik analizi yapılmıştır. Yüksek seviye kartlarında tespit edilen Barotropik Model ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Uzaktan algılama sistemi olan meteorolojik radarlarla birçok meteorolojik parametrenin tipi, şiddeti ve miktarına ulaşılabilir ve analiz edilebilir. Radarların en yoğun olarak kullanıldığı alanların başında yağış gelmektedir. 20 Mayıs 2015 tarihinde İzmir'de meydana gelen şiddetli yağışın meteorolojik analizinde uydu ve radar sistemleri görüntülerinden faydalanılmış ve yağışa neden olan sistemin gelişimi gösterilmiştir. Çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), İzmir 2. Bölge Müdürlüğü'nün işletmesinde olan Bornova Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyon (OMGİ) verileri, uydu görüntüleri, Radar PPI(Plan Position Indicator), Radar MAX (Maximum Display) görüntüleri değerlendirilmiş ve bu analizlere ek olarak sinoptik durum, sayısal tahmin modelleri çıktıları, Skew T Log-P diyagramında bazı indeksler hesaplanarak gösterilmiş çıkarılan sonuçlar haritalanmış ve analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, meydan gelen şiddetli yağışın cephe sistemi hareketine göre geliştiği görülmüştür. Yağış günü Ege Bölgesi üzerinde Barotropik bir model oluşmuş, İzmir'de saat 12.00 UTC (Universal Coordinated Time)'de meydana gelen yağış sonucu Bornova ilçesinde bir saat içerisinde metrekareye düşen 67.7 mm yağış miktarı ile son 64 yılın Mayıs ayı rekoru kırılmıştır.

Anahtar Kelimeler — İzmir, Barotropik Model, Aşırı Yağış, Radar, Sinoptik analiz.

1. GİRİŞ

İnsanlar için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplara neden olan, normal yaşamı kesintiye uğratarak toplumları etkileyen ve yerel imkânlar ile baş edilemeyen her türlü doğal, teknolojik veya insan kaynaklı olaylara" afet denilmektedir [1]. Doğal afetler genelde atmosfer kökenli olup, sel ve taşkınlar ise en yaygın görülen meteorolojik karakterli doğal afetlerin başında gelmektedir [2]. Akdeniz iklim kuşağında bulunan Ege Bölgesi'nin büyük bir bölümü, özellikle de kıyı Ege, Nisan ayından sonra, ısınma ile birlikte havadaki nemin önemli oranda artmasına neden olmakta ve buharlaşma miktarının önemli bir şekilde arttığı görülmektedir. Küresel iklim değişikliğinin en büyük etkilerden birisi yağışlar üzerinden meydana gelip; bu durum bazı bölgelerde kuraklığa neden olurken, bazı bölgelerde ise aşırı yağışlar sonucu sel ve taşkınlar şeklinde kendini göstermektedir [3]. Isınan havanın yükselerek soğuması sonucu meydana gelen konveksiyonel yağışlar ya da siklonik-yükselim yağışlar olarak adlandırdığımız bu yağışlar halk arasında kırkikindi yağışları olarak da geçmektedir. Kırkikindi yağışları genel olarak Anadolu üzerinde yaz mevsiminde sıklıkla görülse de 20.05.2015 tarihinde İzmir' de gerçekleşen şiddetli yağış bu duruma örnek bir yağış olduğu analizlerle gösterilmiştir. Bu çalışmada ayrıca Barotropik bir modelin nasıl oluştuğu ilerleyen bölümlerde gösterilmiştir. 20.05.2015 tarihinde 1200 UTC'de meydana gelen ani ve aşırı yağış, en çok etkisini Bornova İlçesi'nde göstermiştir. MGM- İzmir 2. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından işletilen Bornova OMGİ verileri kullanılarak yerel ve ulusal basında yer alan Bornova'daki son 64 yılın yağış rekorunun istatistiksel analizleri yapılarak uzun yıllar ve saatlik yağış verileri karşılaştırılmıştır.

Literatürde İzmir bölgesi için daha önce yapılan çalışmalar; Koçman, A. "İzmir ve yakın çevresinde aylık ve yıllık yağış değişmeleri üzerine bir inceleme, 1985" [4], Ege Üniversitesi Coğrafya Bölümü "İzmir'de 3-4 Kasım 1995 Karşıyaka Felaketi (Oluşumu, Gelişimi, Etkileri ve Alınması gereken Önlemler, 1995" [5] çalışmaları yer almaktadır. Bu çalışma ile İzmir ilinde ani ve aşırı yağışa neden olan bir sistemin gelişimi uydu ve radar görüntüleri ile önceden tespit edilmesi, detaylı bir sinoptik analizinin ortaya konulması ile literatürde bu boşluğun doldurulması hedeflenmiştir.

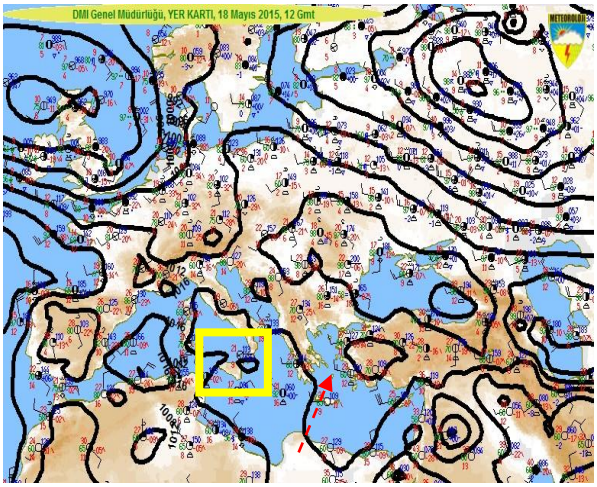
2. VERİ VE YÖNTEM

20 Mayıs 2015 ani ve aşırı yağışın Sinoptik Analizi yapılırken sistem gelişimini daha iyi görebilmek için 18, 19 ve 20 Mayıs günü uydu ve radar PPI ve MAX görüntüleri değerlendirilmiştir. Geçmiş günlere ait uydu ve radar görüntüleri MGM Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü'nün işletmesinde yer alan web sitelerinde mevcuttur [6, 7]. Sinoptik yer kartları ile beraber 500 hPa, 700 hPa ve 850 hPa yüksek seviye kartları incelenmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Sayısal Hava Tahminleri Şube Müdürlüğü'nün hazırlamış olduğu Sayısal Hava Tahmin Modelleri çıktılarından faydalanılarak denize indirgenmiş basınç haritaları, sıcaklık değerleri, bulut kapalılığı, hadise, rüzgâr yön ve şiddeti gibi parametrelerin analizi yapılmıştır. Ayrıca Skew T Log-P diyagramından çıkarılan sonuçlar ile indeks analizleri NOAA indeks sınıflamasına göre yapılmıştır.

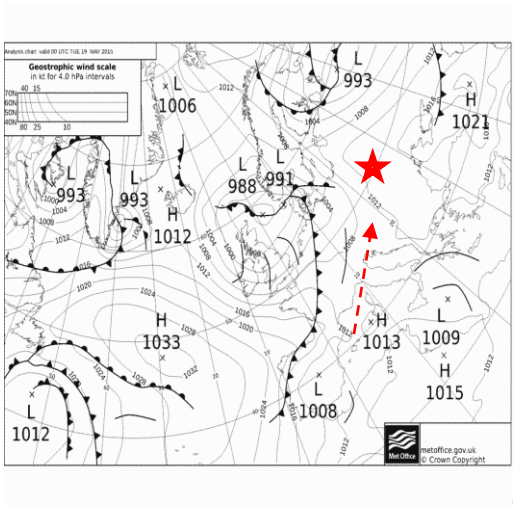
2.1. 18.05.2015 Sinoptik Analizi

2.1.1 Yer Kartı Analizi (18.05.2015 1200 UTC)

Şekil 1'de 18 Mayıs 12 UTC yer kartını incelediğimizde; Merkezi, Sicilya üzerinde bulunan 1008 hPa'lık alçak basınç merkezi (sarı kare içerisinde gösterilmiş) ve buna bağlı cephe sistemleri Şekil 2'te görülmektedir. Ege Bölgesi üzerinde ise, 1012 hPa'lık bir alçak basınç merkezinin (kırmızı ok ile gösterilmiş) varlığı görülmektedir.



Şekil 1: 18.05.2015 12 UTC'ye ait yer kartı



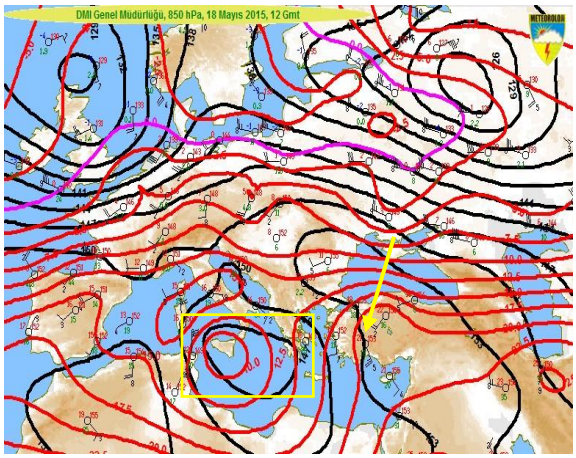
Şekil 2: 18.05.2015 00 UTC'ye ait yer kartı

2.1.2. 850 hPa 12 UTC Analizi

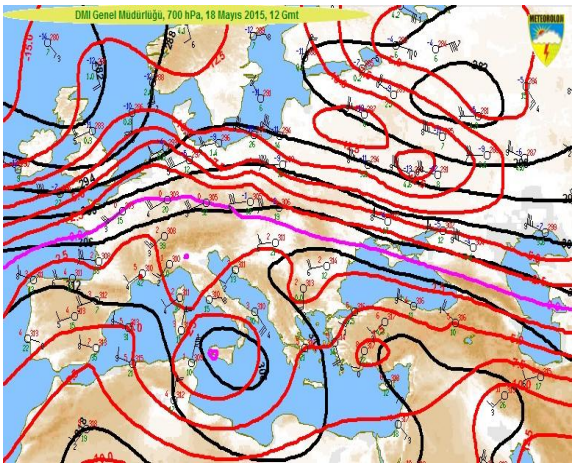
Şekil 3'te 850 hPa analizine baktığımızda Sicilya ve Yunanistan'ın güneyini kapsayacak şekilde standart seviye yüksekliği 147 dam ve merkez iç sıcaklık değeri 10°C olan bir alçak merkez görülmektedir. İzmir'de ise yüksekliği 152 dam, rüzgar değeri 170 dereceden 10 KT ve sıcaklık değeri ise 15°C olarak görülmektedir. Aynı zamanda Orta Akdeniz'de Libya üzerine akan soğuk adveksiyonlar ve yine Akdeniz üzerinden İzmir ve Atina üzerine akan sıcak adveksiyonları görmekteyiz.

2.1.3. 700 hPa 12 UTC Analizi

Şekil 4'te 700 hPa haritasında 306 dam yüksekliğe sahip merkezi Sicilya üzerinde bulunan ve merkez iç sıcaklık değeri 2,5°C olan bir alçak merkez görülmektedir. İzmir'de ise 160 dereceden esen 20 KT rüzgâr, yüksekliği 314 dam ve sıcaklığı 5°C'dir. Orta Akdeniz üzerinden Libya üzerine akan soğuk adveksiyonlar ile Akdeniz üzerinden İzmir ve Atina üzerine akan sıcak adveksiyonları görmekteyiz.



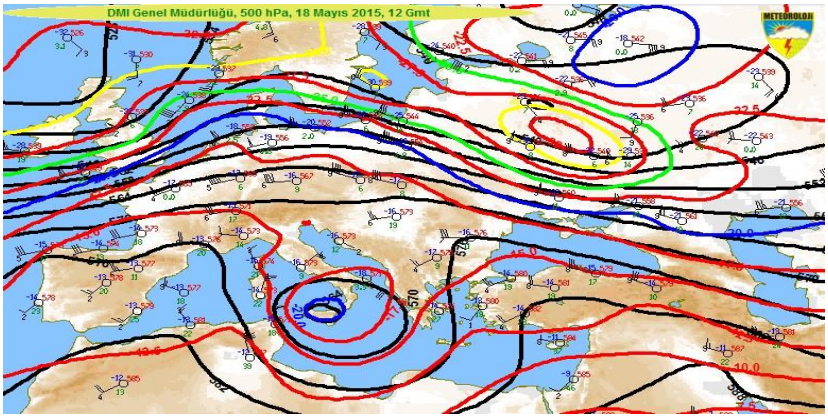
Şekil 3: 18.05.2015-850 hPa haritası



Şekil 4: 18.05.2015- 700 hPa haritası

2.1.4. 500mb 12 UTC Analizi

Şekil 5'de 500 hPa analizinde; Sicilya üzerinde yüksekliği 564 dam, merkez iç sıcaklık değeri -20°C'dir. İzmir'de ise yüksekliği 560 dam, 210 dereceden esen 10 KT şiddetinde rüzgâr ve -13 °C sıcaklık görülmektedir. Bu haritada dikkat edecek olursak, 500 hPa'da herhangi bir adveksiyon yoktur.



Şekil 5: 18.05.2015 12 UTC'ye ait 500 hPa haritası

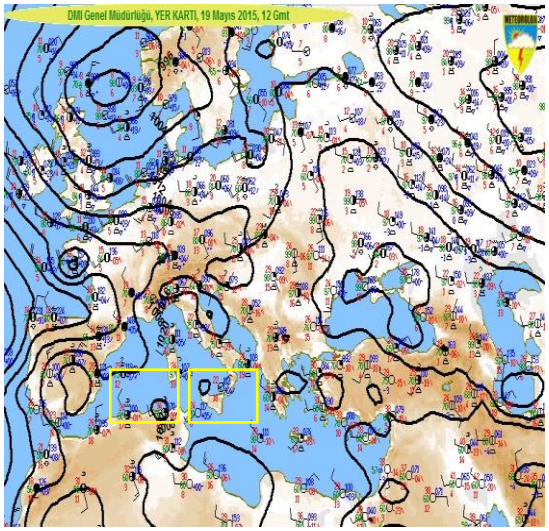
2.2. 19.05.2015 Sinoptik Analizi

2.2.1. Yer Kartı Analizi (19.05.2015 12 UTC)

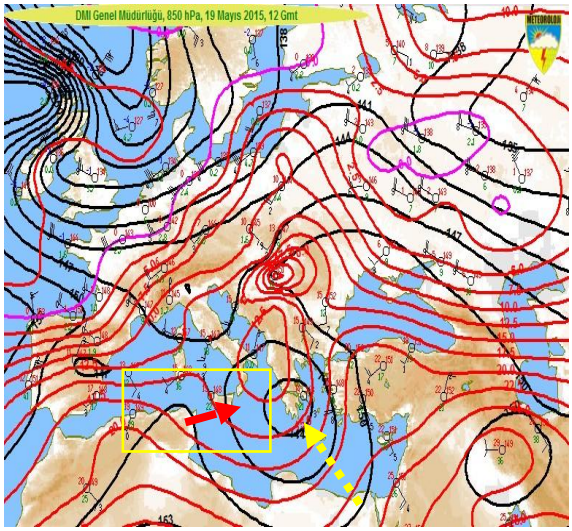
Şekil 6'da 19 Mayıs 1200 UTC yer kartında 1008 hPa'lık alçak basınç merkezi Sicilya üzerinde değerini kormuş ve ayrıca Atina üzerinde 1008 hPa değerinde alçak basınç merkezi (sarı kare içerisinde gösterilmiştir) oluşmuştur. Ege bölgesi üzerinde ise merkez değeri 1008 hPa olan bir alçak basınç merkezi görülmektedir.

2.2.2. 850 hPa 12 UTC Analizi:

Şekil 7'de 850 hPa analizine baktığımızda; yüksekliği 144 dam değerinde bir alçak merkez sistem hareket yönünde Yunanistan'ın batısı ve İtalya'nın güneyini içine alacak şekilde (sarı kare olarak gösterilmiştir) doğuya hareket etmiştir (bu hareket yönü ayrıca kırmızı ok ile gösterilmiştir). Merkez iç sıcaklık değeri 12,5°C, Sicilya ve İtalya üzerinden Libya üzerine bir soğuk adveksiyon ve Akdeniz üzerinden ise İzmir ve Isparta üzerine akan sıcak adveksiyonlar görülmektedir (sarı renkte kesikli oklarla gösterilmiştir). İzmir'de yüksekliği 148 dam, 180 dereceden esen 20 KT şiddetinde rüzgâr ve sıcaklık değeri 15°C'dir.



Şekil 6: 19.05.2015 1200 UTC yer kartı



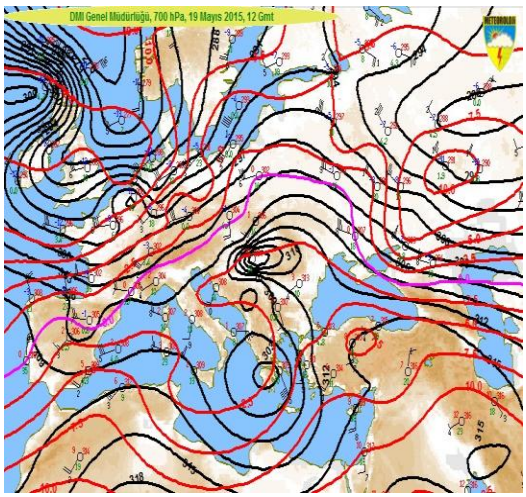
Şekil 7: 19.05.2015-850 hPa haritası

2.2.3. 700 hPa 1200 UTC Analizi:

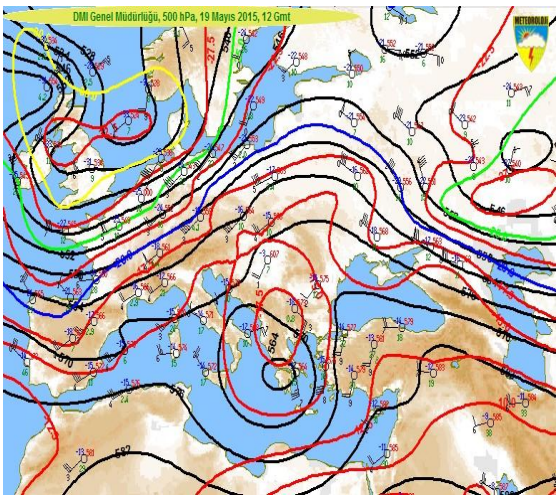
Şekil 8'de 700 hPa analizinde; Mora yarımadası üzerinde yüksekliği 303 dam ve merkez iç sıcaklık değeri 0°C olan bir sistem ve yine Sicilya ve İtalya üzerinden Libya üzerine akan soğuk adveksiyonlar ile İzmir-Isparta üzerine akan sıcak adveksiyonlar görülmektedir. İzmir'de ise yüksekliği 311 dam, 190 dereceden esen 15 KT şiddetinde rüzgar ve sıcaklığı 5°C 'dir.

2.2.4. 500 hPa 1200 UTC Analizi

Şekil 9'da 500 hPa analizi: Mora yarımadası üzerinde yüksekliği 564 dam, merkez iç sıcaklık değeri -17,5°C'ye sahip olan alçak merkez görülmektedir. İzmir'de ise yükseklik değeri 576 dam, 180 dereceden esen 40 KT şiddetinde rüzgâr ve sıcaklığı -15°C'dir.



Şekil 8: 19.05.2015 700 hPa haritası



Şekil 9: 19.05.2015 500 hPa haritası

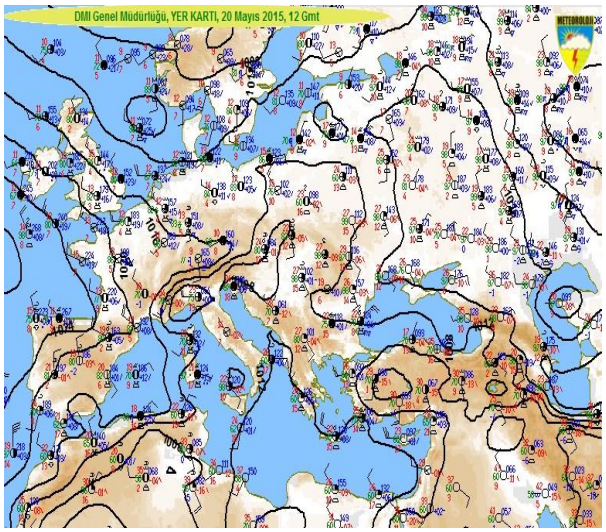
2.3. 20.05.2015 Sinoptik Analizi

2.3.1 20.05.2015 1200 UTC Yer Kartı analizi:

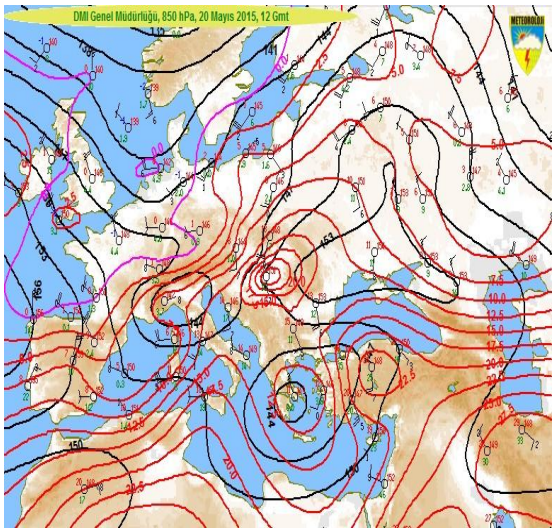
Şekil 10'da 20 Mayıs 1200 UTC yer kartı analizinde; 1012 hPa'lık bir alçak basınç merkezinin İtalya'nın güneyi ve Sicilya'nın üzerinde olduğu ve buna bağlı cephesel sistemler mevcut olduğu görülmektedir. Ege denizi üzerinde 1008 hPa' lık bir alçak basınç ve buna bağlı cephesel sistem, Anadolu üzerinde ise 1004 hPa' lık bir alçak basınç merkezi görülmektedir.

2.3.2 850 hPa 1200 UTC Analizi:

Şekil 11'de 850 hPa analizinden Ege denizi üzerindeki alçak merkezi incelediğimizde; yüksekliği 144 dam, merkez iç sıcaklık değeri 10°C'dir. İzmir'de ise yüksekliği 147 dam, 210 derecen esen 10 KT rüzgâr ve sıcaklık değeri 12°C'dir. Bu haritada dikkat edilmesi gerek husus, herhangi bir adveksiyon söz konusu değildir. Çünkü bölge üzerinde barotropik modele uygun bir durağan sistem karakteristiği mevcuttur. Bu model bir sonraki bölümde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 10: 20.05.2015 1200 UTC yer kartı



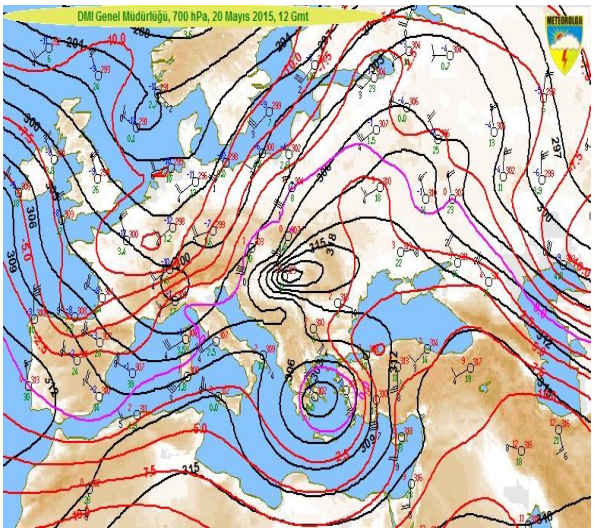
Şekil 11: 20.05.2015 850 hPa haritası

2.3.2 700 hPa 1200 UTC Analizi:

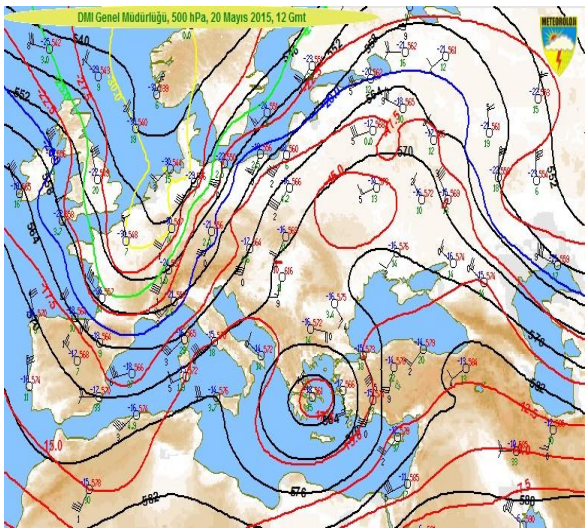
Şekil 12'de 700 hPa analizinde Ege denizi üzerinde yüksekliği 303 dam, merkez iç sıcaklık değeri 0 °C'dir. İzmir'de ise yükseklik 302 dam, 150 dereceden esen 15 KT şiddetinde rüzgâr ve sıcaklığı -2°C'dir. Yine bu haritada da 850 hPa haritasında olduğu gibi herhangi bir adveksiyon tespit edilmemiştir.

2.3.2 500 hPa 1200 UTC Analizi:

Şekil 13'te 500 hPa analizinde Ege denizi üzerinde yüksekliği 564 dam ve -17,5°C sıcaklık değerine sahip alçak merkez, İzmir'de ise yüksekliği 566 dam, 170 dereceden esen 25 KT şiddetinde rüzgâr ve sıcaklığı -17°C'dir. Yine 850 hPa ve 700 hPa haritalarında olduğu gibi adveksiyon gözlenmemiştir.



Şekil 12: 20.05.2015 700 hPa haritası



Şekil 13: 20.05.2015 500 hPa haritası

Yukarıda 18, 19 ve 20 Mayıs tarihli haritalara ait sinoptik analizleri daha iyi inceleyebilmek için Tablo-1 oluşturulmuştur. Orta Akdeniz'de doğan ve gelişen sistemin üç güne ait yer kartlarında 1008 hPa'lık alçak basınç merkezinin merkez iç değerini koruyarak 1008 hPa' da durağan kaldığını görmekteyiz. Üç güne ait 850 hPa haritalarında alçak basınç merkezinin yüksekliğinin 18 Mayıs tarihinde 147 dam değerinden 19 ve 20 Mayıs tarihlerinde 144 dam değerine düştüğü, sıcaklığın ise 10°C ile 15°C derece aralığında seyrettiği görülmüştür. 700 hPa haritası analizinde üç gün içerisinde alçak basınç merkezi yüksekliğinin 306 dam değerinden 300 dam değerine düştüğü görülürken, sıcaklığın ise 2,5°C'den 0°C'ye düştüğü görülmüştür. 500 hPa haritası analizine baktığımızda üç gün içinde alçak basınç merkezinin yüksekliğin 564 dam sabit kaldığı, sıcaklığın ise -20°C ile -17,5°C derece arasında değiştiği görülmüştür.

Tablo 1: 18,19 ve 20 Mayıs 2015 12UTC yüksek seviye haritaları parametre değerleri

850 hPa 18.05.2015	Yüksekli k	Sıcaklık		**850 hPa 19.05.2015**	Yüksekli k	Sıcaklık		**850 hPa 20.05.2015**	Yüksekli k	Sıcaklık
Orta Akdeniz	147 dam	10°C		Orta Akdeniz	144dam	12,5°C		Ege Denizi	144 dam	10°C
Ege (170/10KT)	152 dam	15°C		Ege (180/10KT)	148 dam	15°C		İzmir (210/10KT)	147dam	12°C
700 hPa 18.05.2015	Yüksekli k	Sıcaklık		**700 hPa 19.05.2015**	Yüksekli k	Sıcaklık		**700 hPa 20.05.2015**	Yüksekli k	Sıcaklık
Orta Akdeniz	306 dam	2,5°C		Orta Akdeniz	303 dam	0°C		Ege Denizi	303 dam	0°C
Ege (160/10KT)	314 dam	5°C		Ege (190/15KT)	311 dam	5°C		İzmir (150/15KT)	302 dam	-2°C
500 hPa 18.05.2015	Yüksekli k	Sıcaklık		**500 hPa 19.05.2015**	Yüksekli k	Sıcaklık		**500 hPa 20.05.2015**	Yüksekli k	Sıcaklık
Orta Akdeniz	564 dam	-20°C		Orta Akdeniz	564 dam	-17,5°C		Ege Denizi	564 dam	-17,5°C
Ege (210/10KT)	560 dam	-13°C		Ege (180/40KT)	560 dam	-15°C		İzmir (170/20 KT)	566 dam	-17,5°C

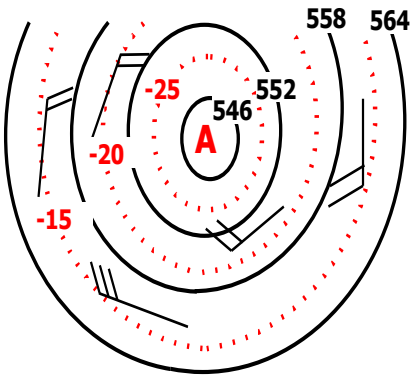
Ege Denizi ve İzmir çevresinde 18, 19 ve 20 Mayıs 2015 tarihli haritalarında üç günlük değişim incelendiğinde; 850 hPa yüksekliğinin 152 dam değerinden 147 dam değerine düştüğünü, sıcaklığın 15°C'den 12°C'ye düştüğü görülmektedir. 700 hPa haritasında yüksekliğin 314 dam değerinden 302 dam değerine düştüğü, sıcaklığın 5°C'den -2°C'ye düşerek 7°C gibi önemli bir fark oluşturduğu görülmüştür. 500 hPa haritasında ise yüksekliğin 560 dam ile 566 dam arasında değiştiği görülürken, sıcaklığın -17°C'den -13°C'ye düştüğü tespit edilmiştir. Dikkat edilirse rüzgâr bütün seviyelerde Güney ve Güney batı yönlerinden 10 KT ve üstü şiddetinde estiği görülmektedir.

Sonuç olarak 20 Mayıs tarihinde meydana gelen şiddetli yağışlar için gerekli atmosferik koşulların gerçekleştiğini görmekteyiz. Güney ve güneybatılı rüzgârlar ile İzmir ve çevresinde nem miktarı aşırı artışa geçiyor, sıcaklığın mevsim normalleri üstünde seyretmesi ile aşırı buharlaşma meydana geliyor ve sistemin bölge üzerine ulaşması ile İzmir üzerindeki şiddetli yağışa temel sebeptir.

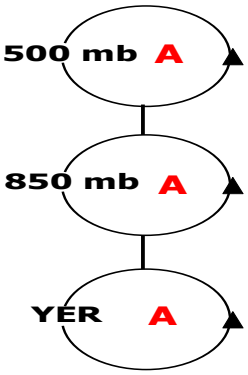
2.4. Barotropik Model

20 Mayıs gününe ait yüksek seviye haritaları analizinden ortaya çıkan bir diğer sonuç ise Şekil-14-a ve Şekil 14-b'deki kesitlerde görüleceği üzere; 850 hPa, 700 hPa ve 500 hPa haritaların üçünde de cut-offların (kopmuş derin alçak basınç) üst üste gelmiş olması ve önemli bir adveksiyon olmamasıdır. Bu durum Barotropik model olarak adlandırılır.

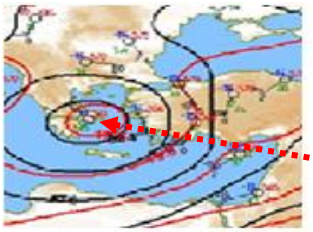
Şekil 15'de barotropik bir siklonun dikey kesiti ve şekil 16'da yatay kesiti gösterilmiştir. Siklon ve antisiklonlarda kontur ve izotermler kesişmiyorlarsa (adveksiyon yoksa) bu modellere barotropik modeller denir [8]. Özellikle Nisan, Mayıs ayları ile haziran ayının ilk yarısında yurdumuzda görülen bu tip modeller, kırkikindi olarak da bilinen kararsızlık yağışlarının oluşmasına neden olurlar.



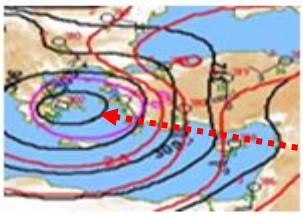
Şekil 15: Barotropik modelin yatay kesiti



Şekil 16: Barotropik bir siklonun dikey kesiti



500mb sıcaklığı -17°C

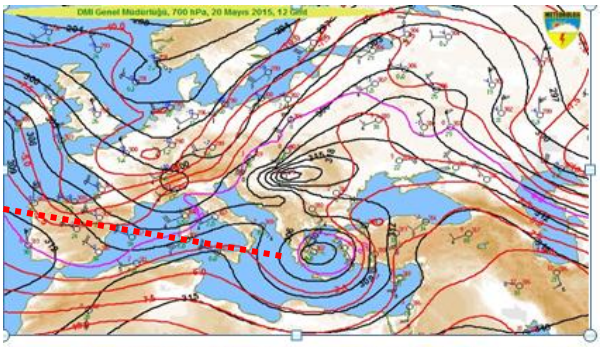


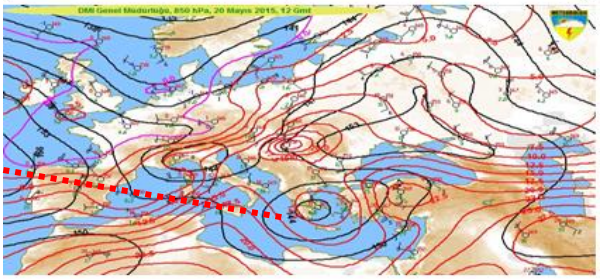
700 mb sıcaklığı -2°C

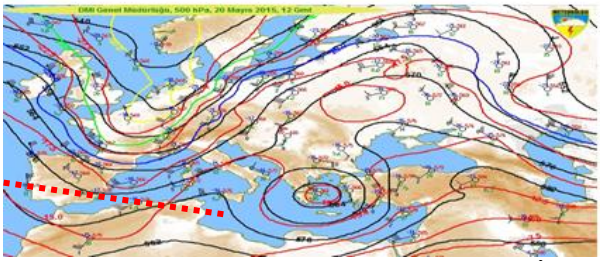


850mb sıcaklığı 12 °C

Şekil 14-a: Barotropik model oluşumu



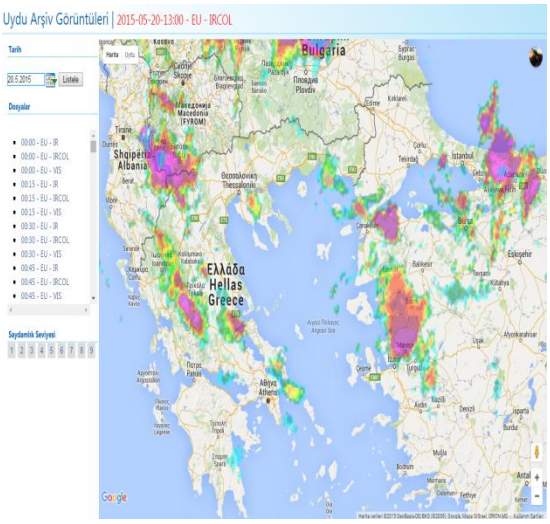




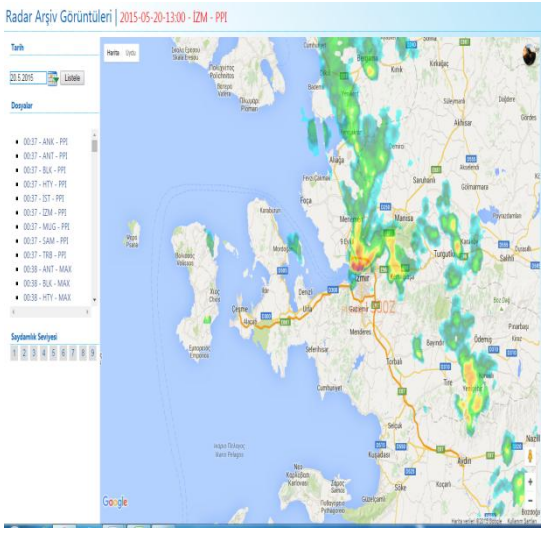
Şekil 14-b: 20.05 yüksek seviye haritaları-İzmir

2.5. Uydu ve Radar görüntülerinin incelenmesi

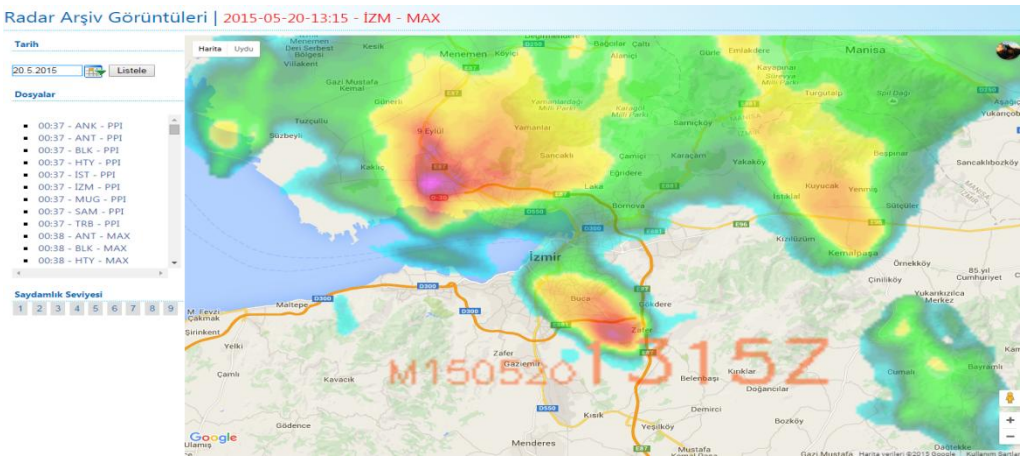
20 Mayıs tarihine ait uydu görüntüleri ve radar reflektivite değerlerinin 50 Dbz değerleri gözlenmiş ve sadece yağışın en şiddetli olduğu andaki görüntüler Şekil 17-18 ve 19'da gösterilmiştir. Yağışlı sistemin İzmir üzerini kapladığı ve sitemin güneydoğuya doğru hareket ettiği tespit edilmiştir. 20 Mayıs 1315 UTC Radar MAX görüntüsü CAPE- Elverişli Potansiyel Konvektif Enerjisi (Convective Available Potential Energy) (J/kg), değerinin en yüksek olduğu (1000 j/kg) ve yağışın en şiddetli olduğu anı göstermektedir. İzmir üzerinde Aydın ve Muğla istikametinde bir cephe geçişi olduğu fakat orajlı sistemin gittikçe zayıflaması sonucu güney bölgeleri önemli bir yağış almadığı tespit edilmiştir.



Şekil 17: 20.05.2015 1300 UTC uydu



Şekil 18: 20.05.2015 1300 UTC radar PPI

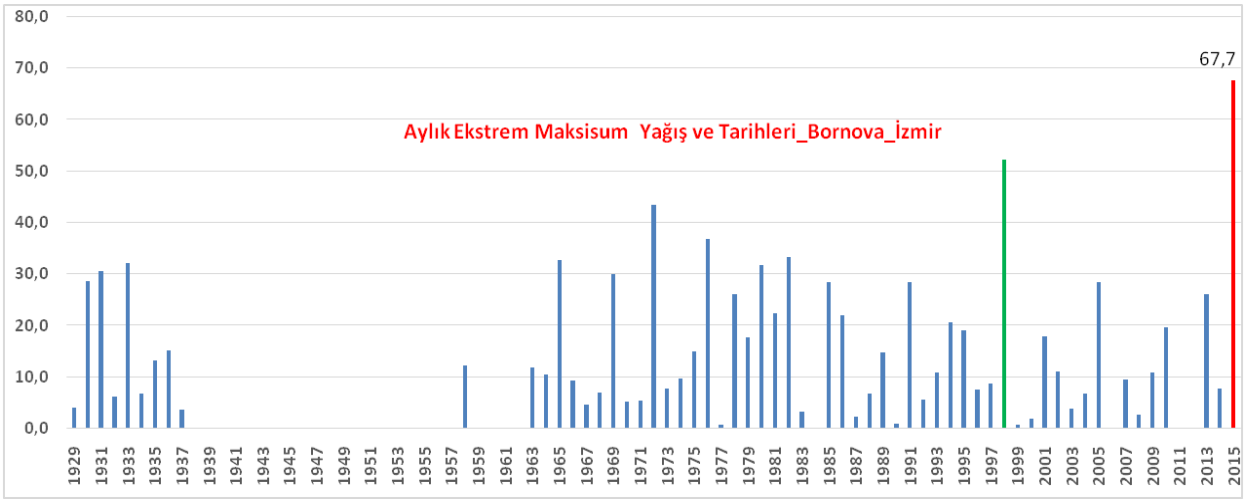


Şekil 19: 20.05.2015 1315 UTC radar MAX görüntüsü

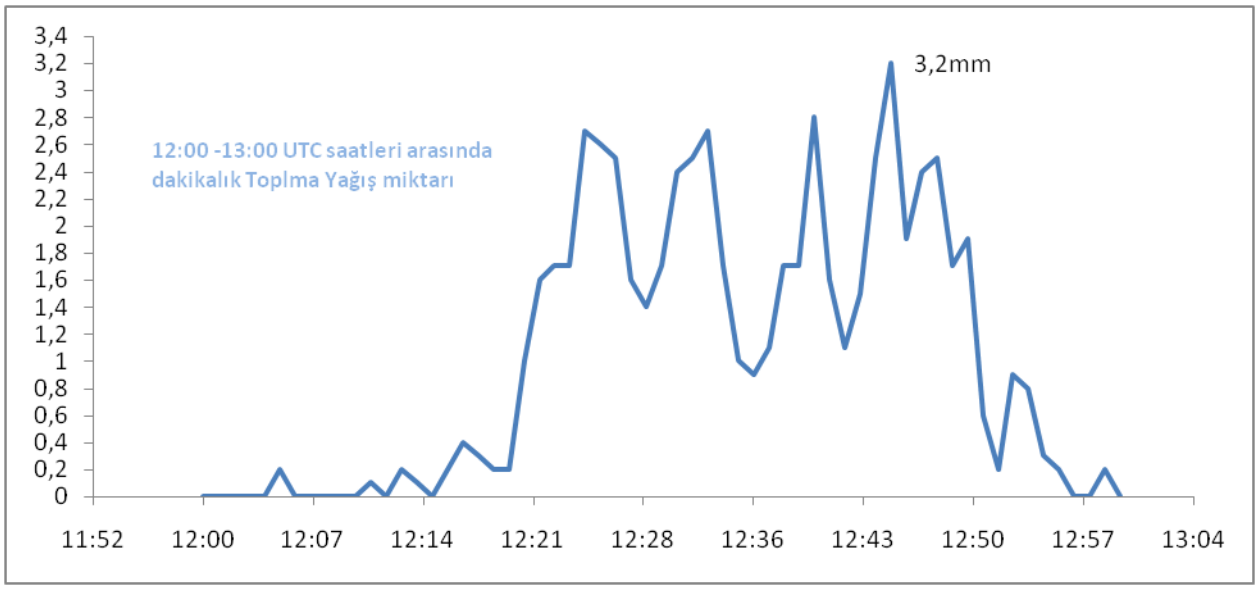
3. 20.05.2015 BORNOVA YAĞIŞI ANALİZİ

20.05.2015 tarihinde 1200 UTC'de meydan gelen ani ve aşırı yağış, en çok etkisini Bornova ilçesinden göstermiştir. İzmir Meteoroloji 2. Bölge Müdürlüğü Gözlem Şebekesinde yer alan 18031 İstasyon no'lu Bornova **Zeytincilik** OMGİ verileri ve geçmiş değerler kullanılarak 1929 tarihinden bu güne kaydedilen yağış verilerinin istatistiksel analizi gösterilmiştir. 1938 ile 1956 yılları arasında ölçüm değerlerine ulaşılamadığı için son 64 yılın Mayıs ayı yağış verileri karşılaştırılmıştır. 20.05.2015 tarihinde kaydedilen 67,7 mm toplam yağış miktarı ile bugüne kadar Bornova ilçesinde kaydedilen en yüksek yağış miktarı olmuştur.(Şekil-20). Bu yağış miktarı 1 saat içerisinde 1200 ve 1300 UTC arasında gerçekleşmiştir. Şekil-21'de 1 saat

içerisinde düşen yağışın dakikalık yağış miktarları değişimi gösterilmiştir. 1 dakikada metrekareye düşen maksimum yağış miktarı 1245 UTC'de 3,2 mm'dir.



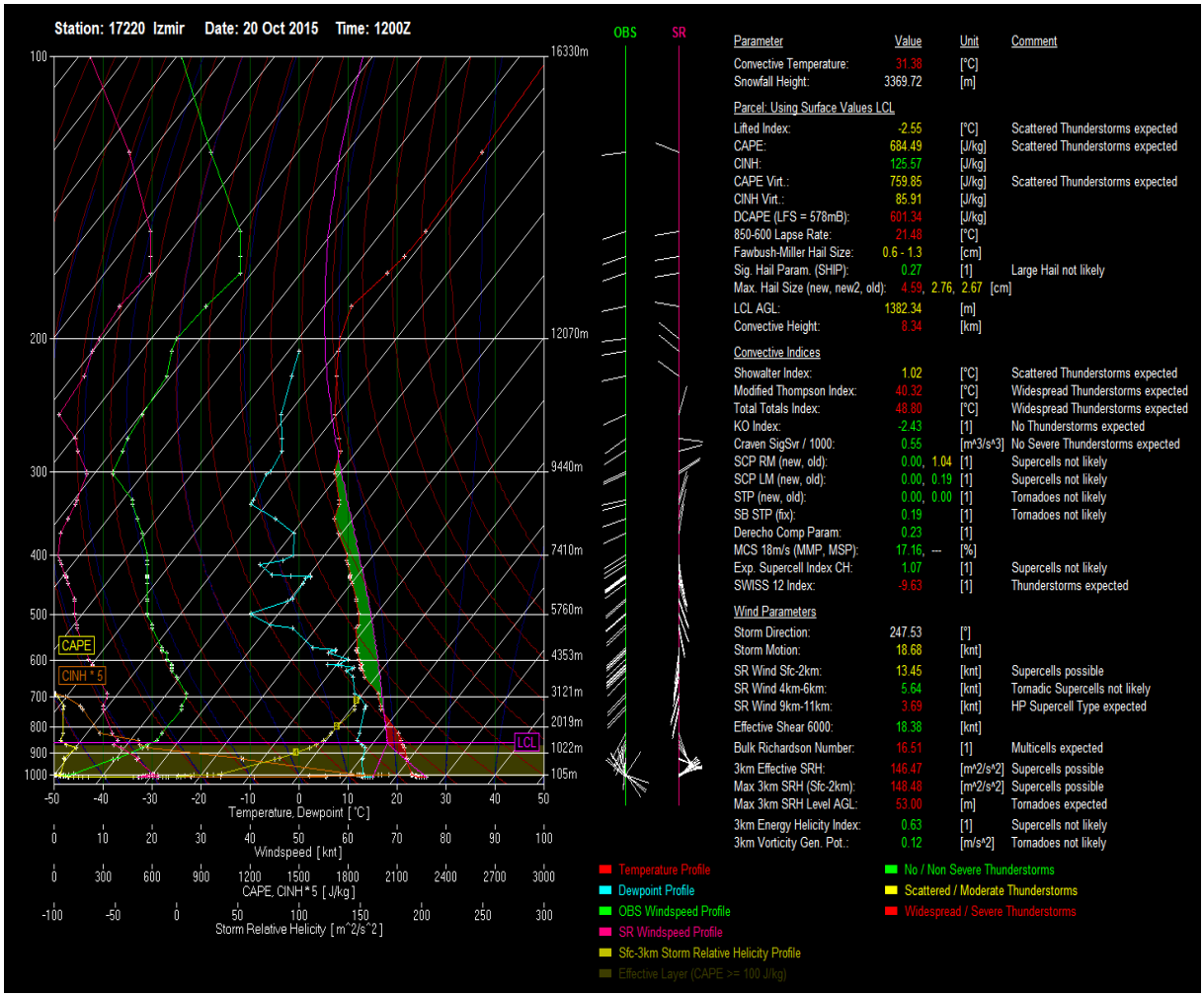
Şekil-20:Bornova ilçesine ait 1929-2015 yılları arası Aylık maksimum yağış verileri



Şekil -21:Bornova ilçesinde 1200-1300 UTC arasında dakikalık kaydedilen yağış miktarı

4. Skew T Log-P (17220-TEMP Diyagramı) ANALİZİ

17220-İzmir'e ait Skew-T Log-P diyagramı 20 Mayıs 2015 1200 UTC için değerlendirilmiştir. Skew-T diyagramında kırmızı kalın çizgi; sıcaklığın atmosfer sütunu boyunca gözlenen durumu, kalın mavi çizgi; yoğunlaşma noktasının dikey atmosfer sütunu boyunca gözlenen durumu ve kalın erguvan çizgi ise hava parselinin gezintisini göstermektedir.



Şekil – 22: 17220-İzmir'e ait Skew-T Log-P diyagramı 20.05.2015 1200 UTC

Aşağıdaki Kararsızlık indekslerinin incelenmesi NOAA İndeks Sınıflamasına göre yapılmıştır [9].

- Atmosferin kararlılık durumunu gösteren indeks-Lifted İndeks (LI) değerinin -2,55 °C olduğu görülmektedir. *(-4 < LI < -2 büyük olasılıkla oraj*). Bu sınıflamaya göre, atmosferin kararsızlık durumu olduğu ve artık havada bir gök gürültüsü oluşturma kapasitenin olduğunu görmekteyiz.
- Oraj aktivitelerini tahmin ederken en sık kullanıldığımız indekslerden Total totals indeksi, genelde yüksek korelasyona sahip bir indekstir ve sıklıkla kullanılır. Bu indeks hesabında düşey fark kullanılır. Total totals indeks değerimiz 48.80 °C olduğu görülmektedir. (*48-49 aralıklı fırtına kütleleri mevcut). 48.80*°C değerimiz aralıklı fırtına kütlelerinin varlığını göstermektedir.

- Total totals ve düşey fark kullanılarak hesaplanan Showalter indeksi incelediğimizde 1.02°C değerini görmekteyiz. *(1 < SI < 3 büyük olasılıkla yağış). Bu sınıflamaya göre önemli bir yağış aktivitesi olduğu görülmektedir.*
- Yine gök gürültülü sağanak yağışlarda kullandığımız indekslerden K İndeksi; 700 hPa'da bulunabilecek kuru hava parseli de konvektif kararsızlık gösterebiliyor. K indeks değerimiz bazı diyagramlarda Convective Temprature olarak da geçebilir, 31.38°C. (31-35→ 60-80% büyük olasılıkla gök gürültülü sağanak yağış) K indeks değerimiz %60 ihtimalle gök gürültülü sağanak yağıştan bahsedebiliriz.
- Son olarak Elverişli Potansiyel Konvektif Enerjisi CAPE (CAPE Convective Available Potential Energy) (J/kg), değeri ve yere yakın seviyelerde konvektiviteyi engelleyen CIN (C**onvective Inhibition=** Konvektif Engelleme) değeri yerin ısınması ile birlikte terselenerek CAPE bloğuna eklenmiştir. Toplamda 810 J/kg değerinde orta şiddette bir kararsızlık görmekteyiz.

5. SONUÇ

20 Mayıs 2015 tarihinde 1200 UTC'de gerçekleşen ani ve aşıra yağışa neden olan sistemin üç günlük gelişimi incelenmiştir. Adnan Menderes Havalimanı Meteoroloji İstasyonu (LTBJ) METAR (Meteorological Terminal Air Report- Havacılık Amaçlı Rutin Hava Raporu) rasatları incelendiğinde maksimum sıcaklığın 18 Mayıs'ta 32°C, 19 Mayıs'ta 31°C ve 20 Mayıs'ta 26°C olarak kaydedildiği görülmüştür. İzmir İli'nin uzun yıllar Mayıs ayı ortalaması 26°C olduğu göz önüne alındığında üç gün boyunca +6°C bir sıcaklık farkı oluştuğu görülmektedir. Ayrıca deniz üzerinden kuvvetli ısınma ile birlikte, yoğun bir buharlaşma, tüm tabakalarda güneyli rüzgâr akışı sebebi ile de İzmir ve Ege bölgesine yoğun bir nem taşınımı gözlenmektedir. Aynı zamanda 20.05.2015 günü bütün standart seviye cut-offları'nın ve merkez iç sıcaklık değerlerinin Ege Denizi ve İzmir İlini kapsayacak şekilde üst üste olduğu, adveksiyon gözlenmediği, bu da bize barotropik bir modelin gerçekleştiğini göstermektedir.

Özellikle bahar aylarının sonu ve yaz aylarında sıcak cephe aktivitesinin fazla olmadığı genellikle bölgede alınan yağışların soğuk cephe ve ısınma ile birlikte soğuk cephe karakterine konvektif hareket kazandıran ısınma etkisinin ve yağış parametrelerine pozitif yönde etki eden üç gün boyunca ekstrem ısınma ve buna bağlı olarak atmosfere nem ilavesi, yağışın bu denli etkili olmasının temel sebebidir. 01-26 Mayıs arası yer seviyesi sıcaklık anomalisine baktığımızda ülkemizde Mayıs ayı sıcaklıkları mevsim normallerinin üzerinde seyretmiştir.

Ege bölgesini etkileyen yağışlı sistemler genellikle, ilk olarak; İzlanda üzerinde oluşan maritimpolar hava kütlesi güneye doğru inerek, Kıta Avrupa üzerinde yağışını bıraktıktan sonra Cenova Körfezi üzerinden Akdeniz'e inmektedir. Burada yeniden nem kazanarak güneydoğuya doğru yönelip Orta Akdeniz üzerinden bölgemizi etkileyerek hem cephesel hem de kararsızlık yağışlarına sebep olmaktadır. İkinci olarak; Kuzey Afrika kökenli karasal tropikal hava kütlesi kuzeydoğuya doğru hareket edip Akdeniz üzerinden nem alarak bölgemize ulaşmaktadır. Bu hava kütlesi, Kuzey Afrika üzerinden kaldırmış olduğu tozu yağışla birlikte bölgemize kadar taşımaktadır. Ayrıca sıcak ve aşırı nemli bu hava kütlesi kararsız bir yapıya sahip olup bölgemizde oraj ve sağanak yağışlara sebep olmaktadır. Mart ayından sonraki periyotta yerin ısınması ile birlikte atmosferin üst bloğunun kararsız yapıya müsait sıcaklıkta olması, özellikle öğle saatlerinden sonra ve sıklıkla 1200 UTC-1500 UTC aralığında meydana gelen tek hücreli ve kararsız bir yapıya sahip orajlar için elverişli şartlar ortaya çıkarmaktadır [10]. 20 Mayıs tarihinde saat 1200 UTC'de sele neden olan yağışın gelişimine baktığımızda, tek hücreli ve kararsız bir yapıya sahip sistemin neden olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Kadıoğlu, M.** *Afetler Konusunda Kamuoyunun Bilinçlendirilmesi ve Eğitim*, İçinde, Kadıoğlu, M. ve Özdamar, E., eds., 2. baskı, "Afet Yönetiminin Temel İlkeleri" içinde; s. 67-80, JICA Türkiye Ofisi Yayınları No: 1, Ankara, 2006.

[2] **Kömüşçü, A.Ü., Ceylan, A.,** *Maksimum Şiddetli Yağış Verilerine Göre Türkiye'de Taşkın Risk Alanlarının Belirlenmesi*, V. Ulusal Hidroloji Kongresi, ODTÜ, Ankara, 2007.

[3] **Türkeş, M., Sümer U. M., Çetiner G.,** *Küresel İklim Değişikliği ve Olası Etkileri*, Çevre Bakanlığı, BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları (7-24), Ankara, 2000.

[4] **Koçman, A.** *İzmir ve yakın çevresinde aylık ve yıllık yağış değişmeleri üzerine bir inceleme*, İzmir, 1985.

[5] **Ege Üniversitesi Coğrafya Bölümü** *İzmir'de 3-4 Kasım 1995 Karşıyaka Felaketi (Oluşumu, Gelişimi, Etkileri ve Alınması gereken Önlemler)*, Ege Üniversitesi, İzmir, 1995.

[6] http://uzal2015.mgm.gov.tr/arsiv-uydu-2.aspx, MGM, Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü, Uydu Arşiv Görüntüleri, Son Kontrol: 21.10.5015.

[7] http://uzal2015.mgm.gov.tr/arsiv-radar-2.aspx, MGM, Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü,

Radar Arşiv Görüntüleri, Son Kontrol: 21.10.5015.

[8] Sinoptik Analiz Kurs Notları, MGM Yayınları, Ankara, 2005

[9] http://www.srh.noaa.gov/ffc/?n=gloss2, NOAA(National Weather Service Weather Forecast Office), Atmospheric Stability Indicies, Son Kontrol: 18.10.2015.

[10] **Avşar, E.**, *İzmir Adnan Menderes Havalimanı'nın Kümülonimbüs (Cb), Oraj ve Sis Analizi*, İTÜ 7nci Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, İTÜ, İstanbul, 2004.

Nowcasting Uygulaması; 2 Şubat 2015 Atatürk Uluslararası Havalimanı Örneği

Emrah Tuncay Özdemir
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Atatürk Havalimanı Meteoroloji Ofisi
Yeşilköy, İstanbul
etozdemir@gmail.com

Hakkı Baltacı
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
İstanbul 1. Bölge Müdürlüğü
Kartal, İstanbul
baltacihakki@gmail.com

Mert Uluyazı
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Kalaba, Ankara
etozdemir@gmail.com

Ali Deniz
İstanbul Teknik Üniversitesi
Meteoroloji Mühendisliği
Maslak, İstanbul
denizali@itu.edu.tr

ÖZET

Havalimanlarında meydana gelen gök gürültülü fırtınalar uçuşların iptal edilmesine veya divertlerin yaşanmasına neden olmaktadır. Her ne kadar günümüzde meteorolojik tahminlerin tutarlılığında artış olsa da, konvektif sistemlerin yapılarından kaynaklanan zorluklar bulunmaktadır. Tahminlerde model çıktılarının değerlendirilmesi kadar nowcasting uygulamalarından olan şimşek gözlemleri ve radar ürünlerinin kullanımı da gün geçtikçe önemini artırmaktadır. Bu çalışmada; 2 Şubat 2015 tarihinde Atatürk Uluslararası Havalimanı'nda meydana gelen gök gürültülü fırtına incelenerek, "nowcasting'in" önemi vurgulanmıştır. Çalışma kapsamında Atatürk Uluslararası Havalimanı Meteoroloji Ofisi

tarafından hazırlanan METAR (Aviation Routine Weather Report), SPECI (Aviation Selected Special Weather Report) rasatları, TAF (Terminal Aerodrome Forecast) tahminleri, sinoptik haritalar, Skew-T Log-P diyagramı, radar görüntüleri, şimşek gözlemleri ve Marmara Denizi'nde ölçülen deniz suyu sıcaklıkları değerlendirilmiştir. Havalimanı'nda devam etmekte olan hafif şiddetteki yağmur sağanağı 17:57 UTC (Universal Coordinated Time)' da hafif şiddette gök gürültülü yağmur sağanağına dönüşmüştür. Hadise 19:20 UTC'de kesilerek yeniden hafif şiddetteki yağmur sağanağına dönüşmüştür. Radar ürünlerinde Atatürk Uluslararası Havalimanı ve çevresinde gök gürültülü yağmur sağanağı hadisesini destekleyen şekilde maksimum 53,5 dBZ reflektivite değerine ulaşan radar eko şiddeti olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler — Nowcasting, Metar, Speci, Radar, Atatürk Uluslararası Havalimanı, Deniz Suyu Sıcaklığı.

1. GİRİŞ

Havalimanlarında meydana gelen gök gürültülü fırtınalar uçuşların iptal edilmesine veya divertlerin yaşanmasına neden olmaktadır. Her ne kadar günümüzde meteorolojik tahminlerin tutarlılığında artış olsa da, konvektif sistemlerin yapılarından kaynaklanan zorluklar bulunmaktadır. Tahminlerde model çıktılarının değerlendirilmesi kadar nowcasting uygulamalarından olan radar ürünlerinin kullanımı da gün geçtikçe önemini artırmaktadır. Bu çalışmada; 2 Şubat 2015 tarihinde Atatürk Uluslar arası Havalimanı (LTBA)'da meydana gelen gök gürültülü fırtına incelenerek, "nowcasting'in" önemi vurgulanmıştır.

2008 - 2012 yılları arasında LTBA için yapılan çalışmada orajların en sık görüldüğü mevsim sonbahar mevsimidir. Eylül ve Haziran ayları en fazla orajların görüldüğü aylar olurken, Şubat ve Ocak ayları en az orajın meydana geldiği aylardır. Meydana gelen orajların % 42,16' sı 17:00 UTC ile 24:00 UTC arasında, % 17,48 'i de 09:00 UTC ile 13:00 UTC arasında meydana gelmektedir [1,2]. Ulusal ve uluslararası alanda orajlarla ilgili birçok çalışma bulunmaktadır [3,4,5,6,7,8,9,10].

LTBA'da 2 Şubat 2015 günü model çıktıları ve aktüel haritalar incelenerek hazırlanan 10:40 UTC ve 16:40 UTC'de hazırlanan TAF tahminlerine göre 2 Şubat 22:00 UTC ile 03 Şubat 02:00

UTC saatleri arasında geçici süreli olarak gök gürültülü yağmur sağanağı beklenmektedir (Tablo 1).

Tablo 1: LTBA'nın 2 Şubat 2015 günü 1040 UTC ve 1640 UTC'de hazırlamış olduğu TAF'lar.

TAF LTBA 021040Z 0212/0318 20015KT 9999 SCT035 BKN100 TEMPO 0212/0216 –SHRA BKN030 BKN080 **TEMPO 0222/0302 21015G25KT 4000 –TSRA FEW020CB BKN025** TEMPO 0303/0307 21017G27KT= **TAF LTBA 021640Z** 0218/0324 22015KT 9999 SCT035 BKN100 BECMG 0218/0221 –SHRA BKN030 BKN080 **TEMPO 0222/0302 23015G25KT 4000 –TSRA FEW020CB BKN025** TEMPO 0303/0307 21017G27KT PROB30 TEMPO 0307/0310 4000 –TSRA FEW020CB BKN030=

LTBA'da 17:57 UTC'de başlayan gök gürültülü yağmur sağanağı 19:20 UTC'de sona ererek, 1 saat 23 dakika devam etmiştir. 17:53 UTC'de, 16:40 UTC'de hazırlanan TAF düzeltilerek yayınlanmıştır (Tablo 2). TAF'da gök gürültülü yağmur sağanağının geçici süreli olarak 2 Şubat 18:00 UTC ile 22:00 UTC arasında olması beklenmektedir.

Tablo 2: LTBA'nın 2 Şubat 2015 günü 17:53 UTC'de hazırlamış olduğu düzeltilmiş (AMD- amended) TAF'ı.

TAF AMD LTBA 021753Z 0218/0324 22015KT 9999 –SHRA SCT030 BKN080 **TEMPO 0218/0222 4000 –TSRA FEW020CB BKN025** PROB30 TEMPO 0222/0301 23015G25KT –TSRA FEW020CB BKN030 TEMPO 0303/0307 21017G27KT PROB40 TEMPO 0307/0310 4000 –TSRA FEW020CB BKN030=

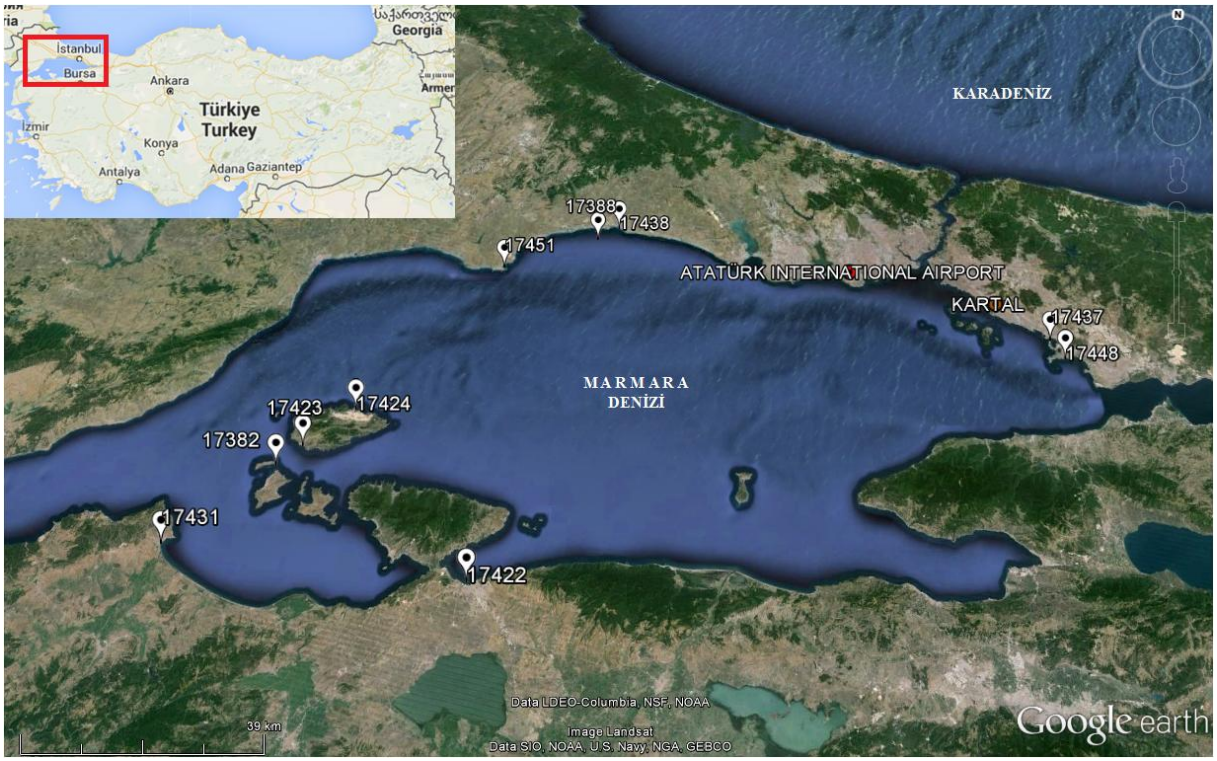
Bu çalışmanın amacı; şimşek ve radar görüntülerini kullanarak gök görültülü yağmur sağanağının LTBA'da meydana gelmesi beklenen zamandan (17:53 UTC'den) daha önce tahmin edilebilirliğinin (nowcasting) araştırmasını yapmaktır.

2. DATA VE METOD

Çalışma kapsamında Atatürk Uluslararası Havalimanı Meteoroloji Ofisi tarafından hazırlanan METAR ve SPECI rasatları, TAF, sinoptik haritalar, Skew-T Log-P diyagramı, radar görüntüleri, şimşek gözlemleri ve Marmara Denizi üzerindeki istasyonlarda Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından ölçülen deniz suyu sıcaklıkları değerlendirilmiştir.

MGM'den elde edilen İstanbul Radarı (41°20'28" N 28°21'24" E, rakım: 378 m, kule: 41 m, LTBA'ya uzaklığı ≈ 56 km, C - band Doppler Radarı)'na ait Max ürünleri de nowcasting için kullanılmıştır. Max radar görüntüleri; eko yüksekliği ve yoğunluğunu tek bir görüntü üzerinde gösterebilme özelliği olan ürünlerdir. Meteorolojik hava koşullarının şiddetli olduğu durumlarda bu alanların tespitinde kullanılmaktadır. Ayrıca MGM'den elde edilen şimşek gözlemleride değerlendirilmiştir.

Şekil 1'de LTBA, Kartal (İstanbul ravinsonde istasyonu) ve deniz suyu ölçüm istasyonlarının konumları gösterilmiştir.



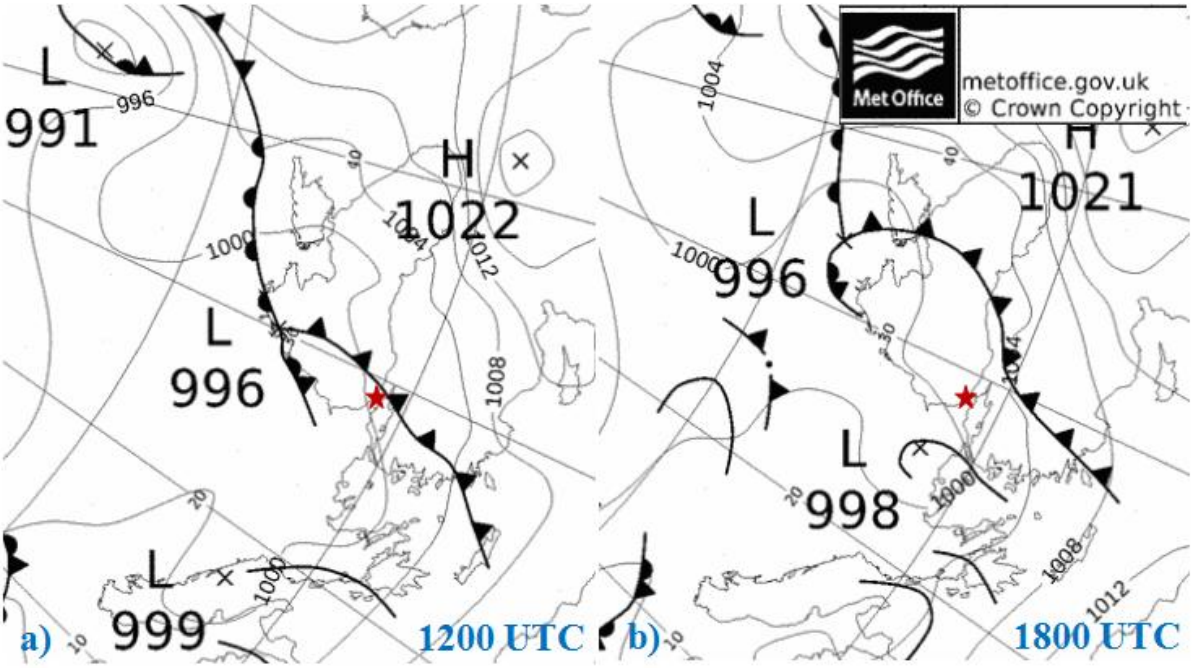
Şekil 1: LTBA, Kartal ve deniz suyu ölçüm istasyonlarının konumları (kaynak:Google Earth).

3. DATA ANALİZ

3.1. Sinoptik Durum

1 Şubat 2015 06:00 UTC'de; Adriyatik Denizi üzerinde en düşük 984 hPa değerine sahip alçak basıncın soğuk cephesi, Orta Akdeniz'den Libya üzerine uzanmaktadır. 500 hPa yüksek seviye haritasında Batı Akdeniz ve Orta Akdeniz'in batısını kapsayacak şekilde yayvan bir trof vardır.

Bu cephe sisteminin kuzeydoğuya doğru hareketi sonucunda 2 Şubat 06:00 UTC'de; yine aynı en düşük basınç değerini koruyarak Rusya'nın iç bölgelerine hareket etmiştir. Bu hareketi sonucunda bu sistemin uzantısı olarak Bulgaristan'ın Karadeniz Kıyılarına yakın bölgesi üzerinde en düşük değeri 996 hPa olan alçak basıncına bağlı soğuk cephe Trakya ve Marmara Denizi üzerinden Girit Adası'na uzanmaktadır. Bu soğuk cephe kuzeydoğuya doğru hareketini sürdürerek İstanbul üzerinden geçmiş ve Ege Bölgesi'nin doğu kesimlerine ulaşmıştır (Şekil 2a, 2b). 18:00 UTC'de Bulgaristan, Yunanistan ve Kuzey Ege'ye uzanan trof bulunmaktadır. 500 hPa yüksek seviye haritasında Orta Akdeniz üzerinde bulunan yayvan trof Türkiye'nin kuzeydoğu kesimlerine doğru hareket etmektedir.

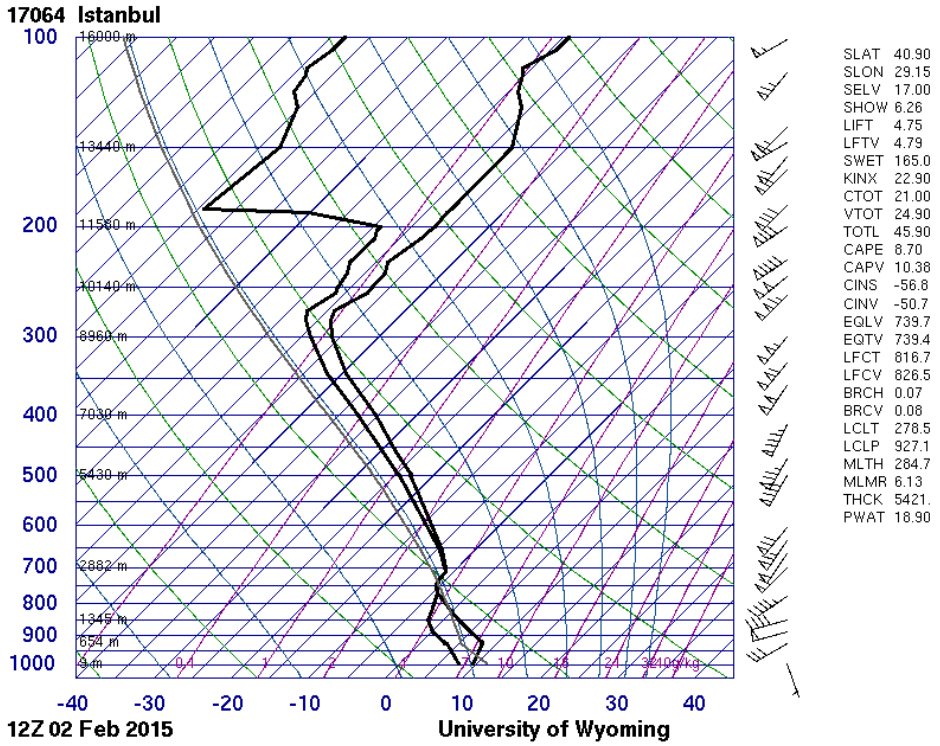


Şekil 2: *2 Şubat 2015 tarihindeki a) 12:00 UTC ve b) 18:00 UTC'deki sinoptik durum (kırmızı yıldız İstanbul'un konumunu göstermektedir) [11].*

3.2. Kartal (İstanbul Ravinsonde İstasyonu) Skew-T Log-P Diyagramı

Temp analizinde Kartal meteoroloji istasyonuna ait Skew-T Log-P diyagramı 2 Şubat 12:00 UTC için değerlendirilmiştir (Şekil 3). Temp diyagramına göre bazı kararsızlık indexlerine bakıldığında; Showalter İndex'e göre: 6.26 (SI > 3 ise önemli bir aktivite yok); Lifted İndex:

4.75 (LI > 2 ise önemli bir aktivite yok); K İndex: 22.90 (21 ≤ KI ≤ 25; %20 - % 40 oraj olasılığı); Totals Totals İndex: 45.90 (46 ≤ TTI ≤ 47, parçalı hafif/orta oraj); Convective Available Potential Energy: 8.70 (CAPE < 1000, zayıf kararsızlık) değerlerini almaktadır [12]. 825 hPa (1585 m) ile 415 hPa (6769 m) arasındaki tabakada nisbi nem % 81 ve üzerindedir.



Şekil 3: 2 Şubat 2015 12:00 UTC İstanbul Skew-T Log-P diyagramı [13].

3.3. Metar ve Speci

LTBA'da 2 Şubat 2015 04:20 UTC'de başlayan hafif şiddetli yağmur sağanağı zaman zaman orta şiddetliye dönüşerek aralıklı olarak gün boyu devam etmiştir. 17:57 UTC'de başlayan gök gürültülü yağmur sağanağı 19:20 UTC'de sona ererek, 1 saat 23 dakika devam etmiştir (Tablo 3).

Tablo 3: LTBA'nın 2 Şubat 2015 günü hazırlamış olduğu Metar ve Speci rasatları (14:50 UTC ile 20:50 UTC arası).

Zaman (UTC)	Rüzgar Yönü (derece)	Rüzgar Şiddeti (knots)	Hadise	Hakim Rüyet (metre)	Bulutluluk	Sıcaklık & Çiy Noktası Sıc.	Basınç (hPa)
1450	180	8	-SHRA	10.000	SCT030 BKN080	11/08	1000
1520	190	10	-SHRA	10.000	SCT030 BKN080	11/08	1000
1550	180	11	-	10.000	SCT030 BKN080	11/08	1000
1620	190	10	-	10.000	SCT030 BKN080	11/07	1001
1650	180	10	-	10.000	SCT030 BKN080	11/08	1001
1715	170	12	-SHRA	10.000	SCT030 BKN080	11/08	1000
1720	170	14	-SHRA	10.000	SCT030 BKN080	10/08	1001
1750	190	10	-SHRA	10.000	FEW020CB BKN030 BKN080	11/07	1001
1757	**200**	**8**	**-TSRA**	**8.000**	**FEW020CB BKN025**	**11/07**	**1001**
1820	**200 180V240**	**11**	**-TSRA**	**8.000**	**FEW020CB BKN025**	**10/07**	**1001**
1850	**220 190V270**	**10**	**-TSRA**	**4.000**	**FEW020CB BKN030**	**10/07**	**1002**
1920	280 220V340	4	-SHRA	8.000	FEW020CB BKN030	09/07	1002
1950	150 100V200	3	-SHRA	8.000	FEW020CB BKN030	09/07	1002
2020	140 030V180	3	-SHRA	8.000	FEW020CB BKN035	09/07	1002
2050	150 100V180	6	-SHRA	7.000	FEW017CB BKN030	09/07	1002

(-: hafif şiddette; SHRA: yağmur sağanağı; TSRA: gök gürültülü yağmur sağanağı; FEW: 1/8 - 2/8 bulut kapalılığı; SCT: 3/8 - 4/8 bulut kapalılığı; BKN: 5/8 - 6/8 - 7/8 bulut kapalılığı; CB: kümülonimbüs bulutu)

3.4. Marmara Denizi Deniz Suyu Sıcaklıkları

MGM'den elde edilen Marmara Denizi'nde bulunan deniz suyu ölçüm istasyonlarının dakikalık verilerinin saatlik ortalamaları Tablo 4'te gösterilmiştir. Tablo 4'te sarı kutular deniz suyu sıcaklığındaki artışın başlamasını ve devam etmesini, kırmızı kutular da bu artışın maksimum olduğu sıcaklığı göstermektedir. 10:00 UTC ile 15:00 UTC arasındaki deniz suyu sıcaklıklarına bakıldığında; 17424 No'lu istasyonda 0.30°C (gün içi max. değer 10.63°C, saat:14:00 UTC'de) ve 17423 No'lu istasyonda 0.24°C (gün içi max. değer 10.05°C, saat:140:0 UTC'de) deniz suyunda artış meydana gelmiştir.

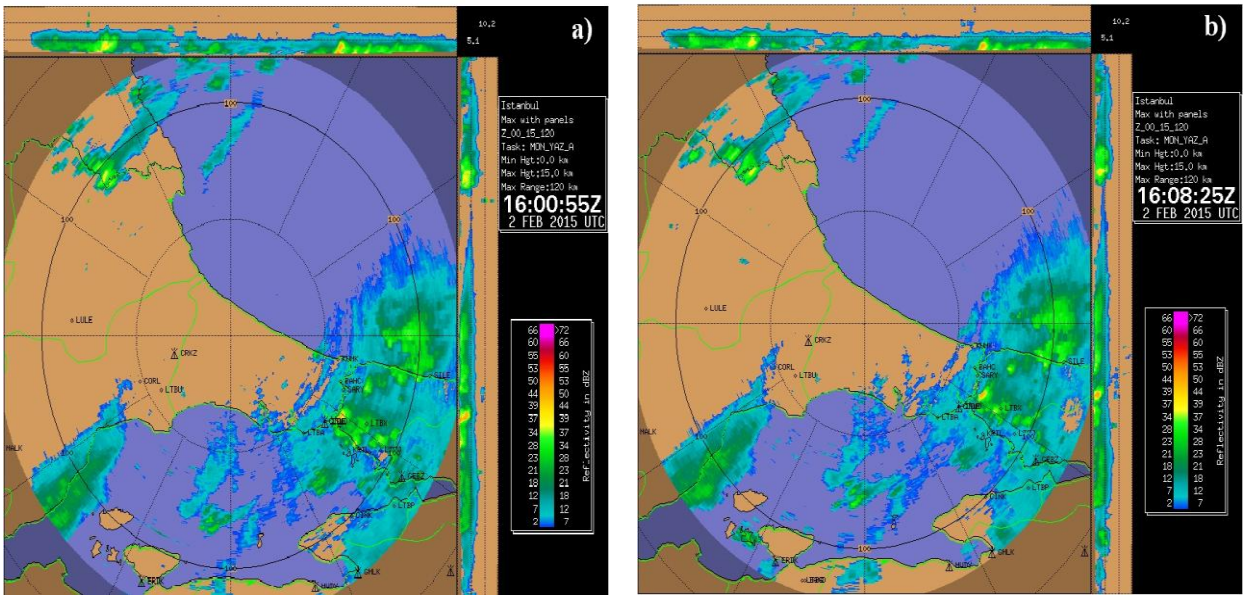
Tablo 4: 2 Şubat 2015 gününe ait Marmara Denizi deniz suyu sıcaklıkları (°C).

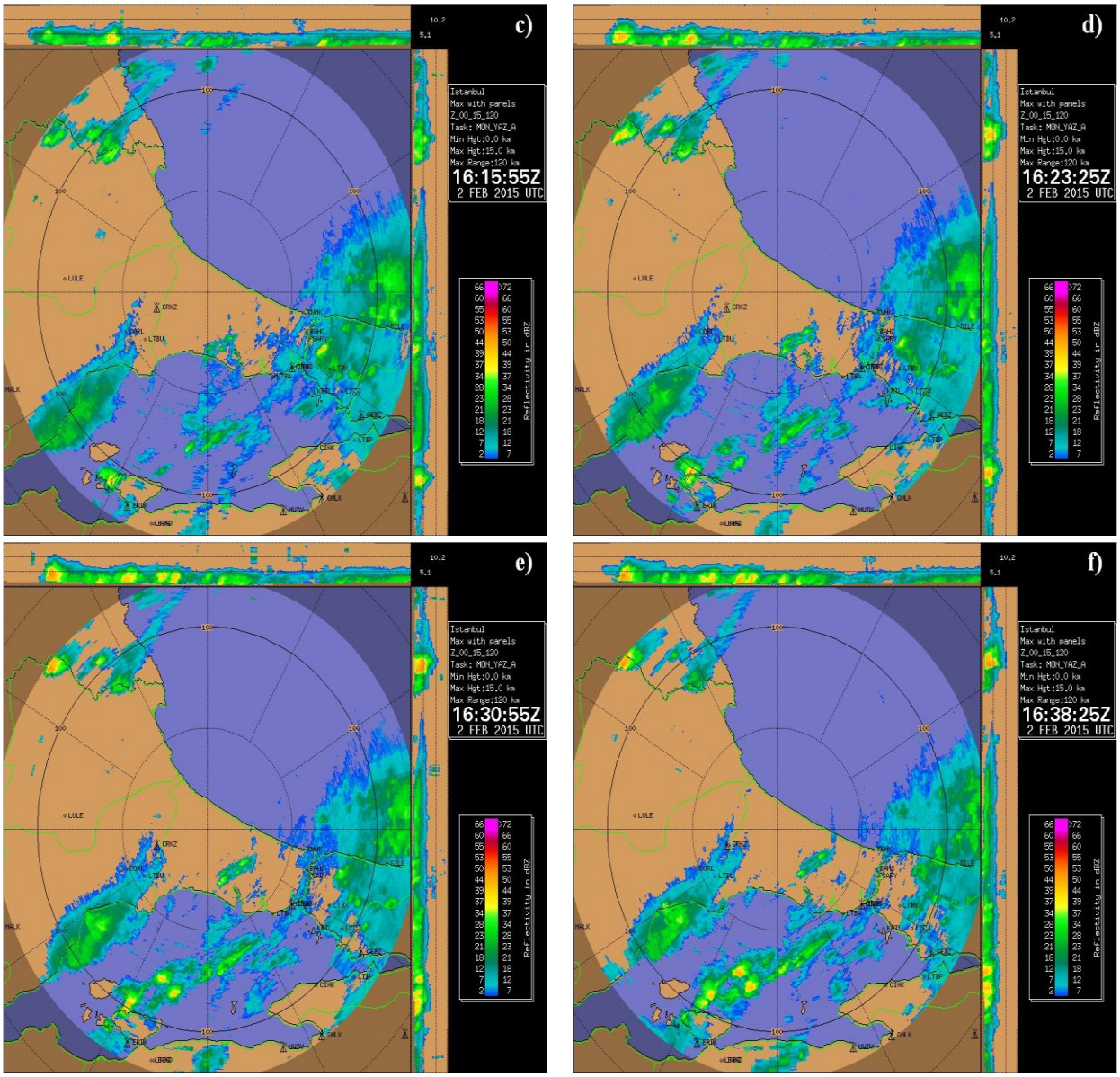
İst. No & Zaman (UTC)	17382	17388	17422	17423	17424	17431	17437	17438	17448	17451
0100	9.99	9.54	**10.58**	9.64	9.53	11.20	9.28	8.14	9.72	8.38
0200	9.90	9.60	**10.59**	**9.73**	9.45	11.19	**9.30**	8.10	9.70	8.37
0300	9.83	9.60	10.43	**9.74**	9.40	11.11	**9.31**	8.10	9.70	**8.38**
0400	**9.90**	9.60	9.85	**9.81**	**9.73**	11.07	9.30	8.09	**9.77**	8.36
0500	9.85	9.60	9.80	**9.85**	**10.24**	**11.09**	9.30	8.08	**9.79**	8.33
0600	9.50	9.60	**9.82**	**9.90**	**10.40**	**10.92**	9.30	8.06	**9.80**	8.31
0700	9.50	9.60	9.78	**9.90**	**10.52**	10.53	9.30	8.01	9.78	8.29
0800	9.47	9.60	9.41	**9.90**	**10.61**	10.34	9.30	8.00	9.78	8.29
0900	**9.57**	9.60	9.20	9.82	10.53	**10.47**	9.25	**8.07**	**9.80**	8.29
1000	**9.60**	**9.68**	9.12	9.79	10.21	**10.55**	9.25	8.03	9.79	8.28
1100	**9.62**	**9.70**	8.96	**9.81**	**10.39**	**10.59**	9.29	7.96	**9.79**	**8.37**
1200	**9.68**	**9.71**	8.94	**9.93**	**10.40**	**10.66**	**9.28**	**7.99**	**9.80**	**8.37**
1300	**9.81**	**9.77**	**9.02**	**10.03**	**10.60**	**10.69**	**9.30**	**7.99**	**9.80**	8.32
1400	**9.94**	**9.79**	8.96	**10.05**	**10.63**	**10.70**	**9.30**	**8.00**	9.79	**8.35**
1500	**9.98**	**9.79**	8.90	9.93	10.60	10.58	**9.31**	7.95	9.77	8.22
1600	9.88	9.71	8.90	9.92	10.40	10.49	9.29	7.90	**9.79**	8.09
1700	**9.90**	9.70	8.90	9.86	10.31	**10.57**	**9.31**	7.90	**9.80**	8.06
1800	**9.99**	9.70	8.90	9.84	**10.39**	**10.65**	9.30	7.90	9.74	**8.08**
1900	9.98	9.70	8.83	9.81	**10.45**	**10.73**	9.30	7.90	**9.76**	8.05
2000	9.86	9.70	8.82	9.80	**10.50**	10.69	**9.31**	**7.98**	**9.70**	**8.11**
2100	9.83	9.70	8.82	9.79	**10.52**	**10.72**	9.30	7.94	**9.70**	**8.19**
2200	9.80	9.68	**8.91**	**9.80**	10.49	10.71	9.28	7.96	**9.70**	**8.22**
2300	9.67	9.60	8.90	**9.80**	10.45	10.56	**9.29**	7.90	**9.71**	**8.28**
0000	9.53	9.60	8.90	9.78	10.39	10.27	**9.30**	7.90	9.70	8.19

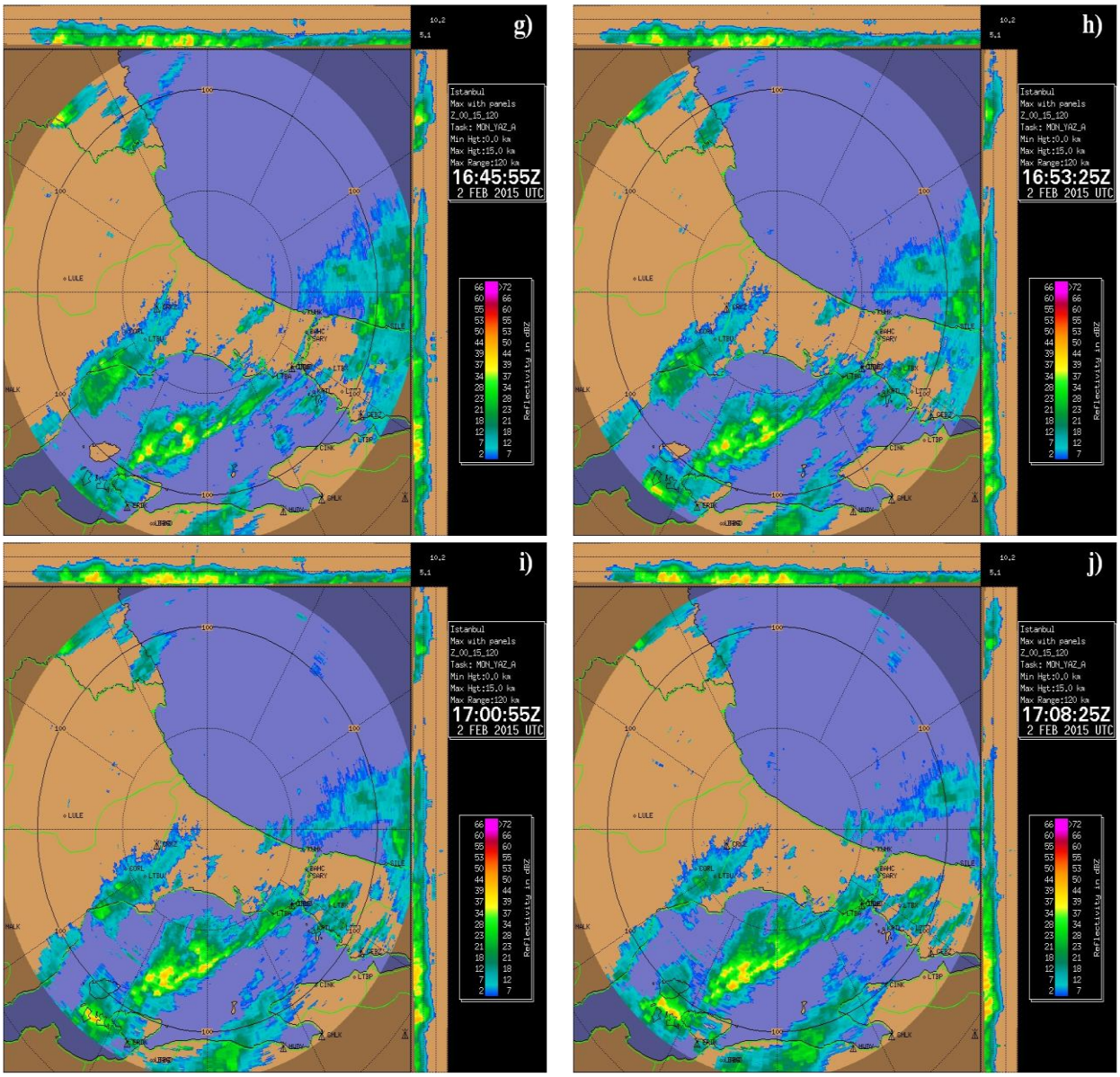
3.5. Nowcasting

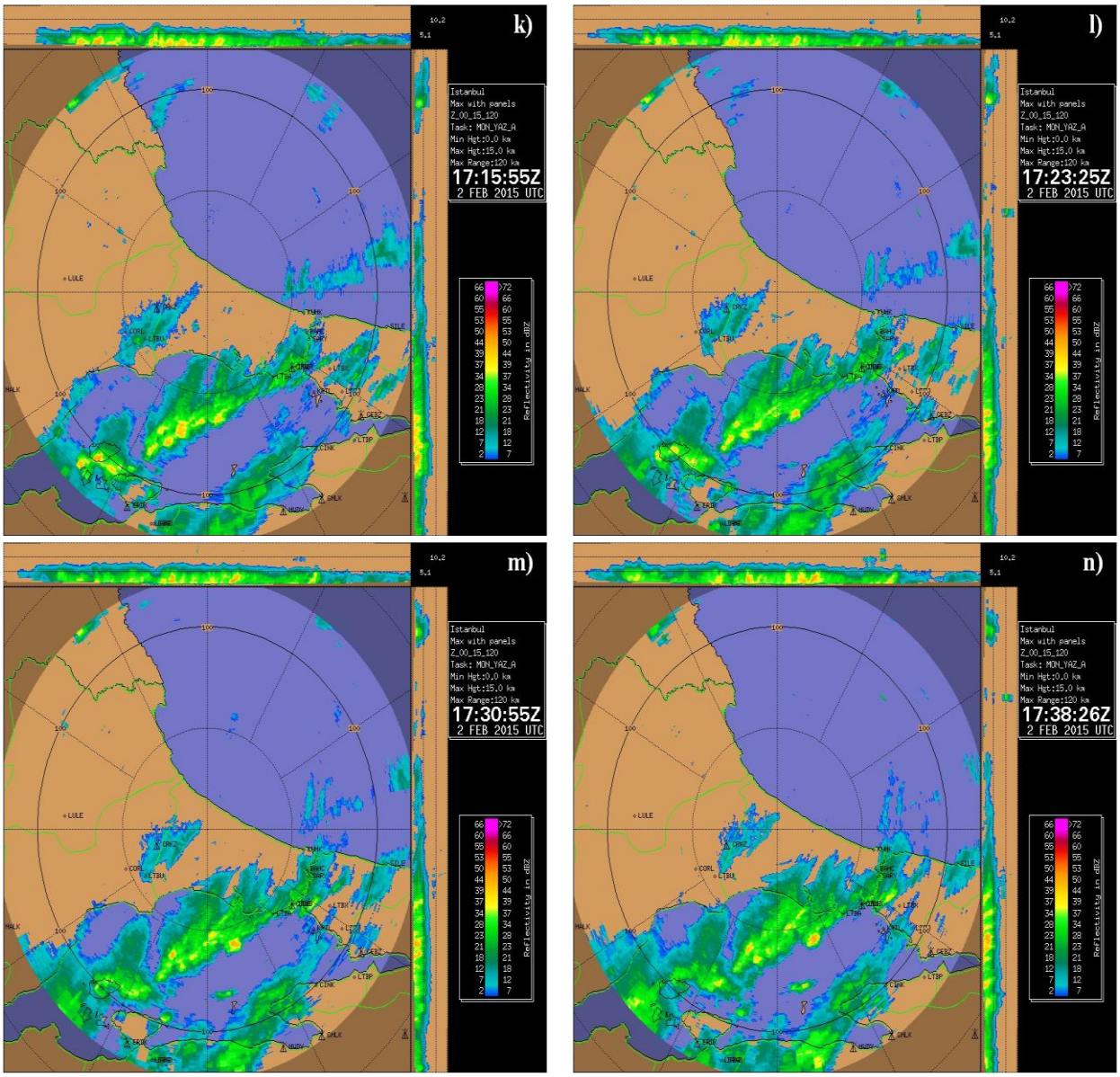
3.5.1. Radar Görüntüleri

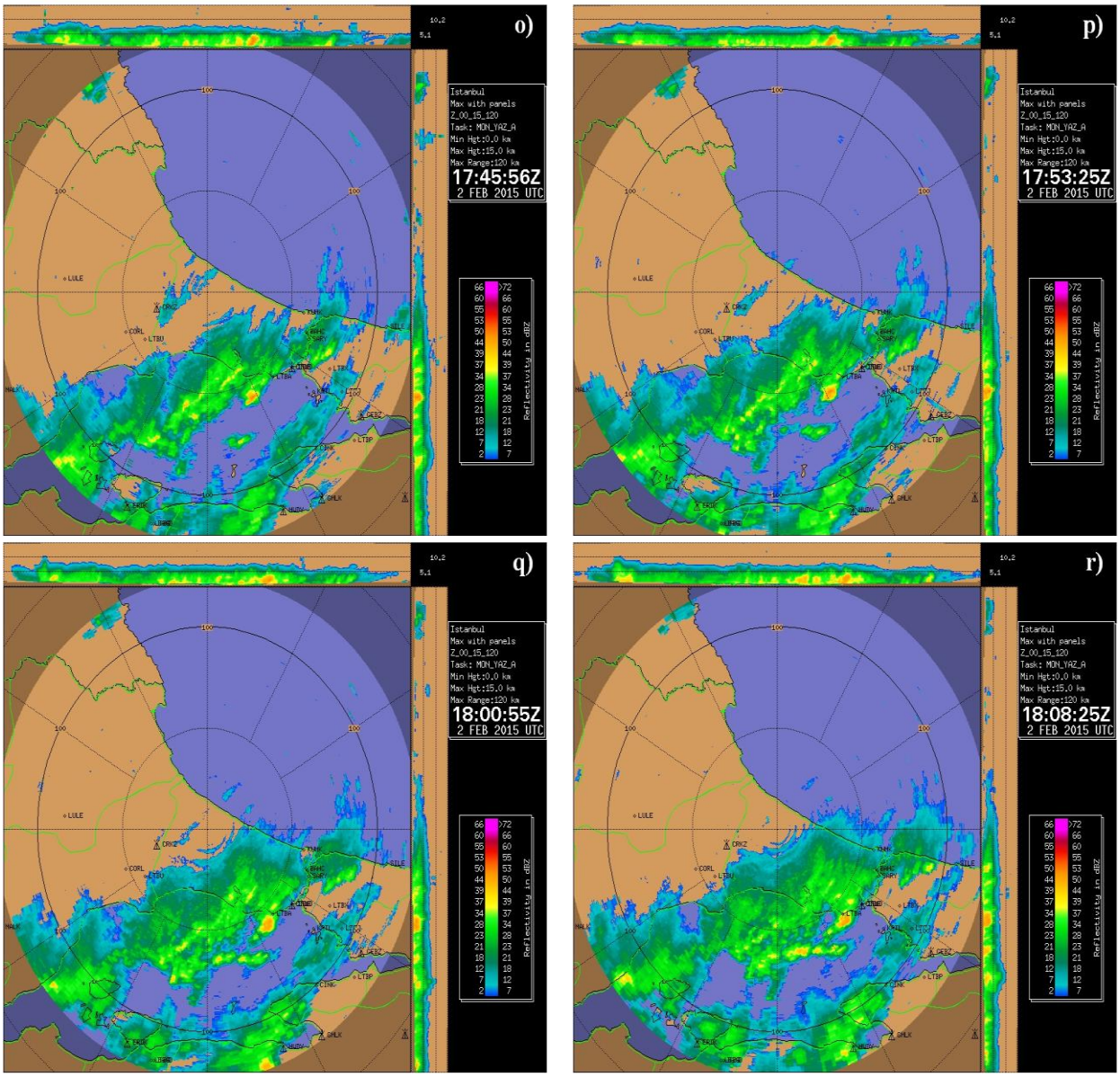
MGM'den elde edilen 2 Şubat 2015 tarihine ait 16:00 UTC ile 19:23 UTC arasındaki İstanbul Radarı'nın Max görüntüleri Şekil 4'de gösterilmiştir. 16:00 UTC'de İstanbul'un Anadolu yakasının güneybatı kesiminde oraj hücresi görülmektedir (Şekil 4a). Marmara Denizi üzerinde ve LTBA'da herhangi bir konvektif aktivite bulunmamaktadır. 16:08 UTC'de Paşalimanı Adası üzerinde oluşan bulutluluk (Şekil 4b) kuzey doğuya doğru hareket etmiş ve konvektif olarak gelişerek dikey yüksekliği yaklaşık olarak 10 km'ye kadar ulaşmıştır (Şekil 4c). 16:30 UTC'de Kapıdağ Yarımadası'nın kuzeydoğusunda Marmara Denizi üzerinde iki oraj hücresi daha meydana gelmiştir (Şekil 4e). 17.00 UTC'de Marmara Denizi'nin orta ve güneybatı kesimlerinde geniş alana yayılmış oraj hücreleri görülmektedir (Şekil 4i). 17:30 UTC'de Marmara Denizi ortasında geniş alana yayılmış olan oraj hücresi soğuk cephe sisteminin hareketine paralel olarak kuzeydoğuya doğru hareket etmektedir (Şekil 4m). 18:00 UTC'de oraj hücresi LTBA'ya iyice yaklaşmıştır (Şekil 4q). 18:08 UTC'de oraj hücresinin kuzey kesimleri LTBA üzerindedir (Şekil 4r).

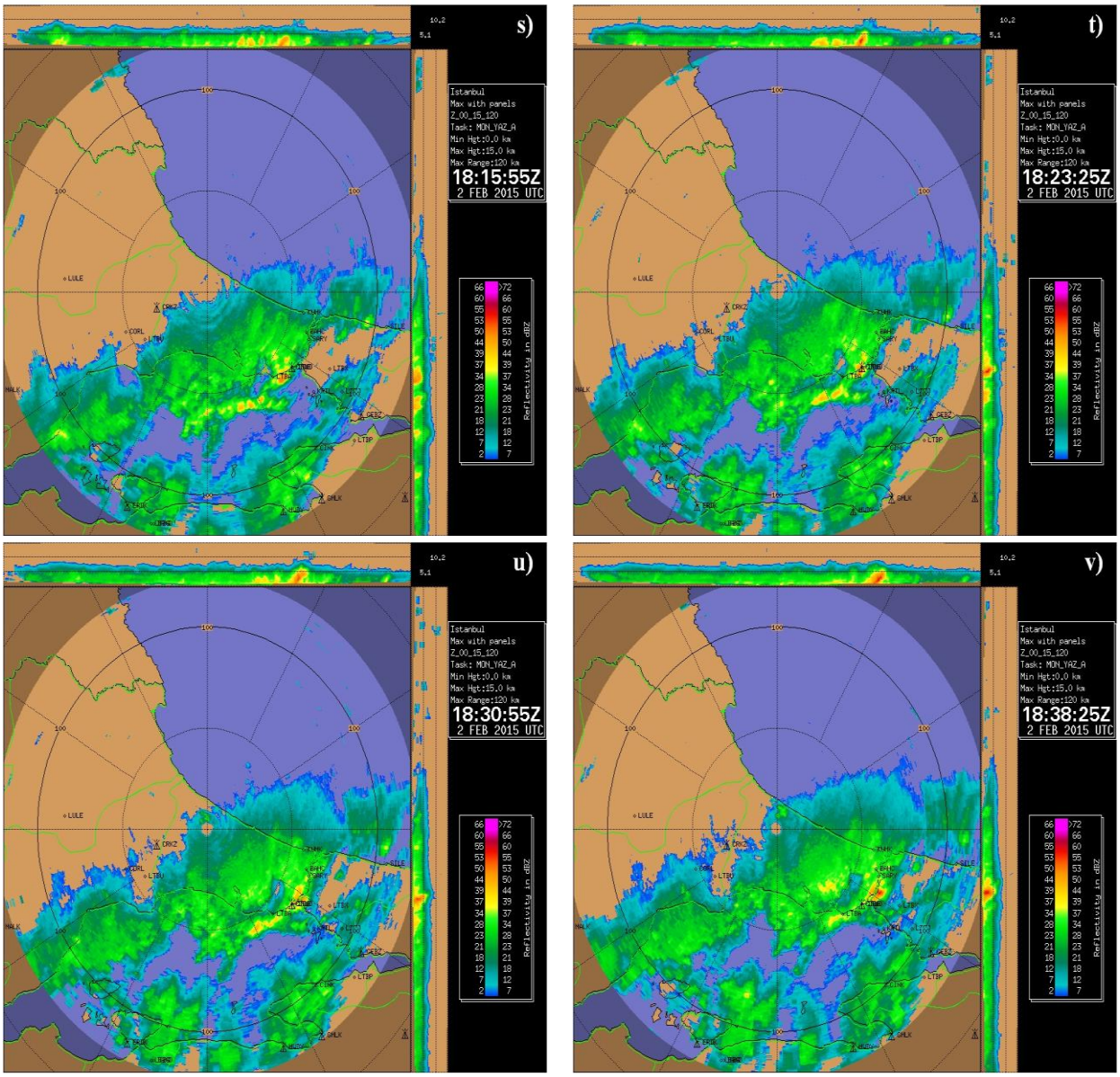


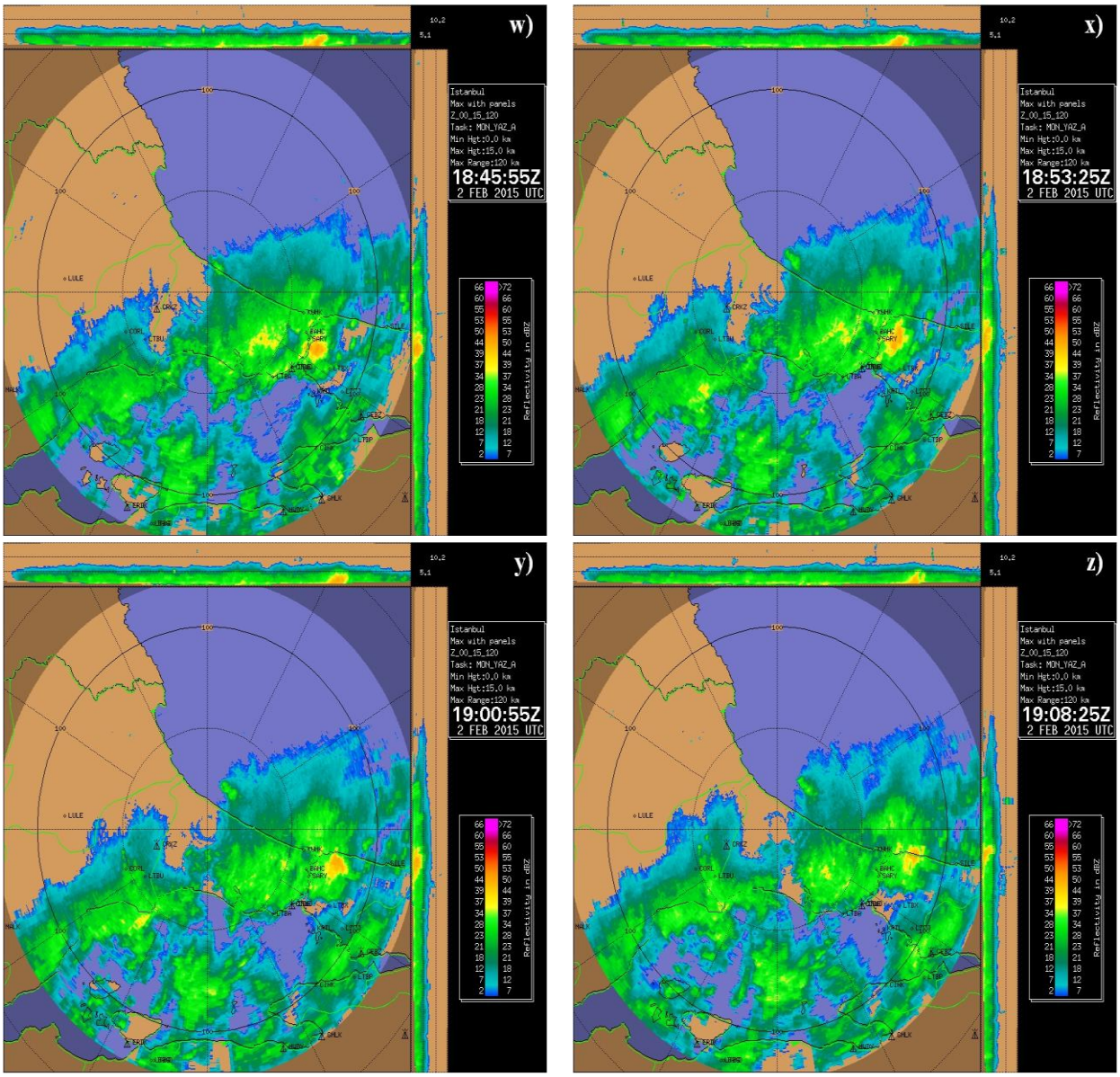

c)
Istanbul
Max with panels
Z_00_15_120
Task: MON_YAZ_A
Min Hgt:0.0 ka
Max Hgt:15.0 ka
Max Range:120 ka
16:15:55Z
2 FEB 2015 UTC
d)
16:23:25Z
2 FEB 2015 UTC
e)
16:30:55Z
2 FEB 2015 UTC
f)
16:38:25Z
2 FEB 2015 UTC
Reflectivity in dBZ

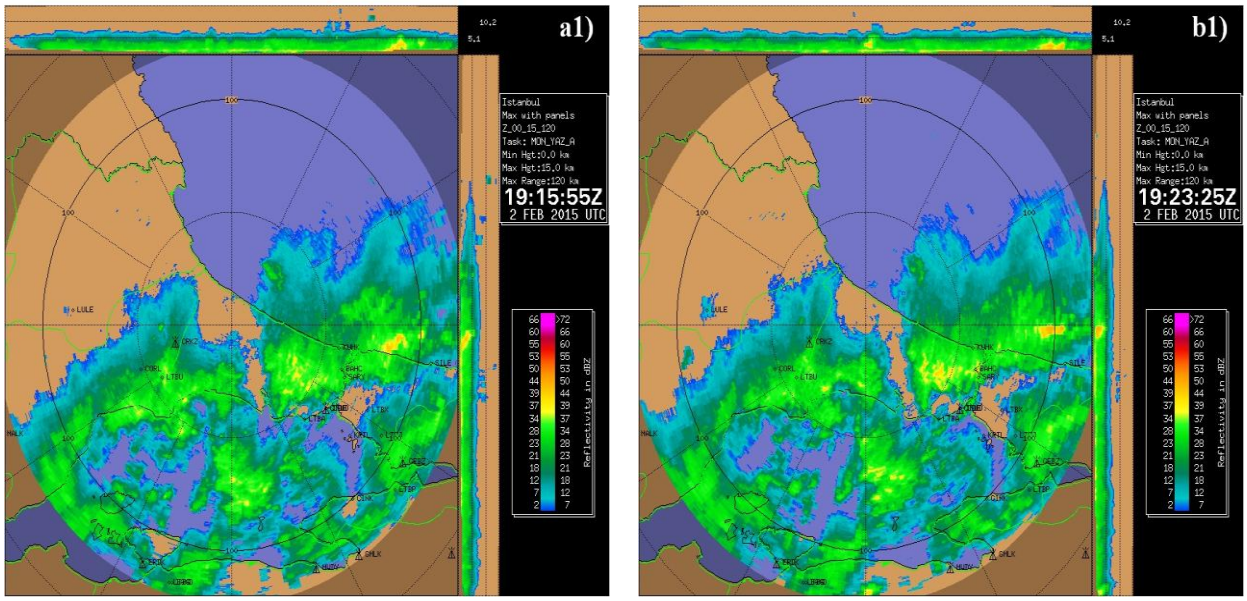

g)
h)
i)
j)
Istanbul
Max with panels
Z_00_15_120
Task: MON_YAZ_A
Min Hgt:0.0 ka
Max Hgt:15.0 ka
Max Range:120 ka
16:45:55Z
2 FEB 2015 UTC
16:53:25Z
2 FEB 2015 UTC
17:00:55Z
2 FEB 2015 UTC
17:08:25Z
2 FEB 2015 UTC
Reflectivity in dBZ


k)
Istanbul
Max with panels
Z_00_15_120
Task: MON_YAZ_A
Min Hgt:0.0 ka
Max Hgt:15.0 ka
Max Range:120 ka
17:15:55Z
2 FEB 2015 UTC
Reflectivity in dBZ
l)
Istanbul
Max with panels
Z_00_15_120
Task: MON_YAZ_A
Min Hgt:0.0 ka
Max Hgt:15.0 ka
Max Range:120 ka
17:23:25Z
2 FEB 2015 UTC
Reflectivity in dBZ
m)
Istanbul
Max with panels
Z_00_15_120
Task: MON_YAZ_A
Min Hgt:0.0 ka
Max Hgt:15.0 ka
Max Range:120 ka
17:30:55Z
2 FEB 2015 UTC
Reflectivity in dBZ
n)
Istanbul
Max with panels
Z_00_15_120
Task: MON_YAZ_A
Min Hgt:0.0 ka
Max Hgt:15.0 ka
Max Range:120 ka
17:38:26Z
2 FEB 2015 UTC
Reflectivity in dBZ


o)
p)
q)
r)
Istanbul
Max with panels
Z_00_15_120
Task: MON_YAZ_A
Min Hgt:0.0 ka
Max Hgt:15.0 ka
Max Range:120 ka
17:45:56Z
2 FEB 2015 UTC
17:53:25Z
2 FEB 2015 UTC
18:00:55Z
2 FEB 2015 UTC
18:08:25Z
2 FEB 2015 UTC
Reflectivity in dBZ

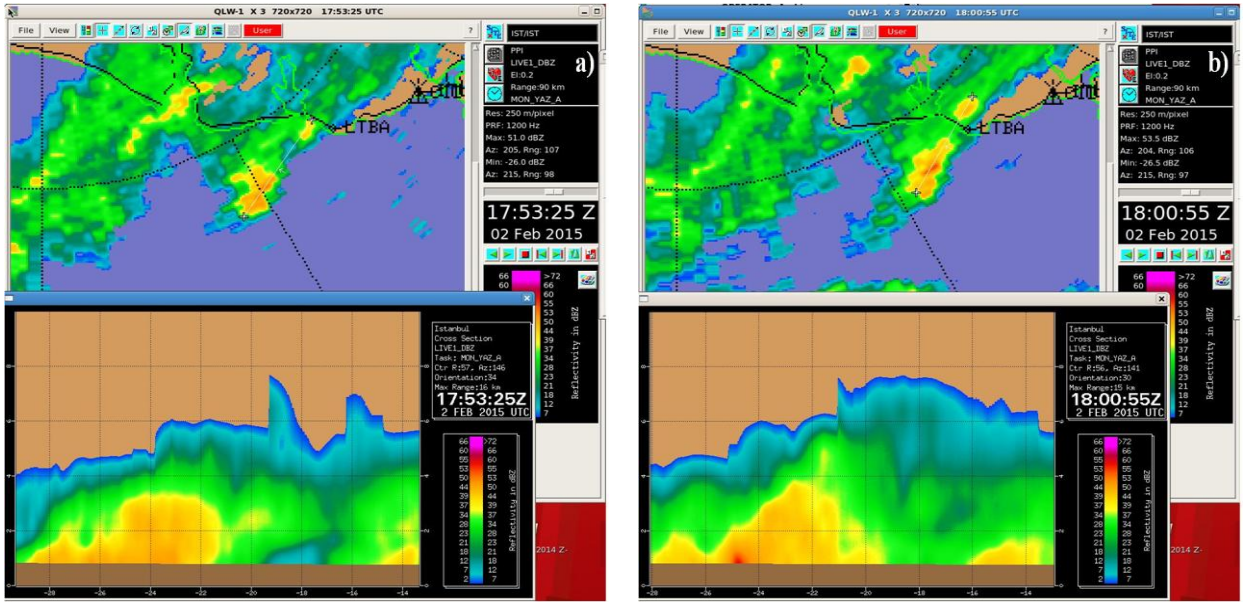

s)
t)
u)
v)
Istanbul
Max with panels
Z_00_15_120
Task: MON_YAZ_A
Min Hgt:0.0 ka
Max Hgt:15.0 ka
Max Range:120 ka
18:15:55Z
2 FEB 2015 UTC
18:23:25Z
2 FEB 2015 UTC
18:30:55Z
2 FEB 2015 UTC
18:38:25Z
2 FEB 2015 UTC
Reflectivity in dBZ

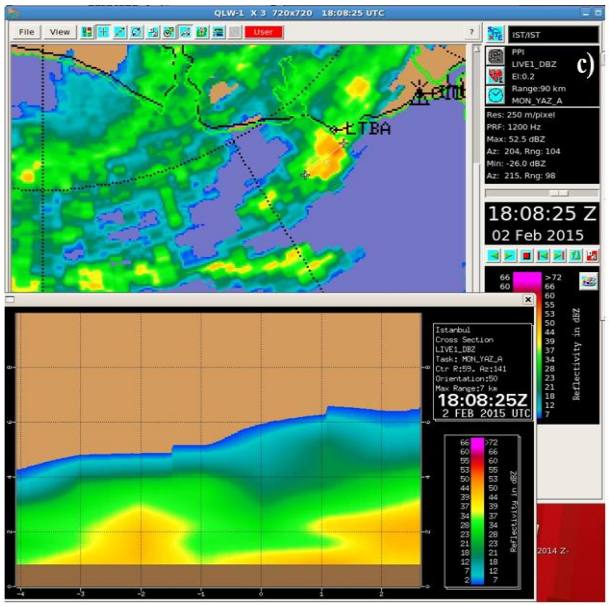

w)
Istanbul
Max with panels
Z_00_15_120
Task: MON_YAZ_A
Min Hgt:0.0 ka
Max Hgt:15.0 ka
Max Range:120 ka
18:45:55Z
2 FEB 2015 UTC
x)
Istanbul
Max with panels
Z_00_15_120
Task: MON_YAZ_A
Min Hgt:0.0 ka
Max Hgt:15.0 ka
Max Range:120 ka
18:53:25Z
2 FEB 2015 UTC
y)
Istanbul
Max with panels
Z_00_15_120
Task: MON_YAZ_A
Min Hgt:0.0 ka
Max Hgt:15.0 ka
Max Range:120 ka
19:00:55Z
2 FEB 2015 UTC
z)
Istanbul
Max with panels
Z_00_15_120
Task: MON_YAZ_A
Min Hgt:0.0 ka
Max Hgt:15.0 ka
Max Range:120 ka
19:08:25Z
2 FEB 2015 UTC
Reflectivity in dBZ



Şekil 4:2 Şubat 2015 16:00 UTC – 19:23 UTC İstanbul Radarı'na ait Max görüntüleri a) - b1).

Şekil 5'de 17:53 UTC ile 18:08 UTC arasındaki Max radar ürünlerinin dikey kesitleri gösterilmektedir. 18:00 UTC'de Max radar ürününün dikey kesitine bakıldığında oraj hücresinin maksimum 53.5 dBZ reflektivite değerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 5b.)

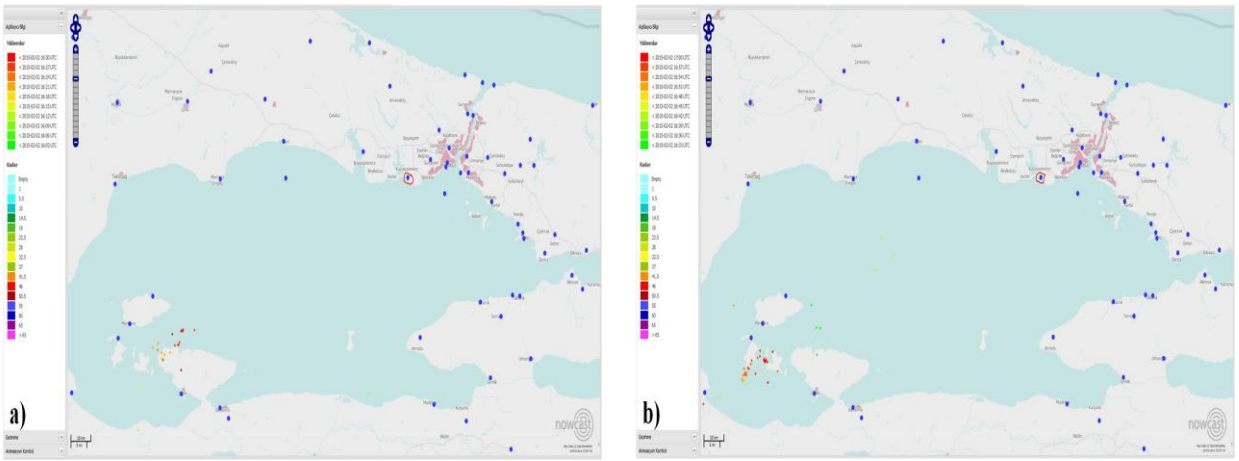


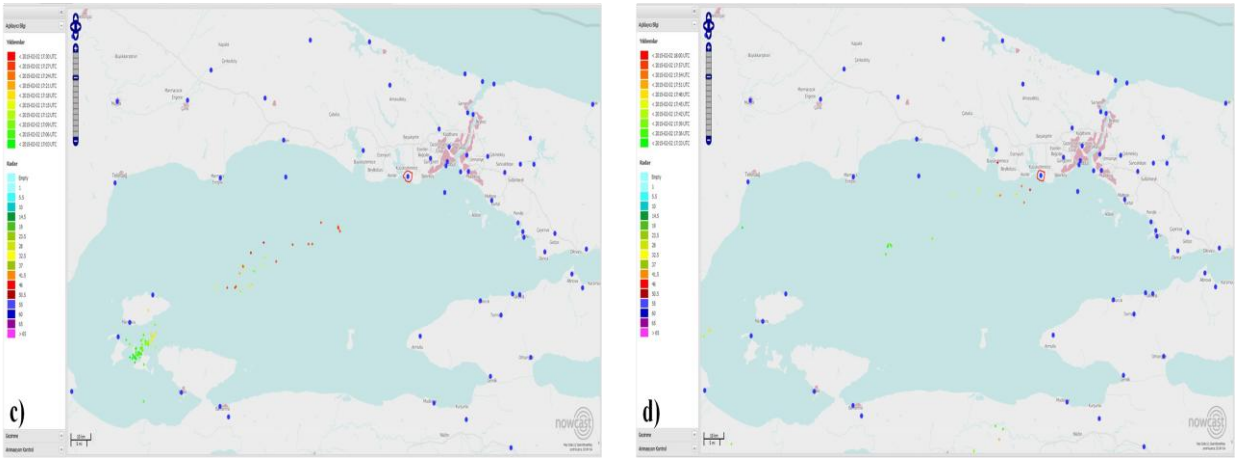


Şekil 5:2 Şubat 2015 17:53 UTC – 18:08 UTC Max radar görüntüsünün dikey kesiti a) - c).

3.5.2. Şimşek Gözlemleri

16:00 UTC ile 18:00 UTC arasındaki Marmara Denizi'ndeki şimşek gözlemleri Şekil 6'da gösterilmiştir. LTBA'nın konumu kırmızı daire içine alınmıştır. 16:00 UTC – 16:30 UTC arasında Kapıdağ Yarımadası üzeri ve çevresinde şimşek gözlemleri meydana gelmiştir (Şekil 6a). Şimşek gözlemlerinin 17:00 UTC – 17:30 UTC arasında Marmara Denizi ortasında kuzeydoğu - güneybatı istikametinde yayıldığı görülmektedir (Şekil 6c). Şekil 6d'de şimşek gözlemlerinin 17:30 UTC – 18:00 UTC aralığında LTBA'nın güneybatı kesimleri üzerinden havalimanına yaklaştığı görülmektedir.





Şekil 6: Marmara Denizi'nde şimşek gözlemleri a) 16:00 UTC – 16:30 UTC b) 16:30 UTC – 17:00 UTC c) 17:00 UTC – 17:30 UTC d) 17:30 UTC – 18:00 UTC .

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 2 Şubat 2015 günü LTBA'da meydana gelen gök gürültülü yağmur sağanağının meydana gelmeden önce, radar ve şimşek görüntüleri kullanılarak daha önce tahmin edilebilirliğinin (nowcasting) araştırılması yapılmıştır.

2 Şubat 2015 12:00 UTC'de soğuk cephe LTBA'nın üzerinden geçmiş ve havalimanı soğuk cephe arkasında kalmıştır. Meteorolojik model çıktılarının ve aktüel haritaların değerlendirilmesi sonucu oraj hadisesi geçici olarak 2 Şubat 22:00 UTC ile 02:00 UTC arasında soğuk cephe arkasında bulunan trofun geçisinde beklenmektedir. 12:00 UTC sounding verilerine göre önemli bir aktivite beklenmemekte veya oraj ihtimali çok düşük olarak beklenmektedir. Marmara denizinde bulunan deniz suyu ölçüm istasyonlarından elde edilen deniz suyu sıcaklıklarında güneşlenmeye bağlı olarak 09:00 UTC ile 15:00 UTC arasında maksimum 0.30°C değerine ulaşan artışlar meydana gelmiştir. Deniz suyu sıcaklığındaki artış Marmara Denizi üzerinde kararsızlığında artmasına neden olmuştur. Bu kararsızlığa bağlı olarak Marmara Denizi'nin farklı yerlerinde oraj hücreleri oluşmuştur. 16.15 UTC – 16:30 UTC arasında Marmara Denizi'nin güney batı kesimi üzerinde bulunan Marmara Adası, Avşa Adası ve Kapıdağ Yarımadası çevresi üzerinde bulunan deniz üzerinde de oraj hücreleri oluşmaya başlamıştır. İstanbul'un doğusunda bulunan soğuk cephenin kuzeydoğuya doğru hareketine paralel olarak oluşan bu oraj hücreleri de kuzeydoğuya doğru hareketini sürdürmüştür. 17:00 UTC'de Marmara denizi üzerinde geniş alanlara yayılmış oraj

hücreleri bulunmaktadır. Marmara Denizi'ndeki deniz suyu sıcaklıklarındaki 17:00 UTC ile 21:00 UTC arasındaki küçük artışlar oraj hücrelerinin aktivitesini artırmıştır. Deniz suyundaki bu küçük artışlar (maksimum 0.16°C) deniz yüzey sularının akışlarında meydana gelen değişmelerden kaynaklanmaktadır. 17:23 UTC'de LTBA'yı etkilecek oraj hücresi denizden yeterli nemi de alarak gelişmesini sürdürmüştür. 18:08 UTC'de oraj hücresinin kuzey kesimleri LTBA üzerinde bulunmaktadır. Havalimanında 17:57 UTC'de rasat edilmeye başlanan gök gürültülü yağmur sağanağı 19:20 UTC'de sona ermiştir. Oraj havalimanında 1 saat 23 dakika devam etmiştir.

Atatürk Havalimanı Meteoroloji Ofisi tarafından 17:53 UTC'de beklenen bu oraj hadisesi nowcasting ürünlerinden olan radar ürünlerinden max görüntüleri ve şimşek gözlemleri kullanılarak daha erken tahmin edilebilinirdi. 16:15 UTC'de Paşalimanı Adası ve Kapıdağ Yarımadası üzerinde oluşan oraj hücresi takip edilerek, ilerleyen saatlerde Marmara Denizi üzerindeki oraj hücrelerinin dağılımı ve hareket yönü takip edilerek 17:00 UTC ile 17:15 UTC arasında LTBA Meteoroloji Ofisi tarafından TAF tahmini düzeltilebilinirdi. Marmara Denizi üzerinde meydana gelen oraj hücrelerinin radar ürünleri ve şimşek gözlemleri tarafından izlenmesi sonucu TAF tahmininin değiştirilmesi LTBA'da mutlaka oraj olacağı anlamına gelmemelidir. 23 Eylül 2015 tarihinde LTBA Meteoroloji Ofisi tarafından Marmara Denizi'ndeki konvektif faaliyetler radar ürünleri değerlendirilerek takip edilmiş 16:40 UTC'de yayınlanan TAF 19:57 UTC'de düzeltilerek 20:00 UTC ile 22:00 UTC arasında oraj beklenmiş fakat, oraj hücresi aktivitesini kaybederek LTBA üzerinde sadece sağanak yağış yapmıştır.

Özdemir ve ark. (2013)'de 2008 – 2012 yılları için yaptıkları çalışmada LTBA'da meydana gelen orajların % 42,16' sı 1700 UTC ile 2400 UTC arasında oluştuğuna dahil buldukları sonuçlarla 2 Şubat'ta LTBA'da meydana gelen orajın meydana gelme zamanı uyuşmaktadır. Konvektivitenin en fazla olduğu öğle saatlerinde daha fazla oraj meydana gelmesi gerekirken 1700 UTC ile 2400 UTC arasında oluşması araştırılması gereken konular arasındadır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, meteorolojik verilerin elde edilmesindeki desteklerinden dolayı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

[1] **Özdemir E.T., Sezen İ., Aslan Z., Deniz A. (2013).** *Investigation of Thunderstorms Over Atatürk International Airport (LTBA), Istanbul*. OSTIV 2013, Meteorological Panel, 20-21 September, 2013, WMO Regional Training Center, Alanya / Antalya-Turkey.

[2] **Yazmuhammedov S., Deniz A., Özdemir E.T. (2014).** *İstanbul Havalimanlarinin Cb ve Oraj Analizi*. V. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, 8-10 Eylül 2014, Erciyes Üniversitesi, Kayseri. UHUK-2014-084. ISBN: 978-605-86838-3-9.

[3] **Özdemir E.T., Deniz A. (2014).** *A Case Study Of The Wet Microburst On August 2, 2011 At Esenboga International Airport (LTAC),* XXXII Ostiv Congress, Leszno, Poland, 30 July - 6 August 2014.

[4] **Temiz C., Özdemir E.T., Yavuz V., Durukan M., Uluyazı M., Deniz A. (2015).** *15 Temmuz 2013 Tarihinde Ankara Esenboğa Havalimanı'nda Yaşanan Boran Olayının İncelenmesi.* VII. Atmospheric Science Symposium, April 28-30, 2015, İstanbul, Turkey. Bildiri Kitabı, Cilt: 1, sa: 465-474, ISBN: 978-975-561-461-8.

[5] **Annanurov S., Deniz A., Özdemir E.T. (2014).** İstanbul Fır Sahası İçin Sigmet ve Airmet Analizi. V. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, 8-10 Eylül 2014, Erciyes Üniversitesi, Kayseri. UHUK-2014-082. ISBN: 978-605-86838-3-9.

[6] **Webb, J. D., & Blackshaw, J. K. (2012).** *Notable Scottish thunderstorms in summer 2011*. Weather, 67(8), 199-203.

[7] **Clark, M. R., & Webb, J. D. (2013).** *A severe hailstorm across the English Midlands on 28 June 2012*. Weather, 68(11), 284-291.

[8] **Jebson, S. (2011).** *The Derby Day thunderstorm of 31 May 1911*. Weather, 66(6), 156-157.

[9] **Young, M. V. (2007).** *Severe thunderstorms over southern England on 10 May 2006.* Weather, 62(5), 116-120.

[10] **Sibley, A. (2012).** *Thunderstorms from a Spanish Plume event on 28 June 2011*. Weather, 67(6), 143-146.

[11] www1.wetter3.de, alıntılanma tarihi: 15.10.2015.

[12] http://www.srh.noaa.gov/ffc/?n=gloss2, alıntılanma tarihi: 15.10.2015.

[13] http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html, alıntılanma tarihi: 15.10.2015.

7-12 Eylül 2015 tarihli Toz Fırtınasının Uzaktan Algılama Verileri ile Analizi

Kahraman OĞUZ, Cihan Dündar, Muhammet Ali Pekin, Ayşe Gökçen Işık
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü
Ankara
koguz@mgm.gov.tr , cdundar@mgm.gov.tr , mapekin@mgm.gov.tr , agisik@mgm.gov.tr

Beril Salman Akın
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gazi Üniversitesi
Ankara
bsakin@gazi.edu.tr

ÖZET

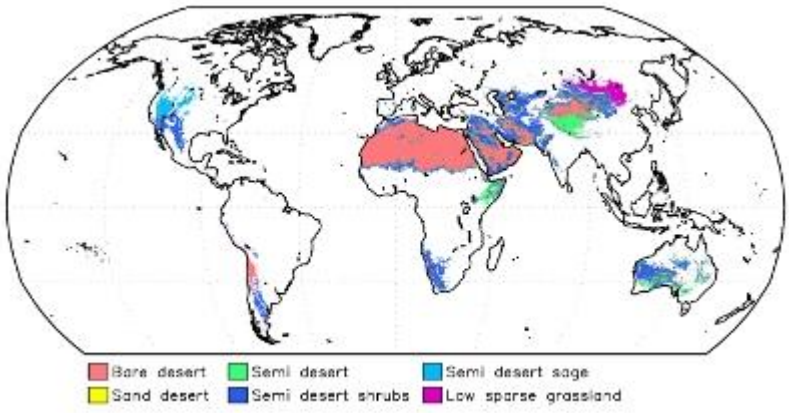
Bu çalışmada, 7-12 Eylül 2015 tarihleri arasında Akdeniz'in doğusu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde gerçekleşen toz taşınımı olayı incelenmiştir. Mısır ve Suriye kaynaklı toz taşınımı 7 Eylül 2015 tarihinde başlamış ve 5 gün boyunca sürmüştür. HYSPLIT Trajectory Modeli geri yörünge analizi sonucuna göre, 10 Eylül 2015 tarihi 12 UTC'de Akdeniz'i etkileyen toz içerikli hava kütlesinin özellikle Suriye kaynaklı olduğu görülmektedir. MODIS-Aqua ve MSG uyduları tarafından sağlanan aerosol optik derinliği (AOD) ve RGB ürünleri bu toz taşınımı olayını açıkça göstermektedir. AOD verileri bölgede yüksek değerler (>0.9) göstermektedir. Yine hava kalite istasyon ölçüm verileri (PM10)'de uydu verilerine paralel olarak bu toz taşınımı olayının yoğunluğunu göstermektedir. Bu toz taşınımı olayı Türkiye'de gözlemlenen en uzun süreli toz taşınımı olaylarından bir tanesidir.

Anahtar Kelimeler — toz fırtınası; RGB; aerosol optik derinliği; yüzey toz konsantrasyonu.

1 GİRİŞ

Mineral toz partikülleri, atmosferdeki en baskın aerosol çeşitlerinden bir tanesi olarak bilinmektedir (Buseck ve Posfai, 1999). Toz aerosolleri, yer yüzeyi radyasyon dengesini güneş radyasyonunu absorblama ve yansıtma yolu ile direkt olarak, bulut optik özelliklerini ise

değiştirerek dolaylı olarak etkilemektedir. Yapılan çeşitli çalışmalar, Afrika'da gözlenen menenjit vakaları ile toz taşınımı arasında bir ilişkinin bulunduğunu göstermiştir. Bununla birlikte toz partikülleri, içerdikleri demir sayesinde okyanuslarda phytoplankton ve alg çoğalmasına neden olmaktadırlar (Prospero et al., 1987; Uno et al., 2005; Zhu et al., 1997). Atmosfere karışan tozların neredeyse tamamının kaynağı kurak çöl bölgeleridir. Dünyadaki başlıca toz kaynak alanları Afrika (Sahra çölü), Asya (Gobi ve Taklamakan), Arabistan Yarımadası, Güney Amerika ve Avustralya'da bulunan çöllerdir (Şekil 1).



Şekil 1. Potansiyel Toz Üretim Bölgelerinin Küresel Dağılımı (Kaynak: U.S. Geological Survey)

Yükselici hava hareketleri ve uygun meteorolojik koşullar ile kurak bölgelerden atmosfere karışan tozlar, yüksek seviye rüzgarları ile binlerce kilometre mesafe kat etmekte ve gerek kendi ülke sınırları içerisinde gerekse de diğer ülke sınırları içerisinde önemli etkilere neden olmaktadırlar. Bu nedenle atmosferik tozların taşınımının gözlemlenmesi önem arz etmektedir. Uydu ile elde edilen veriler tozun izlenmesi için önemli veri seti sağlamaktadırlar.

Bu araştırmada, uydu verilerinin toz taşınımı olaylarını belirlemedeki yeterliliğini değerlendirmek üzere Ülkemiz ölçeğinde bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, 7-12 Eylül 2015 tarihleri boyunca Türkiye'yi önemli derecede etkileyen toz taşınımı olayı ele alınmıştır. Bu toz taşınımı olayının seçilme nedeni, Türkiye'de gözlemlenen en uzun süreli toz taşınımı olaylarından bir tanesi olmasıdır. Ele alınan bu toz taşınımı olayının kaynak bölgeleri ve taşınımı HYSPLIT modeli, uydu ve hava kalite ölçüm istasyon verileri ile analiz edilmiştir.

2 MATERYAL-METOT

2.1. Ozone Monitoring Instrument (OMI)

OMI, NASA'nın Yeryüzü Gözlem Sistemi Aura Uydusu güvertesinde ve UV/Görünür CCD Spektrometre ile birlikte NADIR görüntüleme sistemidir. Aura, 15 Temmuz 2004 tarihinde uzaya fırlatılmış ve 9 Ağustos 2004 yılından bu yana veri toplamaktadır. Son zamanlardaki, OMI verileri, görüntüleme koşulları ile ilişkili hataları gidermek amacıyla NASA'nın Goddard Ozon İşlem Ekibi tarafından geliştirilen algoritması ile işlem yapmaktadır (Ekici vd., 2013). OMI, sis, ***toz***, sülfat gibi aerosol çeşidini ve bulut kapalılığını ölçme kabiliyetine sahiptir. Bu araştırma kapsamında veri elde ettiğimizi OMI Aerosol Index (AI) ürünü, atmosferdeki aerosoller tarafından UV radyasyonunun ne kadarının absorblandığının ve yansıtıldığının bir ölçümüdür. AI ürünü toz kaynak bölgelerinin belirlenmesi için önemli bilgiler vermektedir.

2.2. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

MODIS, NASA tarafından geliştirilmiş, görünür ve kızılötesi alanlarda çalışan 36 farklı kanala sahip bir sistemdir. 1999 yılında sisteme ilk Terra uydusu, 2002 yılında ise Aqua uydusu yerleştirilmiştir. Her iki uydu da aynı görüş alanına sahip olup, her 1-2 günde bir kez tüm dünyayı görüntülemektedir. Bulut örtüsü, enerji bütçesi, radyasyon bütçe değişiklikleri, ***aerosol optik derinliğini***, klorofil yoğunluğu, orman yangını da dahil olmak üzere okyanus, kara ve atmosferde meydana gelen süreçleri gözlemlemektedir (https://nsidc.org/data/modis/). Uydu ile gözlenen aerosol optik derinliği (AOD) verileri, aerosolün atmosferik sütunundaki dağılımı ve yoğunluğunu göstermektedir. Toz taşınımının atmosferde gözlemlendiği günlerde, AOD verisi önemli oranda artış göstermektedir.

2.3. METEOSAT II. Nesil Uyduları (MSG)

Avrupa Uzay Ajansı (ESA)'nın EUMETSAT'ın istekleri doğrultusunda geliştirmekten sorumlu olduğu MSG (Meteosat Second Generation) uydusunun özellikleri:

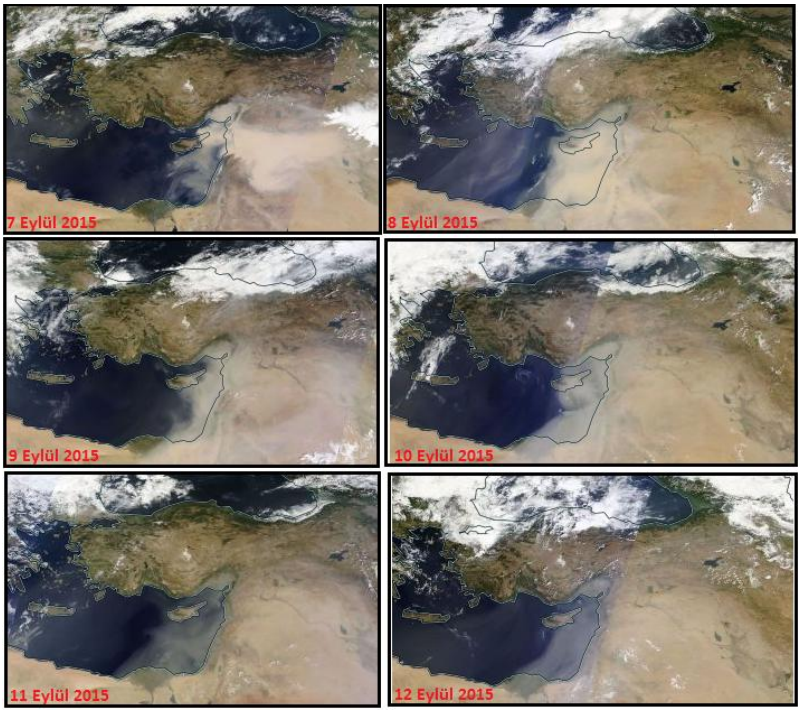
- Sabit yörüngeli (Geostationary), 0 derece yeni geliştirilmiş 12 kanallı radyometre SEVIRI;
- 15 dakika aralıklarla yeni görüntü,
- Yüksek çözünürlüklü görüntüleme (HRV), 1 km,
- Kızılötesi kanalda çözünürlük, 3 km,

- Sabit Yörüngeli Radyasyon Enstrümanı (GERB),
- Arama ve Kurtarma (S&R),
- Her bir uydu için 7 yıl yaşam süresi,
- Tamamen yeni yer segmentine sahip olması şeklinde sıralanabilir (Özdemir, 2012).

Toz, MSG uydusunun infrared kanalına dayalı bir kompozit üründür. Ürün, toz fırtınalarının hem gündüz, hem de gece gözlemlenmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Toz RGB ürünü, SEVIRI IR8.7, IR10.8 ve IR12.0 kanallarının birleşiminden elde edilmektedir ve toz bu birleşimde pembe renkli olarak görünmektedir.

3 SONUÇLAR

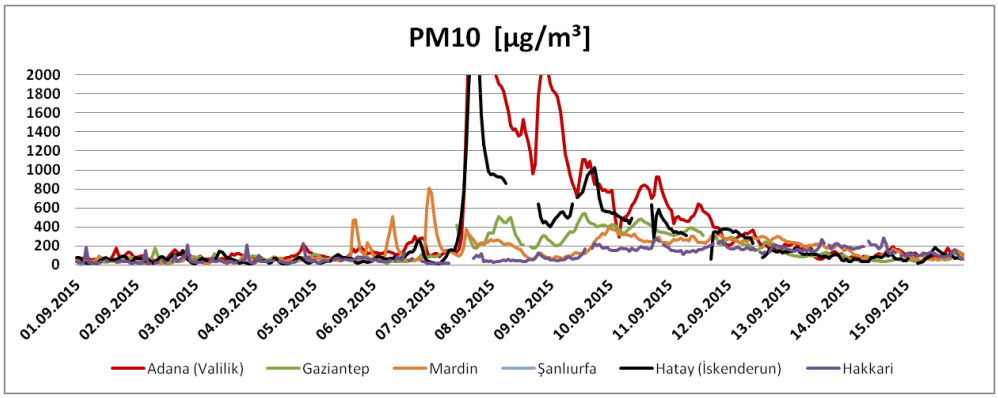
7-12 Eylül 2015 tarihleri boyunca toz taşınımının Güneydoğu Anadolu Bölgesinde gösterdiği yoğun etki MODIS gerçek renkli görüntüde görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. MODIS Gerçek Zamanlı (Real Time) Görüntüsü (7-12 Eylül 2015)

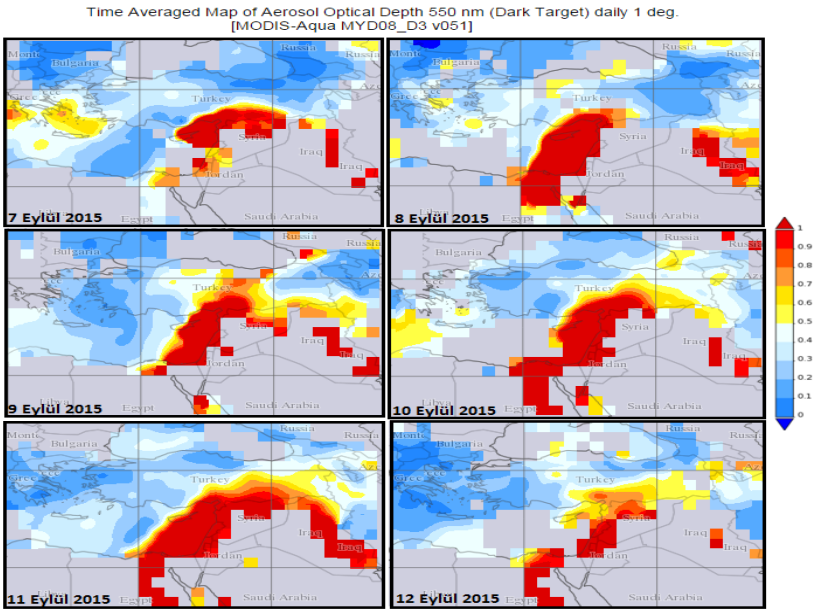
Görülen bu olay sebebiyle, bölgede ölçüm yapan hava kalite istasyonları PM10 değerlerinde ani bir artış gözlemlenmiştir. Şekil 3, 1-15 Eylül 2015 periyodu boyunca toz taşınımından etkilenen istasyonlarda ölçülen saatlik PM10 değerlerini göstermektedir. Değerlere göre özellikle Hatay ve

Adana şehirlerinde ölçüm değerlerinin 7 Eylül 2015 tarihinde 2558 µg/m³ ve 2774 µg/m³ 'e kadar yükseldiği görülmektedir. Yine Gaziantep ve Mardin şehirlerinde de bu olay sebebiyle ölçülen değerler 539 µg/m³ ve 812 µg/m³'e kadar yükselmiştir. Ölçülen tüm bu değerler, 7 Eylül 2015 tarihinden itibaren toz taşınımının bölgede ne denli yoğun bir etki yarattığını göstermektedir.



Şekil 3. Toz Taşınımından Etkilenen Şehirlerde Ölçülen PM10 Değerleri

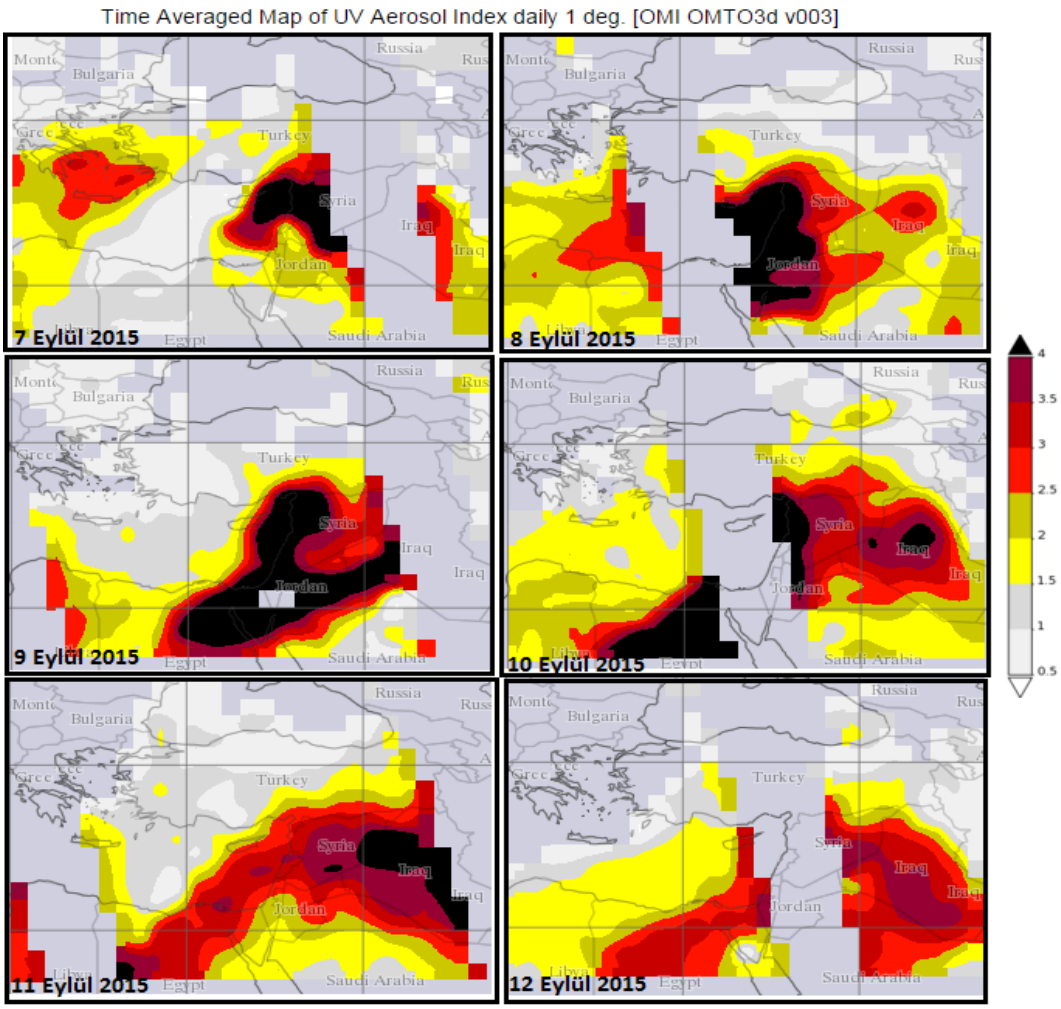
Yer ölçüm istasyonlarına yansıyan yoğun toz olayı, atmosferik kolonda da kendini göstermiştir. MODIS/Aqua uydusundan elde edilen AOD değerleri 7-12 Eylül 2015 tarihleri için Şekil 4'de gösterilmektedir.



Şekil 4. MODIS/Aqua Uydusu AOD Haritaları (7-12 Eylül 2015)

Uydu görüntülerine göre, Kıbrıs üzerinden Siirt'e kadar olan alanda 7 Eylül 2015 tarihinde çok yüksek AOD değerleri (>0.9) ölçülmüştür. Yine bu tarihte ikinci bir toz taşınımı olayı ile ilişkili olarak Ege denizi ve Yunanistan üzerinde de yüksek değerler görülmektedir. Sonraki günlerde toz taşınımının etkisini Türkiye'nin güneyinde artırması ile ilişkili olarak daha geniş alanda yüksek değerler ölçülmüştür. Bu etkinin Mısır'ın kuzey bölgelerinden Türkiye'nin iç bölgelerine doğru gerçekleştiği ve uydu AOD ölçümünün yüksek değerler verdiği görülmektedir. 12 Eylül 2015 tarihinde ise toz taşınımının etkisini Türkiye üzerinde azalttığı görülmesine karşın, yine de değerlerin ciddi seviyelerde olduğu görülmektedir (Şekil 4).

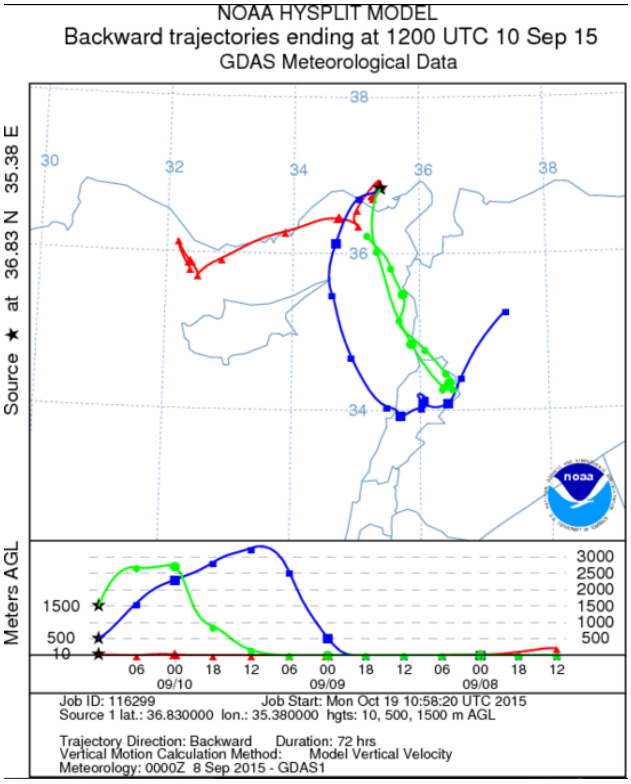
OMI AI değerilerinin 7-12 Eylül 2015 tarihi için dağılımı Şekil 5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. OMI-AI Haritaları (7-12 Eylül 2015)

Tozun atmosfer sütunundaki varlığında güneş radyasyonunun fazla absorlanacağı ve dolayısı ile AI değerlerinin yüksek olacağı göz önüne alındığında, 7 Eylül 2015 tarihinde Suriye ve Akdeniz Bölgesinin doğusunda absorblamanın fazla olduğu ve AI değerlerinin çok yüksek (>4) olduğu görülmektedir. 8 Eylül 2015 tarihi itibari ile ise Suriye, Ürdün ve Mısır üzerinde yüksek AI değerleri görülmektedir. 10 Eylül 2015 tarihi itibari ile ise ölçülen yüksek AI değerlerinin Suriye ve Mısır üzerinde olduğu görülmektedir.

Elde edilen tüm bu sonuçlar, taşınımın ana kaynağının ilk günlerde Suriye, sonraki günlerde ise yeni bir toz taşınımı ile ilişkili olarak Mısır kaynaklı olduğunu göstermektedir. Bunu daha detaylı görmek adına, NOAA/HYSPLIT modeli Şekil 6'da gösterilmektedir. Harita, 10 Eylül 2015 tarihinde Adana'ya ulaşan farklı seviyelerdeki hava kütlesinin 3 gün öncesi yörüngesini göstermektedir. Şekil'e göre, 500 ve 1500 m. seviyelerinde (sırasıyla mavi ve yeşil çizgiler) Akdeniz Bölgesinin doğusuna ulaşan hava kütlesinin Suriye ve Lübnan üzerinden geldiği görülmektedir.



Şekil 6. HYSPLIT Geri Yörünge Analizi (25.83 enlem ve 35.38 boylam merkezli)

KAYNAKLAR

[1] Buseck, P. R. and Posfai, M.: *Airborne minerals and related aerosol particles: effects on climate and the environment*, P. Natl. Acad. Sci. USA, 96, 3372–3379, 1999.

[2] Ekici, M., Eskioğlu, O., Acar, Y., Demircan, M. ve Akçakaya, A., *Toms Ve Omi Uydu Türkiye Ozon Verilerinin Cbs Ürünleriyle Analizi (1979-2012)*, III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 2013, İstanbul.

[3] Özdemir, Y., *Uydu Tabanlı Kuadratik Model İle Türkiye'de Güneş Radyasyonu Dağılımının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, 2012.

[4] Prospero, J. M., Nees, R. T., and Uematsu, M.: *Deposition rate of particulate and dissolved aluminum derived from Saharan dust in precipitation at Miami, Florida*, J. Geophys. Res., 92, 14723–14731, 1987.

[5] Uno, I., Harada, K., Satake, S., Hara, Y., and Wang, Z.: *Meteorological characteristics and dust distribution of the Tarim Basin simulated by the nesting RAMS/CFORS dust model*, J. Meteorol. Soc. Jpn., 83A, 219–239, doi:10.2151/jmsj.83A.219, 2005.

[6] Zhu, X. R., Prospero, J. M., and Millero, F. J.: *Daily variability of soluble Fe (II) and soluble total Fe in North African dust in the trade winds at Barbados*, J. Geophys. Res., 102, 21297–21305, 1997.

[7] U.S. Geological Survey (http://www.usgs.gov/).

17.10.2014 tarihinde Hatay İskenderun Körfezi Açıklarında Gerçekleşen Hortum Hadisesinin Sinoptik Analizi ile Uydu ve Radar Ürünleri Kullanılarak Tesbiti

Akın Kolca
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
15. Bölge Müdürlüğü
Batman Meydan Meteoroloji Müdürlüğü
akolca@gmail.com

Mert Uluyazı
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
mertuluyazi@gmail.com

ÖZET

Küresel iklim değişikliğinin etkisiyle son yıllarda ekstrem hava olaylarında çok ciddi bir artış söz konusudur. Ülkemiz de konumu itibariyle ekstrem hava olayları ile daha sık karşılaşmaya başlamıştır. Bu ekstrem hava olaylarının en önemlilerinden ve en büyük etkiye sahip olanlarından bir tanesi de hortum olayıdır ve ülkemizde son yıllarda görülme sıklığı artmıştır. Bu bağlamda, oluşumunda etkili olan karakteristiklerin anlaşılmasının yanısıra hortum hadisesinin tespit edilebilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, 17.10.2014 tarihinde Hatay'da İskenderun Körfezi açıklarında gerçekleşen hortum hadisesini meydana getiren koşullar sinoptik kartlar, TEMP diyagramı ve meteorolojik gözlem verileri yardımıyla ele alınarak ortaya konulmuş, uydu ve radar ürünleri ile de hadisenin başlangıç ve bitiş evrelerinin görüntülere nasıl yansıdığı değerlendirilip böyle hadiselerde özellikle radar ürünlerinde dikkat edilmesi gereken hususlar belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler — Ekstrem olaylar, hortum, sinoptik kartlar, TEMP Analizi, meteorolojik gözlem verileri, uydu ürünleri, radar ürünleri.

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde birbirinden farklı hava olayları meydana gelmektedir. Bu hava olaylarından bazıları etkileri itibariyle doğal afet olarak adlandırılan, insan kontrolü dışında gelişen can ve mal kaybına sebep olacak şekilde meydana gelen büyük çaplı olaylardır. Bu afetler jeolojik ve meteorolojik doğal afetler olarak iki ana grupta sınıflandırılmaktadır. Bu doğal afetlerden meteorolojik sebepli olan hortum, gerek ülkemizde görülme sıklığı nedeniyle dikkatleri üzerine toplamış gerekse küresel iklim değişikliğinin konuşulduğu günümüzde meydana gelebilecek ekstrem hava olaylarının etkisini ciddi şekilde tartışılır hala getirmiştir (Şekil 1.).



Şekil 1: Ülkemizde görülen hortum hadislerinden bazıları

Yapılan bilimsel çalışmalar ve iklim model öngörüleri; gelecekte küresel iklim değişikliğine bağlı olarak ekstrem hava olayları (şiddetli fırtınalar, kuvvetli yağışlar ve hortum) gibi meteorolojik, bu olayların sebebiyet verdiği taşkınlar ve seller gibi hidro-lojik, uzun süreli kuraklık olayları ve çölleşme süreçleri gibi klimatolojik kökenli doğal afetlerin şiddetinde, sıklığında ve etkinlik alanında önemli artışların olabileceğini göstermektedir. [1]

Bu çalışmada özelllikle Türkiye için çok sık rastlanılan bir doğa olayı olmayan fakat son zamanlarda adını sıklıkla duyduğumuz hortum olayının Hatay ili İskendurun Körfezi açıklarında

oluşum (meydan geliş) mekanizması sinoptik analizler ile uydu ve radar ürünleri kullanılarak ele alınacaktır .

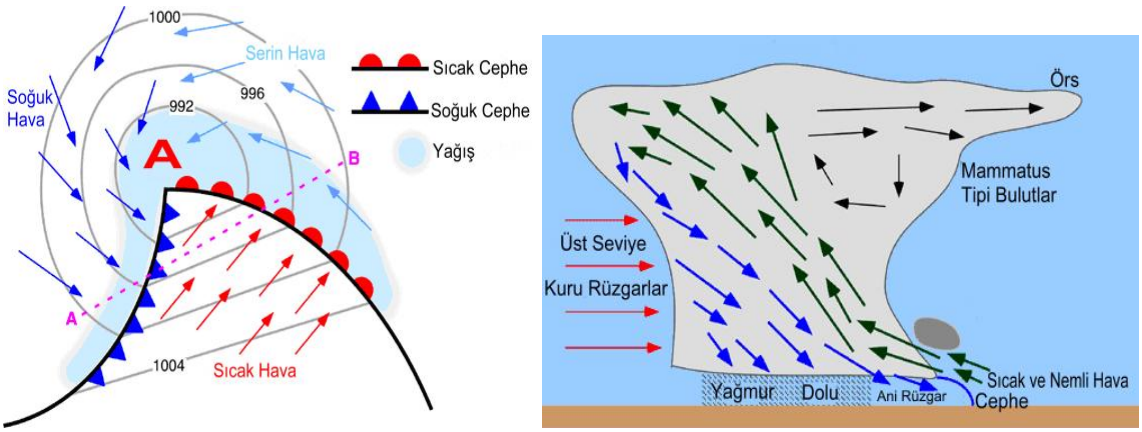
17 Ekim 2014 Cuma günü Hatay' ın Arsuz ilçesinde denizde başlayan hortum Konacık Mevkii' nde etkili olmuş, olay sırasında birçok toprak evin çatısı uçmuş, 1 kişi kolunu kırarak yaralanmış öncesinde ise etkişi olan şiddetli yağışlar sebebiyle 5 toprak ev yıkılmıştır. Yaklaşık 5 dakika etkili olan hortum hadisesi sırasında ilçe merkezinde ağaçların devrildiği ve elektrik tellerinin koptuğu da yapılan inceleme sonucunda yetkililer tarafından belirtilmiştir. Meteoroloji verilerine göre, Hatay il merkezine metrekareye 79,5 kilogram yağış düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 2: Hatay İlinin Arsuz ilçesinde gerçekleşen hortum ile il merkezinde etkili olan kuvvetli sağanak yağışlardan görüntüler

2. HORTUMA SEBEP OLAN NEDENLERE GENEL BİR BAKIŞ

Dar bir alandaki ani basınç değişikliğiyle meydana gelen hortumlar, girdap şeklindeki çok şiddetli rüzgarlardır. Atmosferde ani basınç değişikliğine sebep olan, sıcak havanın çok büyük bir hızla yükselmesidir.Sıcak bir hava kütlesi üzerine soğuk bir hava kütlesinin çıkması durumunda; yoğunluğu daha düşük olan sıcak hava, çok büyük bir hızla soğuk havanın içine doğru yükselir. Bu arada basınç hızla azalır. Basınç ve sıcaklıktaki bu ani değişiklik,çok kısa zamanda şiddetli rüzgarlar doğurur. Hava yükselmeye devam ettikçe,rüzgarın hızı daha da artar ve kuvvetli bir girdaba dönüşür. Huni şeklinde dönerek yükselir. Girdabın ortasında hızla yükselen havanın sıcaklığı giderek soğuduğundan, içindeki su buharı yoğunlaşır. Bu da, ortası grimsi beyaz renkli bir hal alan hava kütlesinin hortum gibi görünmesini sağlar. Yoğunlaşma oldukça aşağıya doğru uzanan hortumun ucu, yere kadar ulaşır. [2]



Şekil 3: Cephe yatay kesiti ve Oraj bulutunun dikey yapısı

3. HATAY İLİNDE MEYDANA GELEN HORTUMUN TESPITI

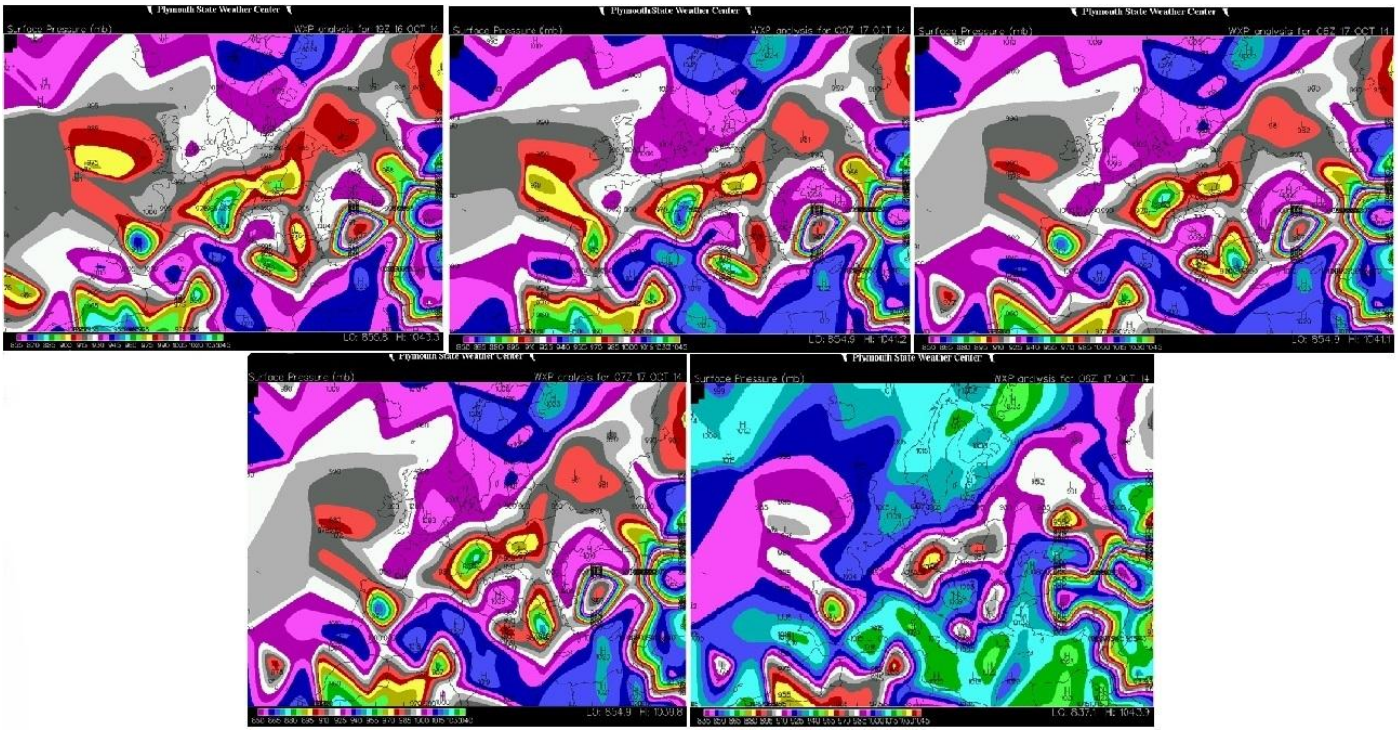
3.1 Hortumun Sinoptik Analizi

3.1.1. Yer Seviyesi Haritaları ile Yukarı Atmosfer Ürünlerinin İncelenmesi

Hatay ilinde gerçekleşen hortum hadisenin sinoptik analizinde, gerekli yer seviyesi ve yukarı seviye haritaları kullanılmış, yukarı atmosfer ürün sonuçlarıyla da desteklenerek gerçekleşen hadisenin analizi yapılmaya çalışılmıştır.

Yer Seviyesi Haritalarının İncelenmesi

Yüzey Basınç Haritasının İncelenmesi

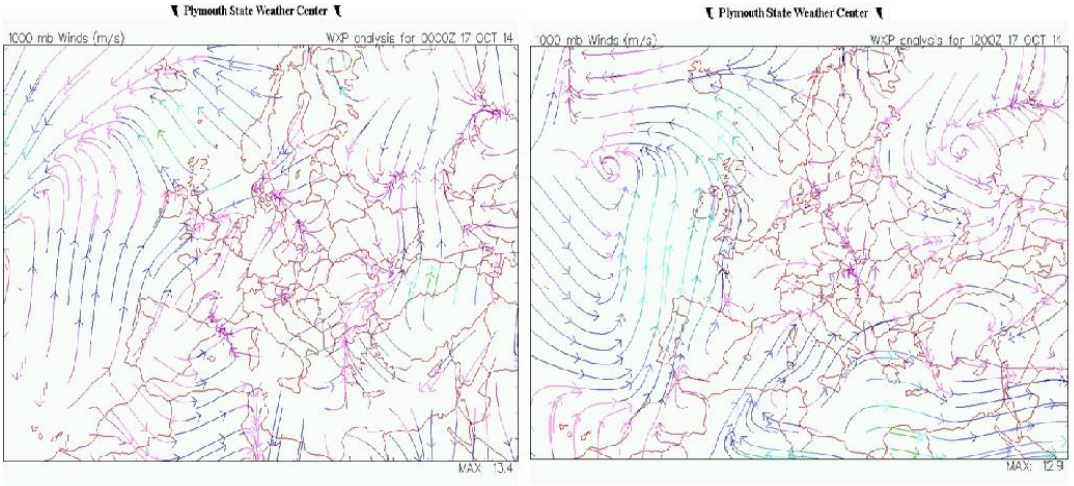


Şekil 4: 19 Z, 00 Z, 06 Z, 07 Z ve 08 Z Yüzey basınç haritaları (Plymouth State)

16.10.2014 19 Z, 17.10.2014 00Z, 17.10.2014 06Z, 17.10.2014 07Z, 17.10.2014 08Z yüzey basınç haritaları incelendiğinde yüksek basınç alanından bölgeye Akdeniz üzerinden sıcak ve nemli

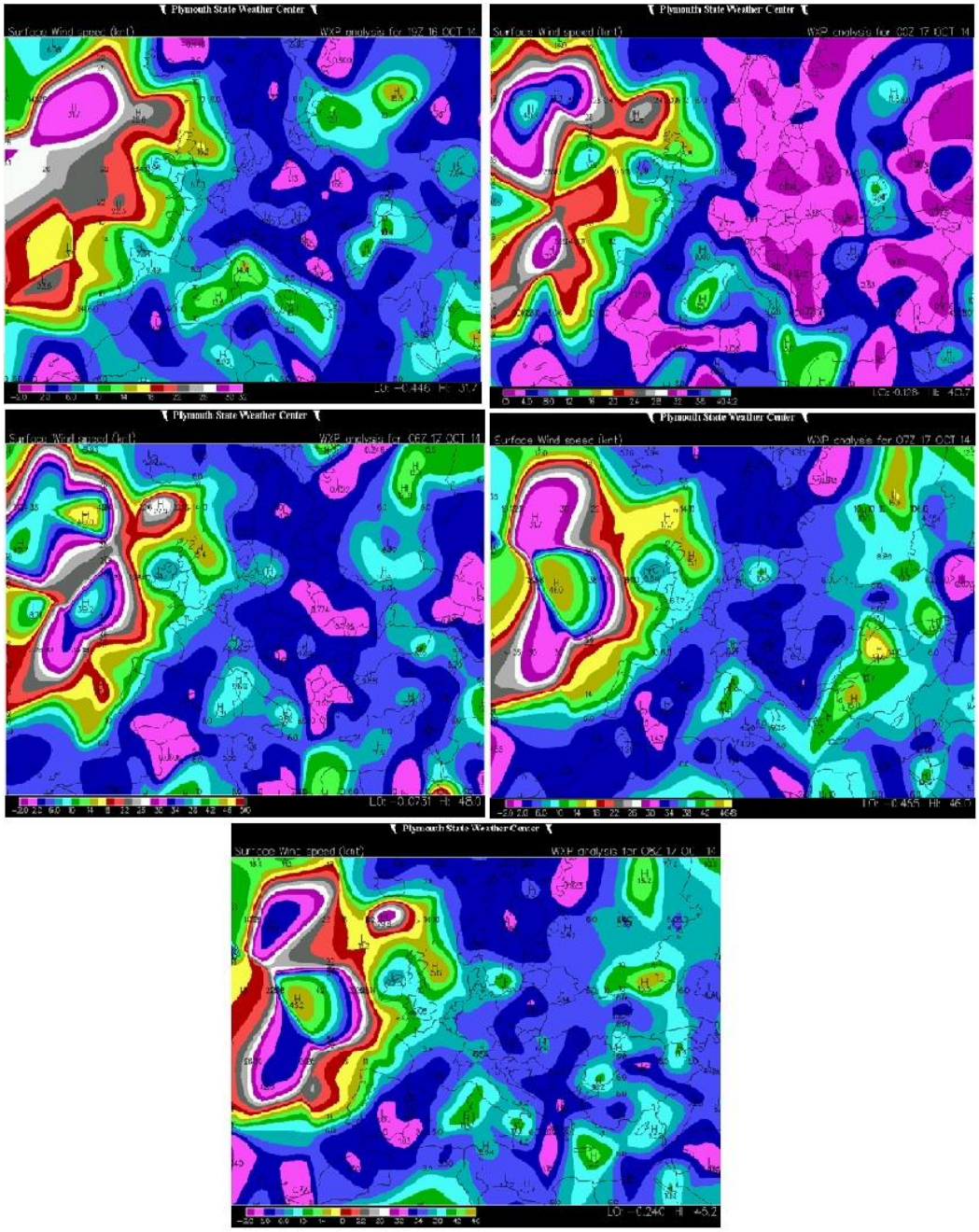
havanın giriş yapmasıyla düşey hareket ve fırtına gelişimine uygun koşulların oluştuğu görülmektedir. Ayrıca düşey hareket için gerekli olan alçak basıncın varlığı da haritalardan gözlemlenebilmektedir.

Yer Rüzgarı Haritalarının İncelenmesi



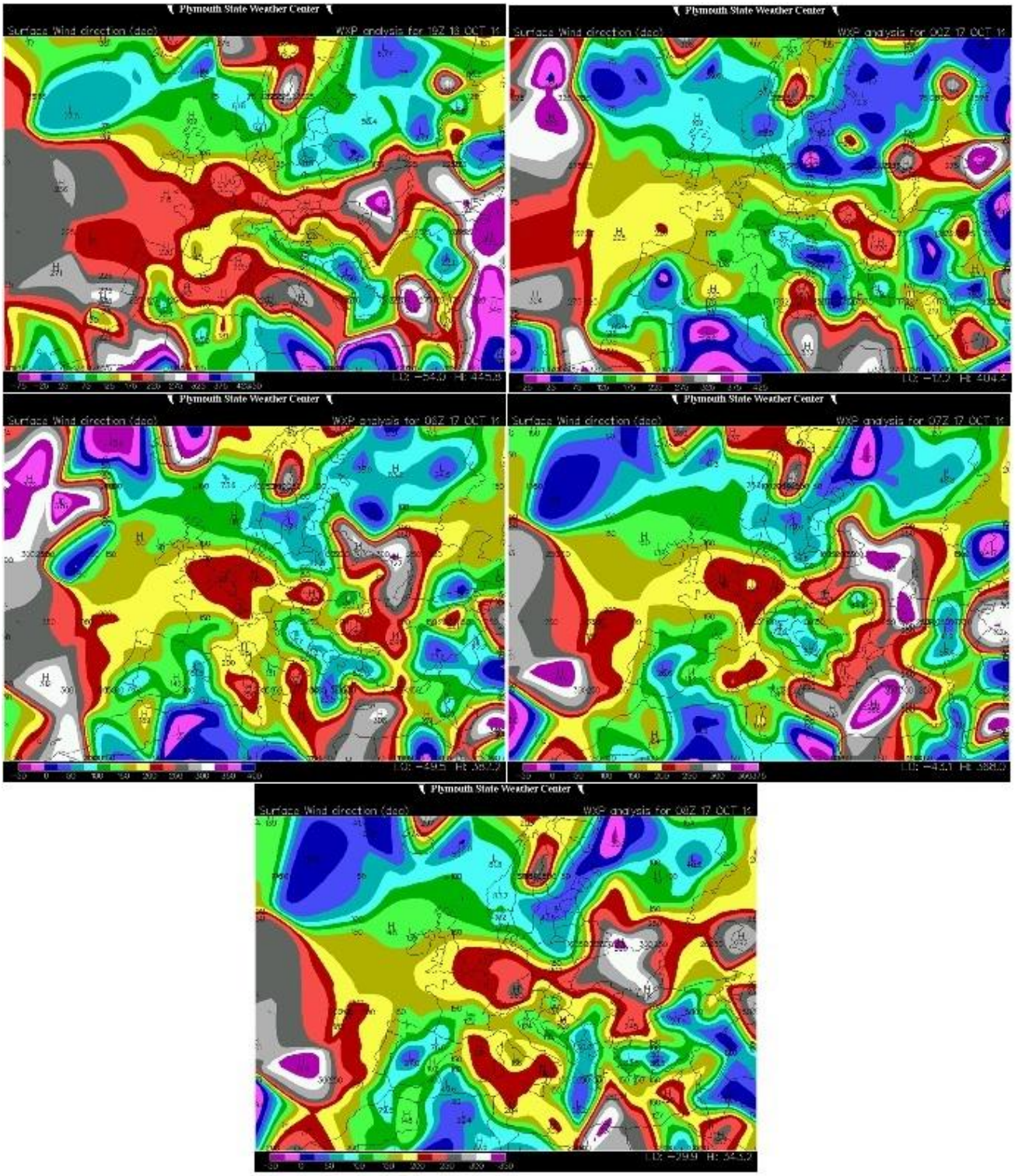
Şekil 5: 00 Z ve 12 Z 1000 mb seviyesi rüzgar haritaları (Plymouth State)

1000 mb seviyesi rüzgarları için akım çizgileri haritaları incelendiğinde 00Z itibariyle saat yönünde (antisiklonik) bir dönüş söz konusu iken 12Z itibariyle hareketin saat yönünün tersinde (siklonik) bir dönüş gösterdiği görülmektedir. Bu hareketin yönündeki değişimi de şiddetli hava olaylarında aranan siklonik yapıyı oluşturması açısından bir basamak olarak değerlendirmek mümkündür. [3]



Şekil 6: 19 Z, 00 Z, 06 Z, 07 Z ve 08 Z yer seviyesi rüzgar haritaları (Plymouth State)

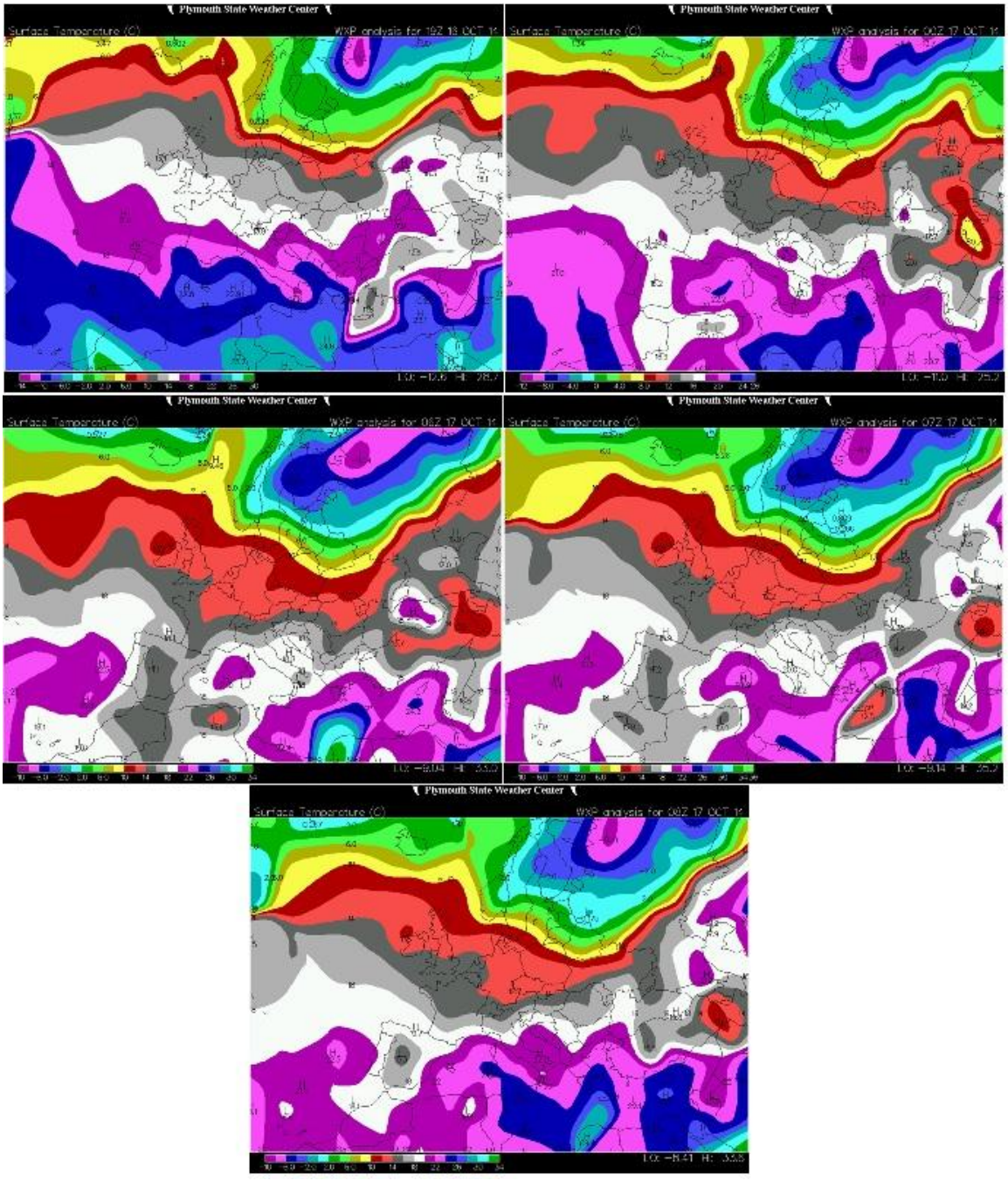
Yer seviyesi rüzgarlarına bakıldığında 16.10.2014 19Z ile 17.10.2014 08Z arasında rüzgar hızının 4 ila 9 knots arasında değiştiği görülmektedir. Dolayısıyla rüzgar hızında kayda değer bir artış görülmediği söylenebilir.



Şekil 7: 19 Z, 00 Z, 06 Z, 07 Z ve 08 Z yer seviyesi rüzgar yönleri haritaları (Plymouth State)

Yer seviyesi rüzgar yönleri incelendiğinde bölge üzerinde rüzgarın 50° ila 120° arasında değişim gösterdiği gözlenmiştir.

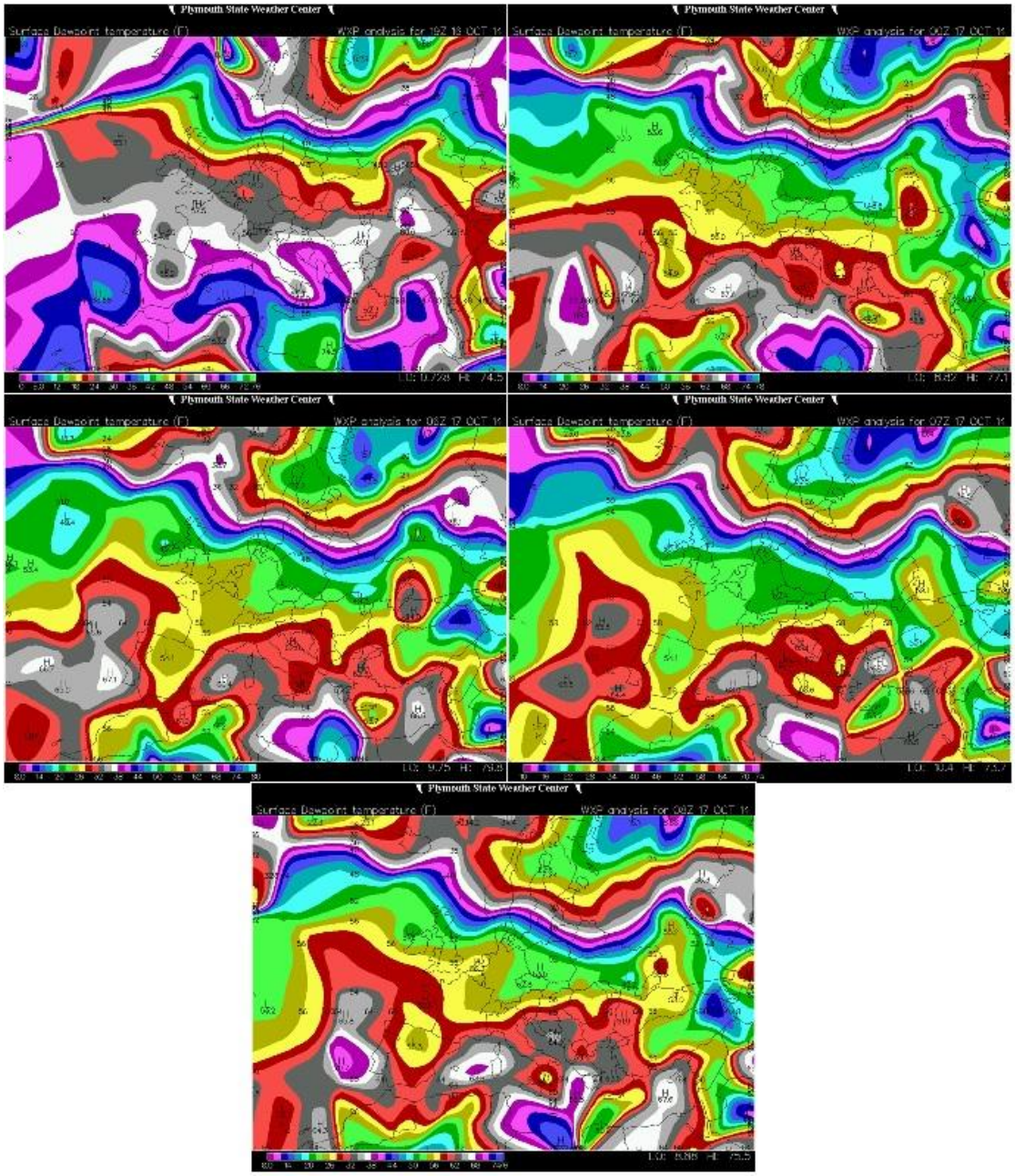
Yüzey Sıcaklığı Haritalarının İncelenmesi



Şekil 8: 19 Z, 00 Z, 06 Z, 07 Z ve 08 Z Yüzey sıcaklık haritaları (Plymouth State)

Yüzey sıcaklığı haritaları incelendiğinde; 16.10.2014 19Z ile 17.10.2014 08Z arasında sıcaklığın 16 °C ile 22 °C arasında değiştiği görülmektedir. Hadisenin gerçekleştiği zaman dilimine doğru Akdeniz üzerindeki yüksek basınç alanından bölgeye sıcak hava taşınımı olduğu da görülmektedir.

Yüzey Çiy Noktası Sıcaklığı Haritalarının İncelenmesi

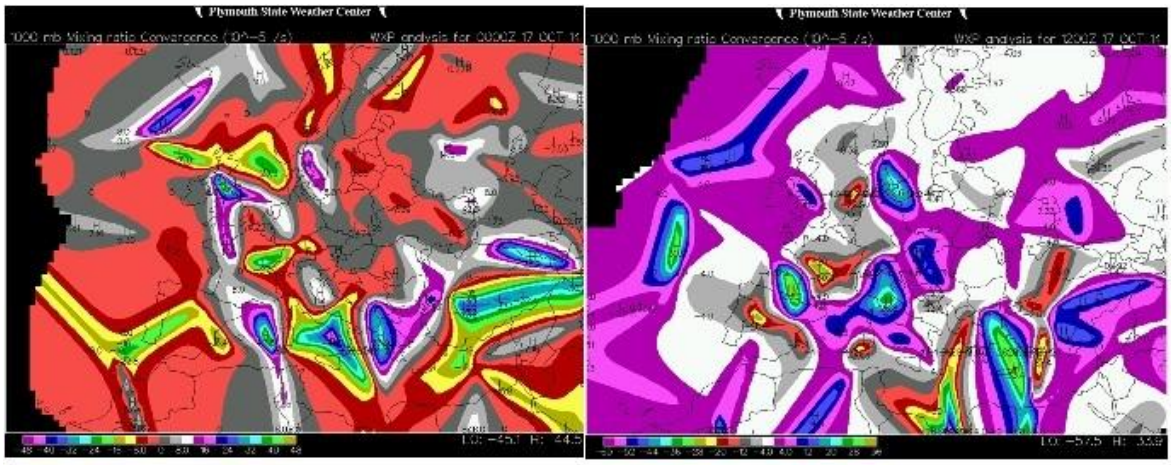


Şekil 9: 19 Z, 00 Z, 06 Z, 07 Z ve 08 Z Yüzey basınç haritaları (Plymouth State)

Yüzey çiy noktası sıcaklığı haritalarına bakıldığında, 16.10.2014 19Z ile 17.10.2014 08Z arasında hadisenin gerçekleştiği zaman dilimine doğru Akdeniz üzerindeki yüksek basınç alanından bölgeye sıcak hava taşınımıyla çiy noktası sıcaklığının 13°C'den 17°C'ye çıktığı görülmektedir.

Kuvvetli fırtınaların oluşumu için gerekli olan enerji ve nemin yüksek çiy noktası sıcaklıklarıyla sağlandığı bilinmektedir. Aynı zamanda yüksek çiy noktası sıcaklığına sahip alanlarda hava daha nemli iken daha düşük çiy noktası sıcaklığına sahip alanlarda ise hava daha kuru durumdadır. Alçak basınç sistemi yeterli miktarda nemin konverjansını sağlayarak oraj başlangıcı için uygun koşulları sağlar. [3]

1000 mb Seviyesi Nem Konverjansı Haritalarının İncelenmesi



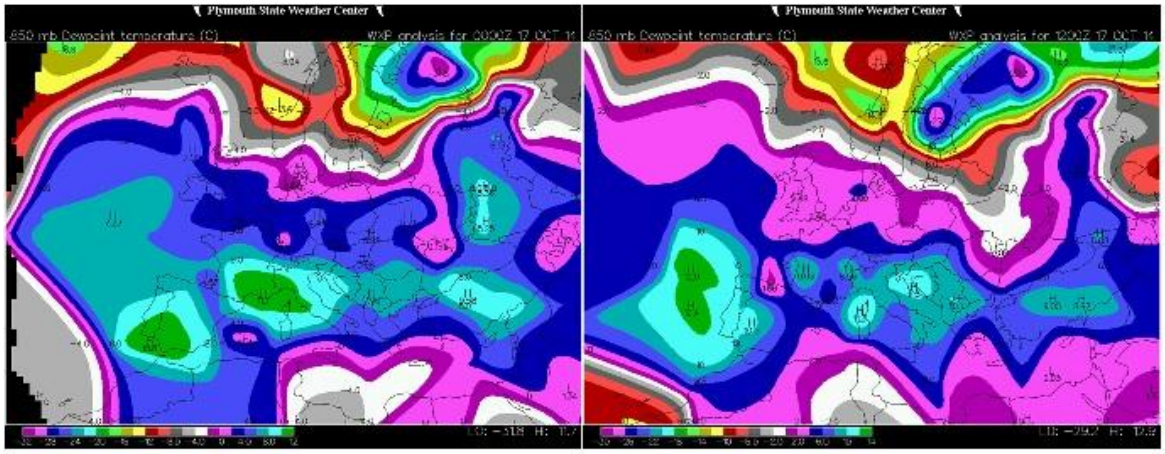
Şekil 10: 00 Z ve 12 Z 1000 mb nem konverjansı haritaları (Plymouth State)

1000 mb nem konverjansı haritaları analiz edildiğinde; 00Z'de konverjansın negatif olduğu yani diverjans durumu olduğu görülürken 12Z'de konverjansın pozitif değer aldığı görülmektedir.

Bunlara ilaveten, alçak basınç sisteminin hareket yönünün nasıl olacağını, nem tabakasının ne kadar derin olacağını ve atmosferin kararlılığını tespit edebilmek için yukarı seviye kartlarının analizi de gereklidir. [3]

Yukarı Seviye Ürünlerinin İncelenmesi

850 mb Seviyesi Çiy Noktası Sıcaklığının İncelenmesi

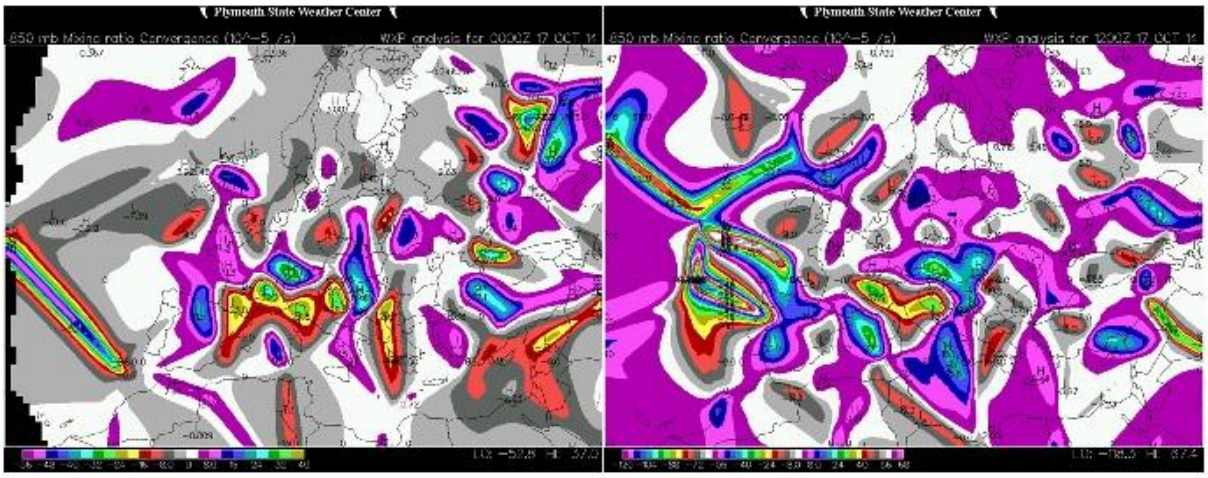


Şekil 11: 00 Z ve 12 Z 850 mb seviyesi çiy noktası sıcaklıkları haritaları (Plymouth State)

850 mb seviyesi Çiy Noktası Sıcaklıkları haritaları incelendiğinde;

Yüzey çiy noktası sıcaklığı haritalarında karşılaşılan duruma benzer şekilde bölgedeki çiy noktası sıcaklığının çevresine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum bu bölgede havanın çevresine göre daha nemli olduğu sonucunun çıkarılabileceği yorumuna imkan tanımaktadır.

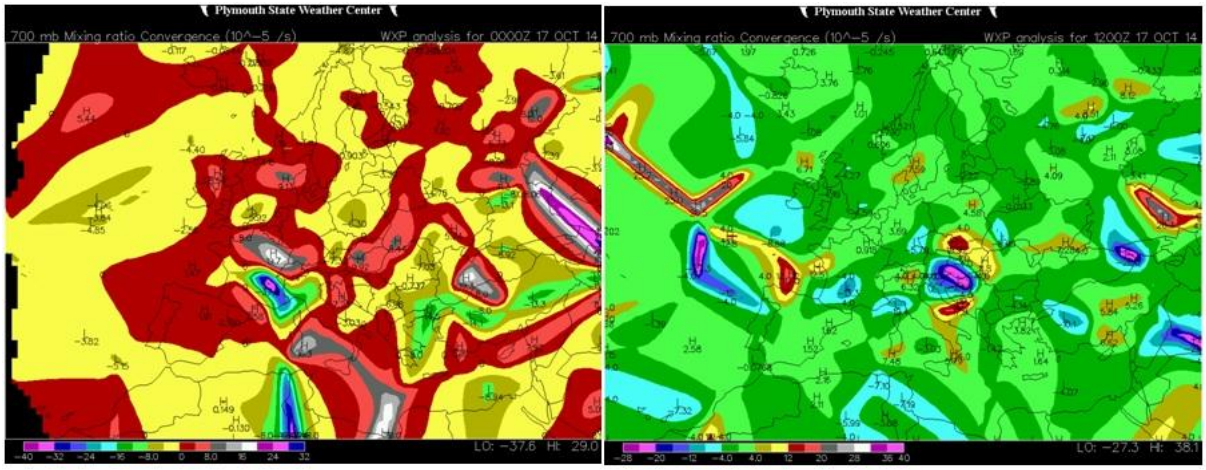
850 mb Seviyesi Nem Konverjansı Haritalarının İncelenmesi



Şekil 12: 00 Z ve 12 Z 850 mb nem konverjansı haritaları (Plymouth State)

850 mb nem konverjansı haritaları analiz edildiğinde; 1000 mb seviyesinde olduğu gibi 00Z'de konverjansın negatif olduğu 12Z'de ise konverjansın pozitif değer aldığı görülmektedir. Bu da nemin yukarı seviyelere doğru taşınımının sürdüğünü göstermektedir.

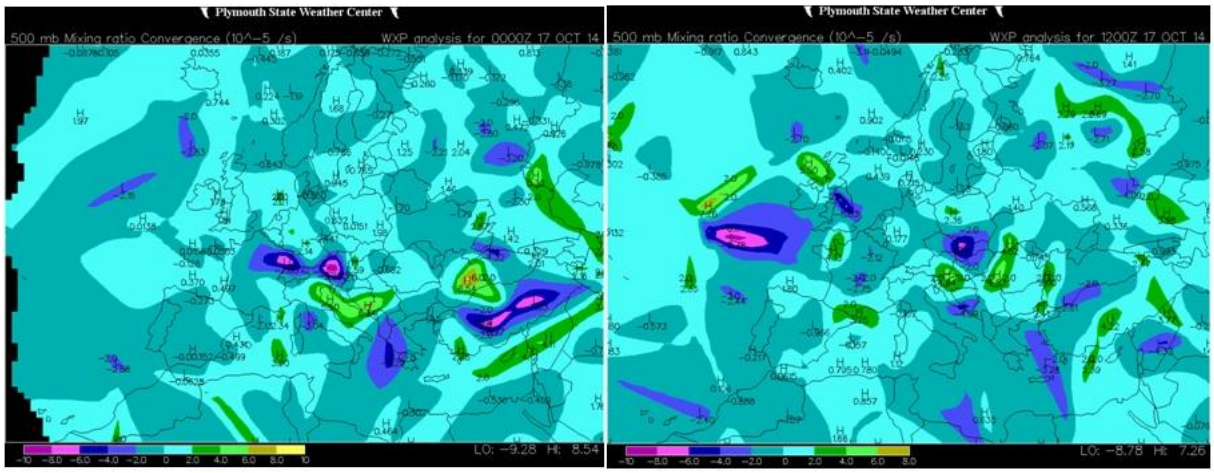
700 mb Seviyesi Nem Konverjansı Haritalarının İncelenmesi



Şekil 13: 00 Z ve 12 Z 700 mb nem konverjansı haritaları (Plymouth State)

700 mb nem konverjansı haritaları analiz edildiğinde; aşağı seviyelerdeki duruma benzer şekilde 00Z'de konverjansın negatif olduğu 12Z'de ise konverjansın pozitif değer aldığı ve nem taşınımının bu seviyede de sürdüğü görülmektedir.

500 mb Seviyesi Nem Konverjansı Haritalarının İncelenmesi

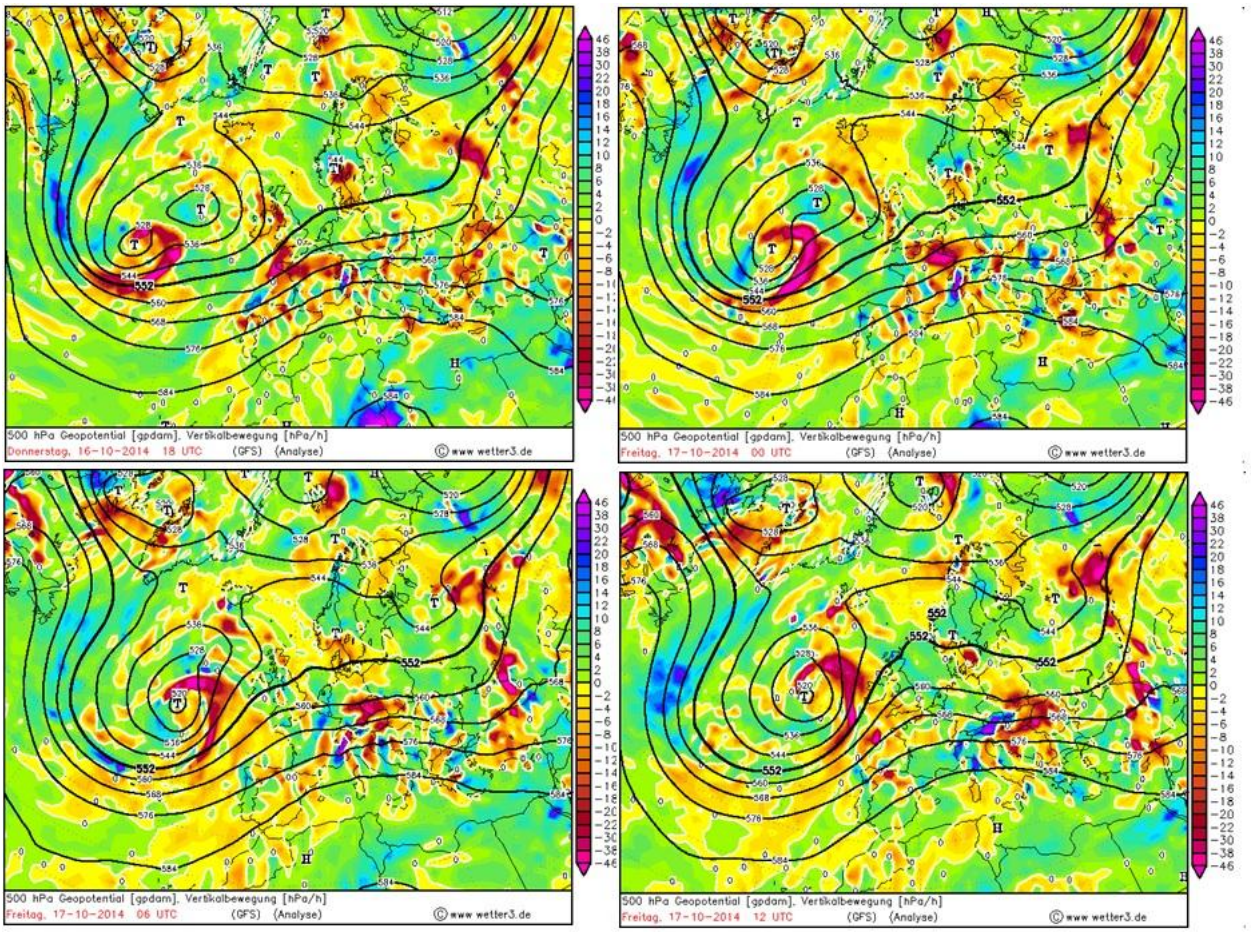


Şekil 14: 00 Z ve 12 Z 500 mb nem konverjansı haritaları (Plymouth State)

500 mb nem konverjansı haritaları analiz edildiğinde; aşağı seviyelerdeki duruma benzer şekilde 00Z'de konverjans negatif değer alır iken 12Z'de ise konverjansın sıfıra yakın değer aldığı

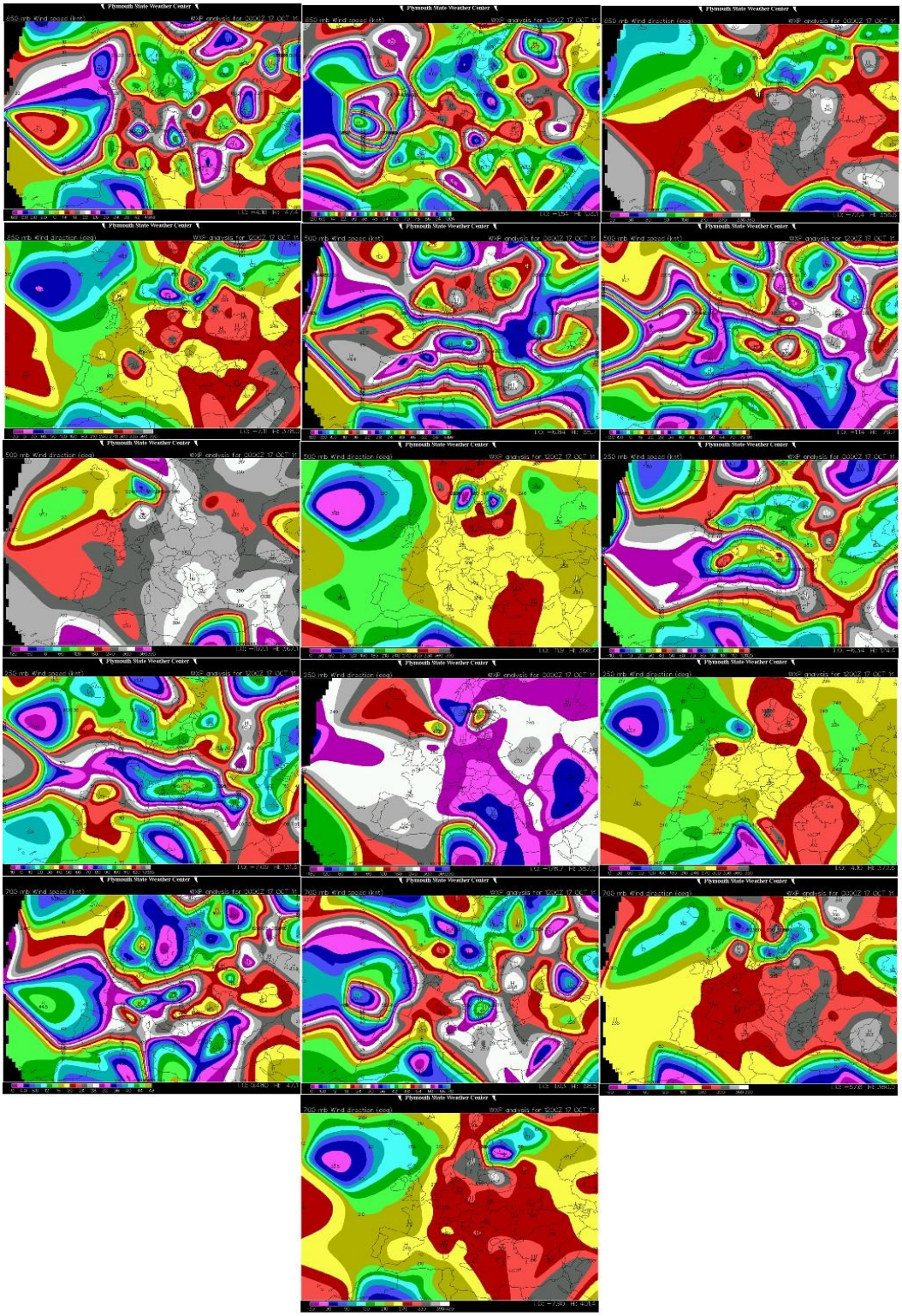
görülürken buna bağlı olarak yukarı seviyelere nem taşınımının daha fazla sürmeyeceği söylenebilir. Dolayısıyla nem tabakasının derinliğinin yer seviyesi ile 500 mb seviyesi arasında değişim gösterdiğinden söz edilebilir.

500 mb Seviyesi Jeopotansiyel Yükseklik ve Düşey Hız Haritalarının İncelenmesi



Şekil 15: 18 Z, 00 Z, 06 Z ve 12 Z Jeopotansiyel yükseklik ve düşey hız haritaları (Wetter)

500 mb seviyesi jeopotansiyel yükseklik ve düşey hız haritalarına bakıldığında; 17.10.2014 06Z'e kadar alçalıcı hareketleri ifade eden pozitif düşey hız değerlerinin negatif değerler almaya başladığı ve 12Z'de ise negatif düşey hızın ulaşabileceği negatif maksimum değerini aldığı yani yükselici hareketlerin en yüksek mertebeye ulaştığı söylenebilir.



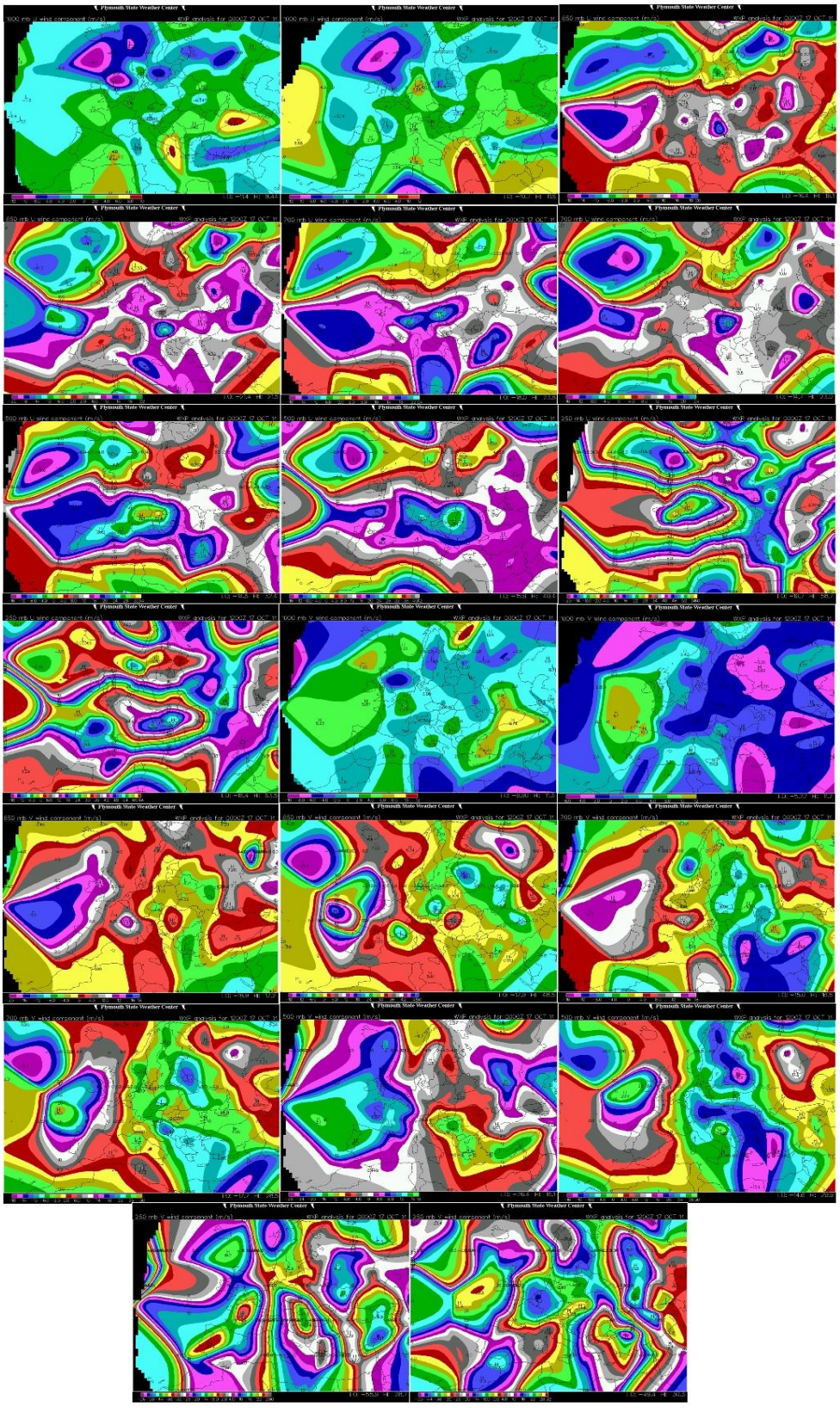
Şekil 16: 850 mb, 700mb, 500 mb ve 250 mb seviyeleri 00 Z ve 12 Z rüzgar hızı ve yönü haritaları (Plymouth State)

Tablo 1: Yer seviyesi ile yukarı seviyeler arasındaki rüzgar hızı ve yönünün değişimi

Basınç Seviyesi	**Rüzgar Hızı 17.10.2014 00Z**	**Rüzgar Hızı 17.10.2014 12Z**	**Rüzgar Yönü 17.10.2014 00Z**	**Rüzgar Yönü 17.10.2014 12Z**
Yer seviyesi	5 kt	8 kt	85° (DKD)	130° (DGD)
850 mb	5 kt	6 kt	225° (GB)	320° (KKB)
700 mb	26 kt	20 kt	340° (KKB)	280° (BKB)
500 mb	34 kt	27 kt	330° (KKB)	275° (BKB)
250 mb	38 kt	23 kt	350° (KKB)	285° (BKB)

Yer seviyesi ile yukarı seviyeler arasında rüzgar hızı ve yönünün değişimiyle ilgili tabloya bakıldığında; 700 mb seviyesinden itibaren rüzgarın 12 saatlik periyotta siklonik dönüş izlemeye başladığı ve 850 mb'dan sonra rüzgar hızındaki artış ve güneyli yönlerden kuzeyli yönlere dönüş olduğu dikkat çekmektedir.

Seviye rüzgarlarıyla ilgili bu değerlendirmeler yapıldıktan sonra rüzgarın u ve v bileşenlerinin seviye seviye nasıl değiştiği de incelenmiştir.



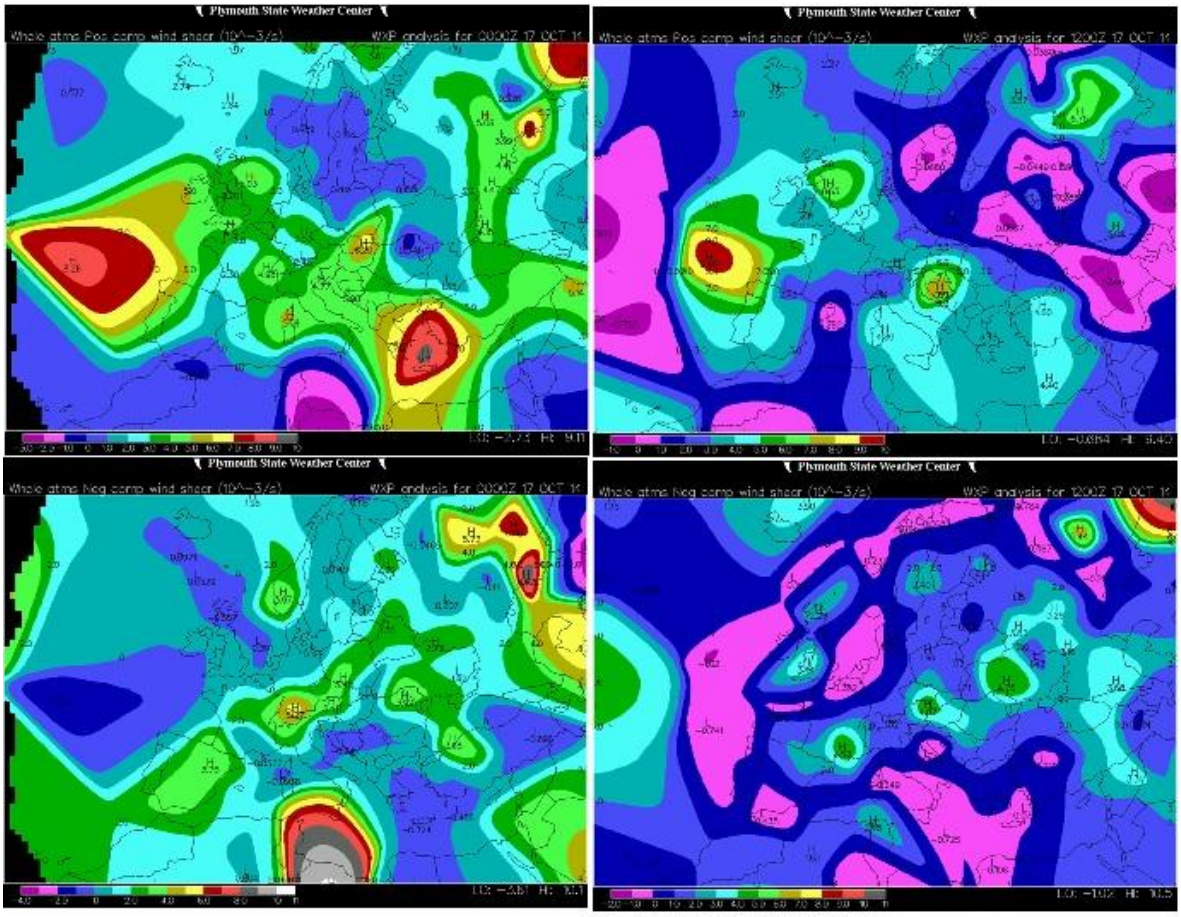
Şekil 17: 850 mb, 700mb, 500 mb ve 250 mb seviyeleri 00 Z ve 12 Z rüzgar u ve v bileşenleri haritaları (Plymouth State)

Tablo 2: Rüzgarın u ve v bileşenlerinin seviyelere göre değişimi

Basınç Seviyesi	**Rüzgarın u bileşeni 17.10.2014 00Z**	**Rüzgarın v bileşeni 17.10.2014 00Z**	**Rüzgarın u bileşeni 17.10.2014 12Z**	**Rüzgarın v bileşeni 17.10.2014 12Z**
1000 mb	-4 m/s	~0	-3 m/s	~0
850 mb	+3 m/s	+1 m/s	+2 m/s	-2 m/s
700 mb	+5 m/s	-14 m/s	+9 m/s	-4 m/s
500 mb	+8 m/s	-15 m/s	+15 m/s	-1 m/s
250 mb	+6 m/s	-20 m/s	+12 m/s	-2 m/s

Rüzgar bileşenleri incelendiğinde; 700 mb seviyesinden itibaren u bileşeninin her iki zaman dilimi içinde de +x yönünde artış kazandığı görülürken v bileşeni için ise 850 mb seviyesinden itibaren özellikle 00Z'de –y yönünde artış kazandığı ancak 12 Z'e gelinirken 700 mb seviyesinden itibaren -y yönünde bir azalma yaşadığı görülmektedir.

Rüzgarın düşey yapısını belirlemede etkili olan bir diğer faktör de rüzgar kesmesi bileşenidir ve pozitif ve negatif olmak üzere iki bileşeni mevcuttur.



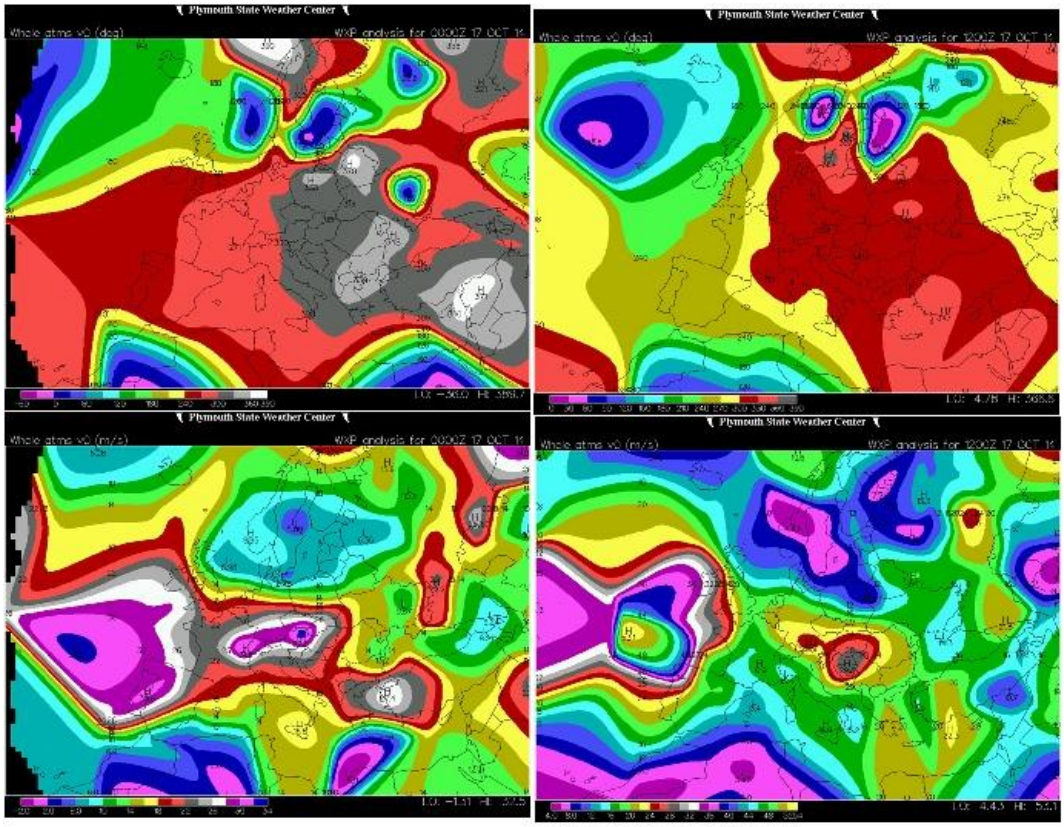
Şekil 18: 00 Z ve 12 Z rüzgar kesmesi bileşenleri haritaları (Plymouth State)

Tablo 3: 00 Z ve 12 Z pozitif ve negatif rüzgar kesmesi bileşenleri

Rüzgar Kesmesi Bileşenleri	**17.10.2014 00Z**	**17.10.2014 12Z**
Pozitif Rüzgar Kesmesi Bileşeni	+ 3	+ 1
Negaif Rüzgar Kesmesi Bileşeni	0	+ 2.5

Atmosfer sütununun tamamı için pozitif ve negatif rüzgar kesmesi bileşenleri incelendiğinde; pozitif rüzgar kesmesi bileşeninin zamanla azaldığı, negatif rüzgar kesmesi bileşeninin ise zamanla arttığı gözlenmektedir.

Bu bölümde son olarak tahmini fırtına hızı ve tahmini fırtına yönü incelenmiştir.



Şekil 19: 00 Z ve 12 Z tahmini fırtına hızı ve tahmini fırtına yönü haritaları (Plymouth State)

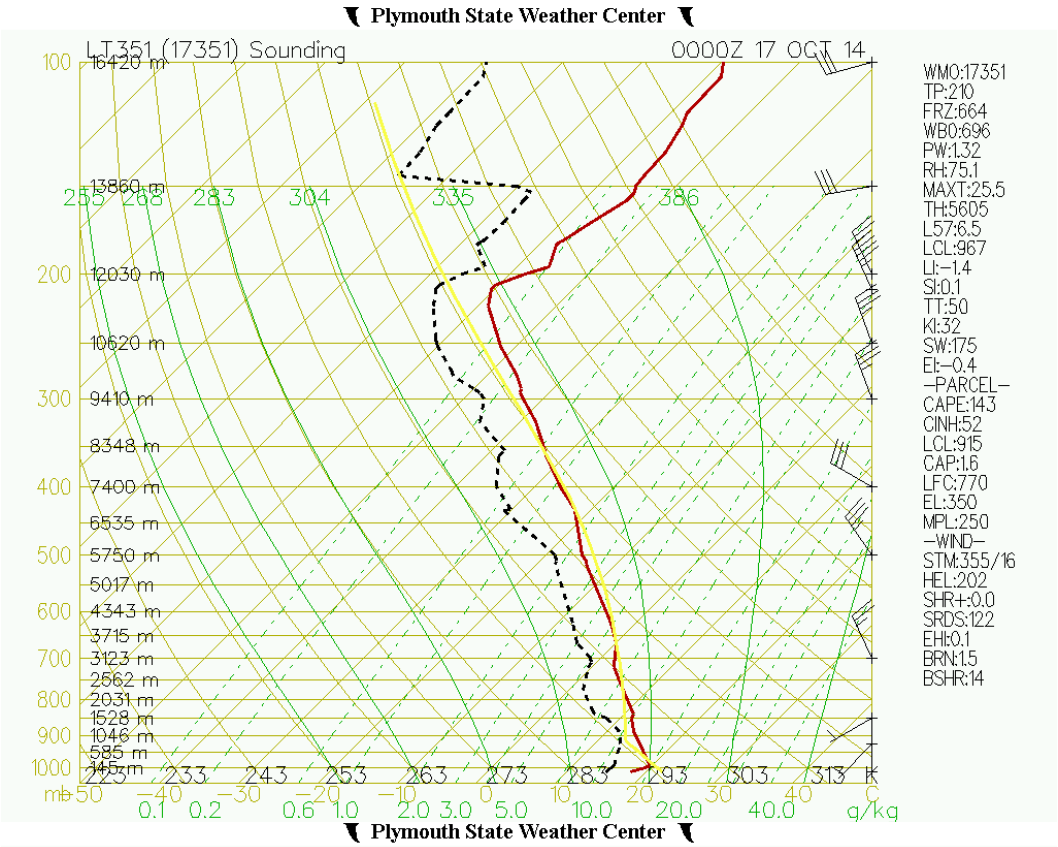
Tablo 4: 00 Z ve 12 Z tahmini fırtına hızları ve yönleri

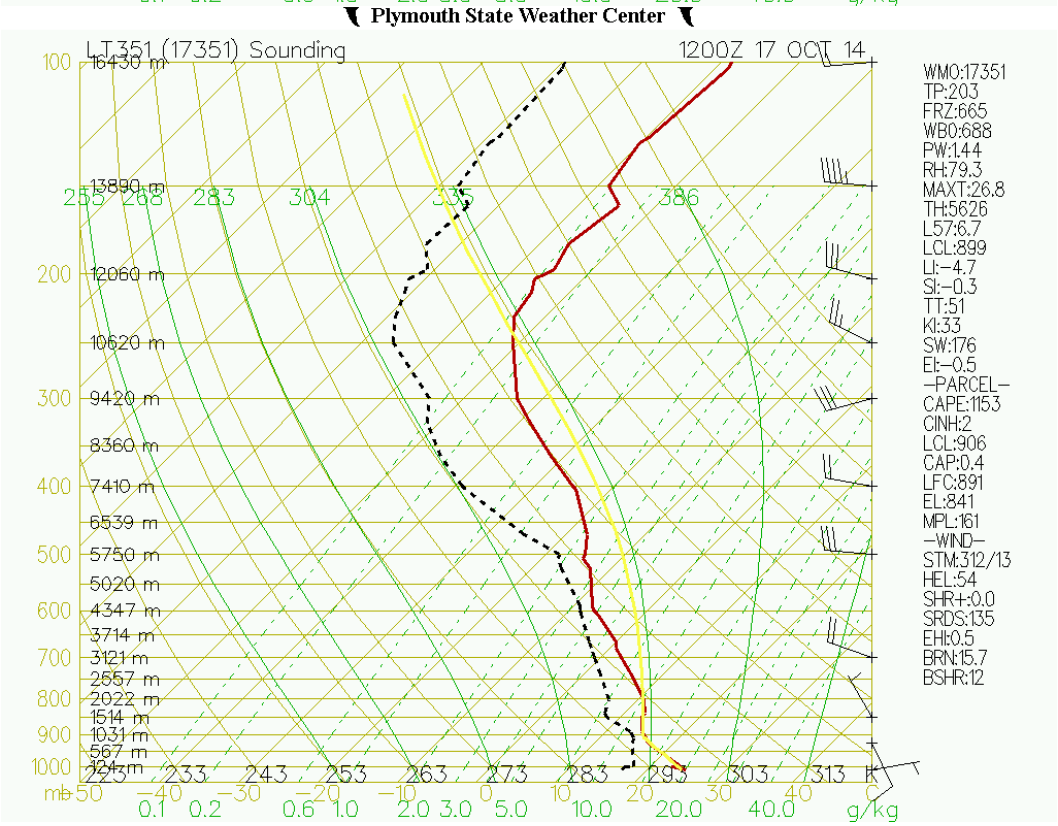
	17.10.2014 00Z	**17.10.2014 12Z**
Tahmini Fırtına Hızı	15 kt	13 kt
Tahmini Fırtına Yönü	5°	320°

Atmosfer sütununun tamamı için 17.10.2014 00Z ve 12Z tahmini fırtına hızı ve yönü verileri incelendiğinde fırtınanın tahmini olarak 13 ila 15 knot hızında hareket ettiği ve KKB ile KKD arasında bir yönde ilerleyeceği öngörülmektedir.

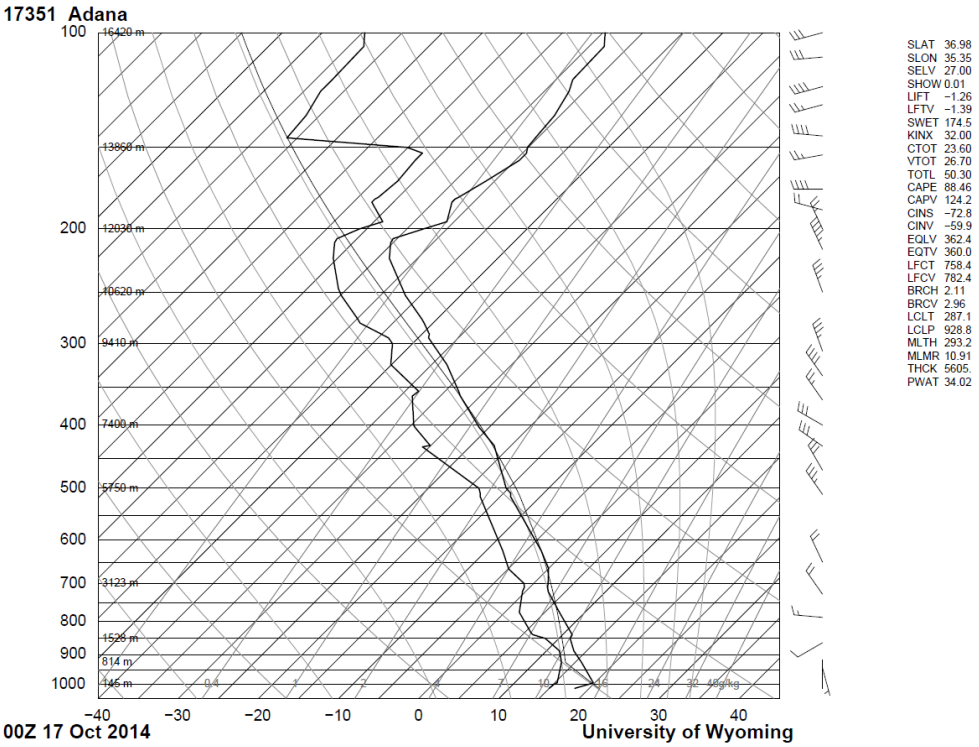
Yukarı Seviye Ürünlerinin İncelenmesi

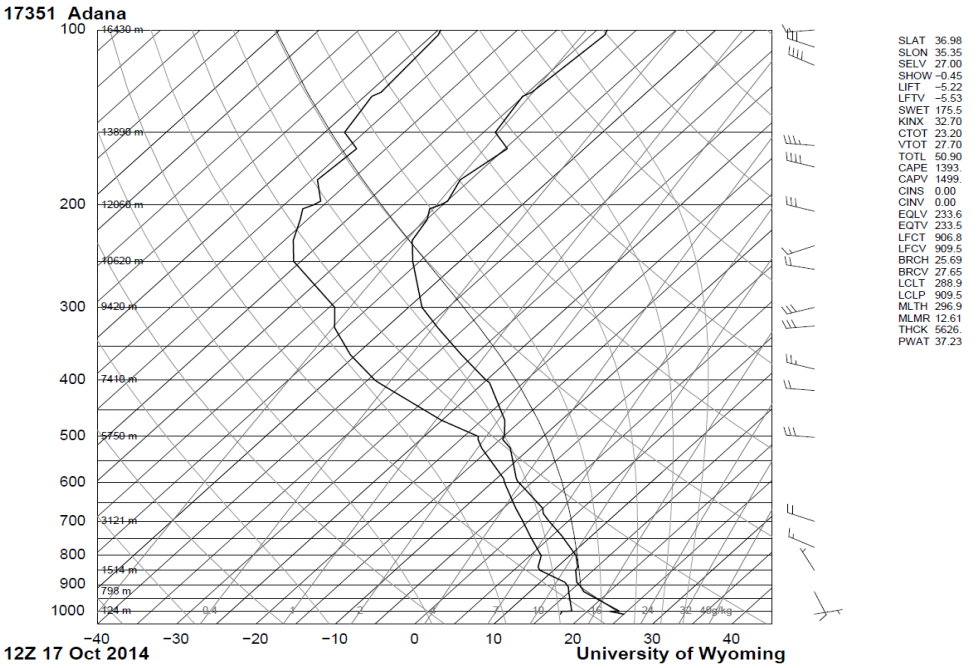
Skew-T-LogP Diyagramı





Şekil 20: Plymouth State Weather Center kaynaklı, 17351 Adana Bölge istasyonu için 17.10.2014 00Z ve 12Z tarihli Skew-T-LogP diyagramları (Plymouth State)





Şekil 20: University of Wyoming kaynaklı, 17351 Adana Bölge istasyonu için 17.10.2014 00Z ve 12Z tarihli Skew-T-LogP diyagramları (University of Wyoming)

Plymouth State Weather Center ve University of Wyoming'ten alınan 17351 Adana Bölge istasyonu için 17.10.2014 00Z ve 12Z tarihli Skew-T-LogP diyagramları incelendiğinde şu sonuçlara varılmıştır;

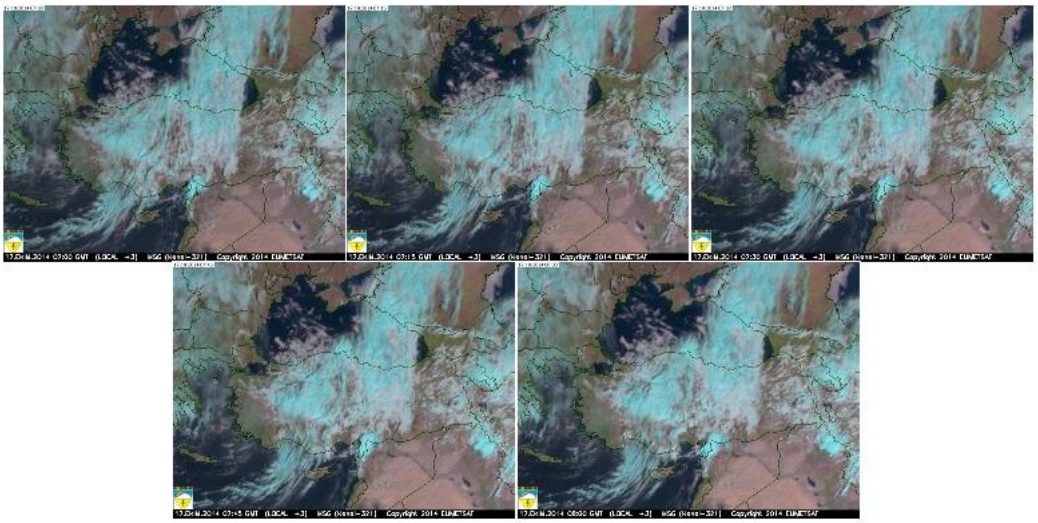
- LCL seviyesi 900 mb'lar mertebesindedir.
- LFC seviyesi 750-800 mb düzeyinden 900 mb düzeyine kadar inmiş ve LFC seviyesi ile yer seviyesi arasındaki yükseklik farkı 2000 m'lerden 1000 m mertebelerine kadar inmiş şöyle ki LFC seviyesi yer seviyesinden 2000 m'den daha alçak bir mesafede yer alıyorsa süper hücrelerin bünyesinde hortum olayının da barınması daha muhtemel hale gelmektedir. [4]
- LFC ile LCL seviyeleri birbirine ne kadar yakınsa konveksiyonun derinliği de o kadar büyük olmaktadır.
- Hava parselinin hareketine bakıldığında atmosfer sütununda kararsız atmosfer koşullarının mevcut olduğu görülmüştür.
- CAPE değeri 1000-1500 arasında yani orta düzeyde kararsızlık sözkonusu,
- Lifted Indeks değeri -1'lerden -5'lere inmiş şöyle ki Lifted Indeks değerinin -4'den daha küçük olması şiddetli oraj olasılığını arttırır.
- K Indeks değeri 32-33 arasında, bu da orta düzeyde konvektif potansiyelin mevcut olduğunu belirtmektedir.
- SWEAT Indeks 175-176 arasında değer almış yani çok şiddetli olmayan oraj yapıları sözkonusudur.
- Bulk-Richardson sayısı 10'un üzerinde yani süper hücreler açısından uygun koşullar mevcuttur.
- Energy Helicity Indeks değeri 0.1'den 0.5'e çıkmış, ancak 1 değerinden küçük olduğu için hortum riski düşmektedir. Ancak olayın 07Z civarında gerçekleştiği ve diyagramın 12Z'de oluşturulduğu da unutulmamalıdır. [5]

3.2. Hortumun Uydu ve Radar Ürünleri Kullanılarak Tesbiti

3.2.1. Uydu Ürünlerinin İncelenmesi

Olayla ilgili sinoptik durumlar ortaya konulduktan sonra olayın uzaktan algılama ürünleri aracılığıyla görüntülere nasıl yansıdığının belirlenip tespit edilmesi büyük önem arzetmektedir. Bu bağlamda uzaktan algılama ürünlerinden ilk olarak uydu ürünleri incelenmiştir. Uydu ürünleri incelenirken dikkat edilmesi gereken bir husus paralaks olarak adlandırılan görüntü kayması probleminin bulutun yerini belirli bir hatayla gerçek yerinden biraz daha farklı gösterdiğidir.

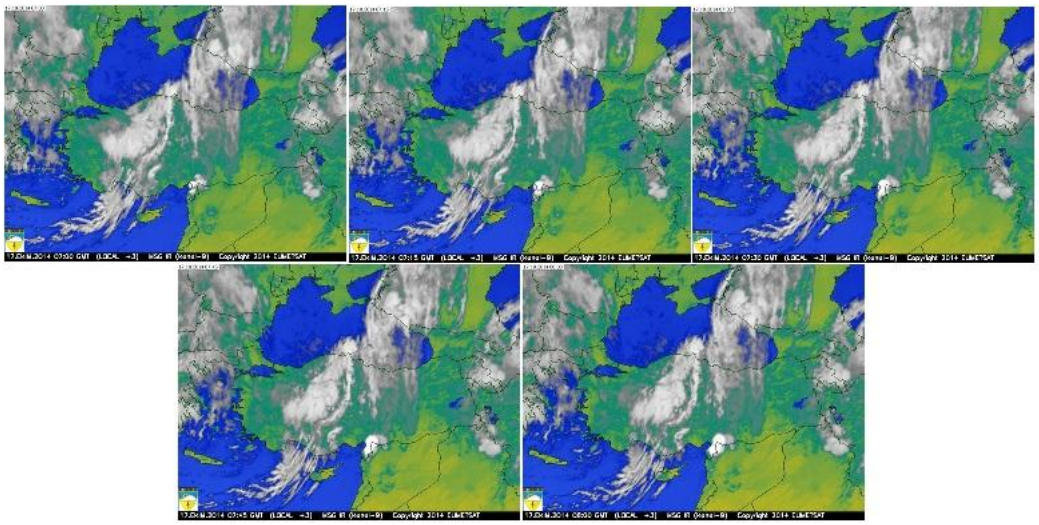
Görünür Kanal Uydu Görüntülerinin İncelenmesi



Şekil 21: 17.10.2014 tarihi için TSİ 10:00-11:00 arasına ait görünür kanal uydu görüntüleri (Uzaktan algılama ürün arşiv sistemi)

Görünür Kanal Uydu Görüntüleri incelenirken hortum gibi hadiselerin tesbitinde görünür kanalda dikkat edilen husus; daha parlak renge sahip ve siklonik dönüş yaptığı bilinen hareketin görülebilmesidir. 17.10.2014 tarihi için TSİ 10:00-11:00 arasına ait görüntülerde Hatay üzerinde parlak renkte ve dönüş yaptığı düşünülen daire şeklinde bulutun mevcut olduğu söylenebilir.

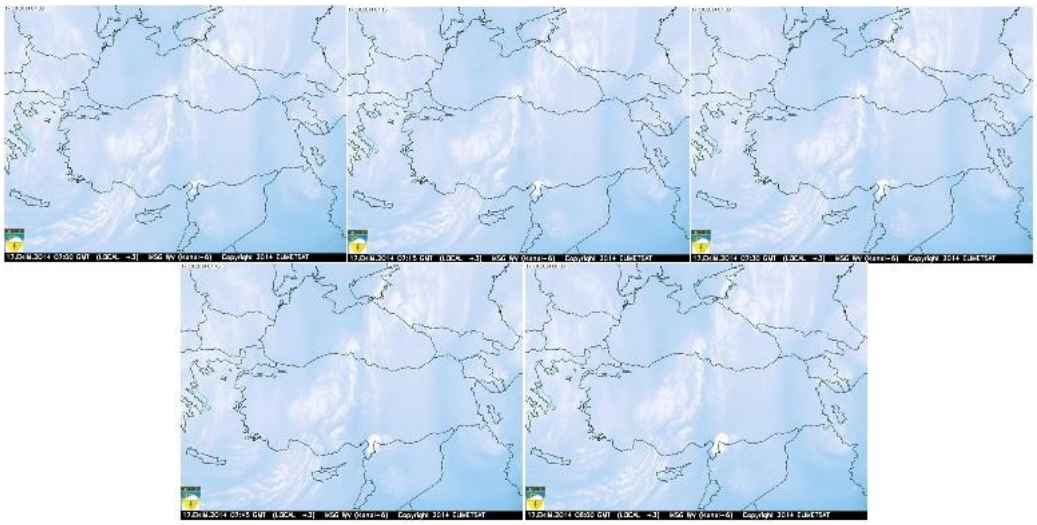
Kızılötesi Kanal Uydu Görüntülerinin İncelenmesi



Şekil 22: 17.10.2014 tarihi için 07 Z, 07:15 Z, 07:30 Z, 07:45 Z ve 08 Z kızılötesi kanalı uydu görüntüleri (Uzaktan algılama ürün arşiv sistemi)

Kızılötesi Kanalı Uydu Görüntüleri incelenirken hortum gibi hadiselerin tesbitinde kızılötesi kanalda dikkat edilen husus; soğuk ve parlak renkli bulutların derin nem tabakasını ve daha yükseğe çıkabilen daha soğuk oraj bulutlarını göstermesidir. Buradaki görüntülerde Hatay üzerindeki bulutların zaman aralığı boyunca parlak renkte olduğu görülebilmektedir.

Su Buharı Kanalı Uydu Görüntülerinin İncelenmesi

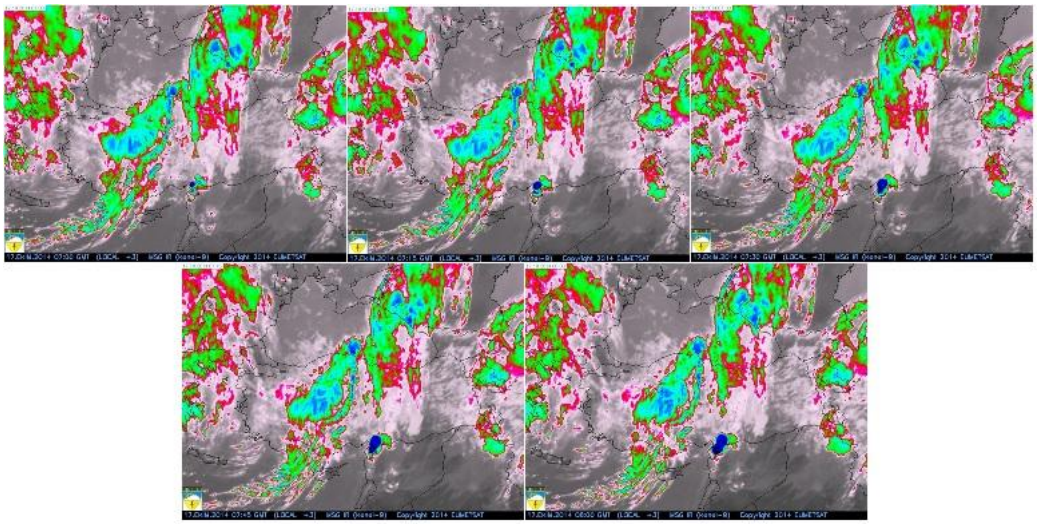


Şekil 23: 17.10.2014 tarihi için 07 Z, 07:15 Z, 07:30 Z, 07:45 Z ve 08 Z subuharı kanalı uydu görüntüleri (Uzaktan algılama ürün arşiv sistemi)

Su Buharı Kanalı Uydu Görüntüleri incelenirken hortum gibi hadiselerin tesbitinde bu kanalda dikkat edilen husus; daha parlak renkli yerlerin nemli yerleri belirtmesinin yanısıra şiddetli hava olaylarına daha meyilli olması ve bulut tepeleri stratosfere kadar yükselen fırtınaların büyük önem arz etmesidir. Bu görüntülerde de Hatay üzerinde daha parlak renkli bulutların mevcut olduğu görülebilmektedir

Diğer Uydu Ürünlerinin İncelenmesi

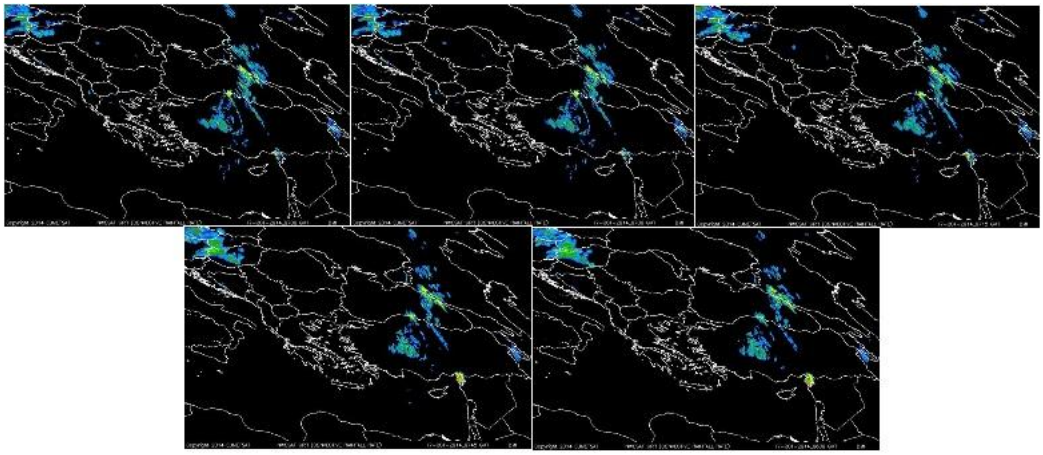
Infrared Channel 9 Enhanced View Uydu Görüntülerinin İncelenmesi



Şekil 24: 17.10.2014 tarihi için 07 Z, 07:15 Z, 07:30 Z, 07:45 Z ve 08 Z infrared channel 9 enhanced view uydu görüntüleri (Uzaktan algılama ürün arşiv sistemi)

Infrared Channel 9 Enhanced View uydu görüntülerinde mavi renkli alanlar daha yüksekteki daha soğuk oraj yapılarını göstermektedir. Buradaki görüntülerde de görüldüğü üzere Hatay üzerinde bu yapılar mevcuttur

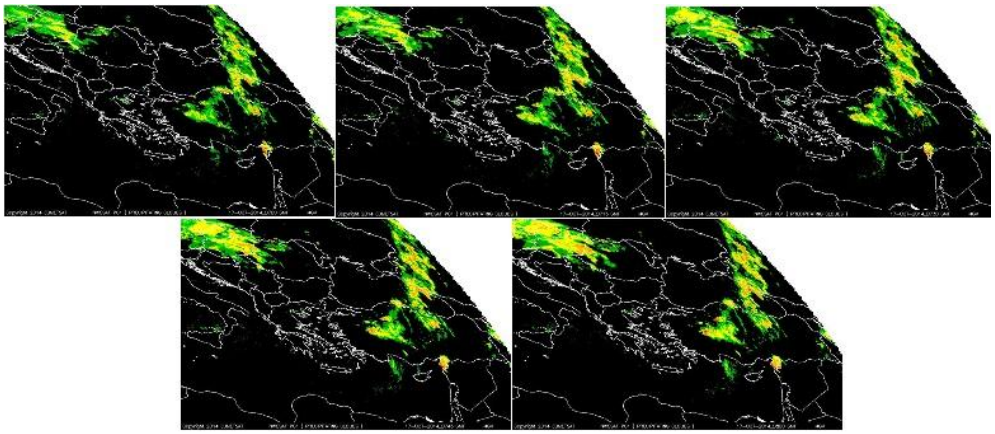
Nowcasting SAF Konvektif Yağış Oranı Ürününün İncelenmesi



Şekil 25: 17.10.2014 tarihi için 07 Z, 07:15 Z, 07:30 Z, 07:45 Z ve 08 Z konvektif yağış oranı ürünleri (Uzaktan algılama ürün arşiv sistemi)

Uyduda Nowcasting SAF olarak tanımlanan uygulamalar içerisinde yer alan Konvektif Yağış Oranı ürününün dikkat çeken özellikleri; radar verisinin yetersiz kaldığı zamanlarda ve konveksiyon etkisinin hakim olduğu zamanlarda daha kullanışlı olması ve radarda daha düşük sinyalle gösterilebilen alanları görece daha kuvvetli yağış alanı olarak gösterebilmesidir. **[6]** Buradaki görüntülerde de Hatay üzerinde konvektif yapının daha etkili olduğu söylenebilir.

Nowcasting SAF Yağış Bırakan Bulutlar Ürününün İncelenmesi



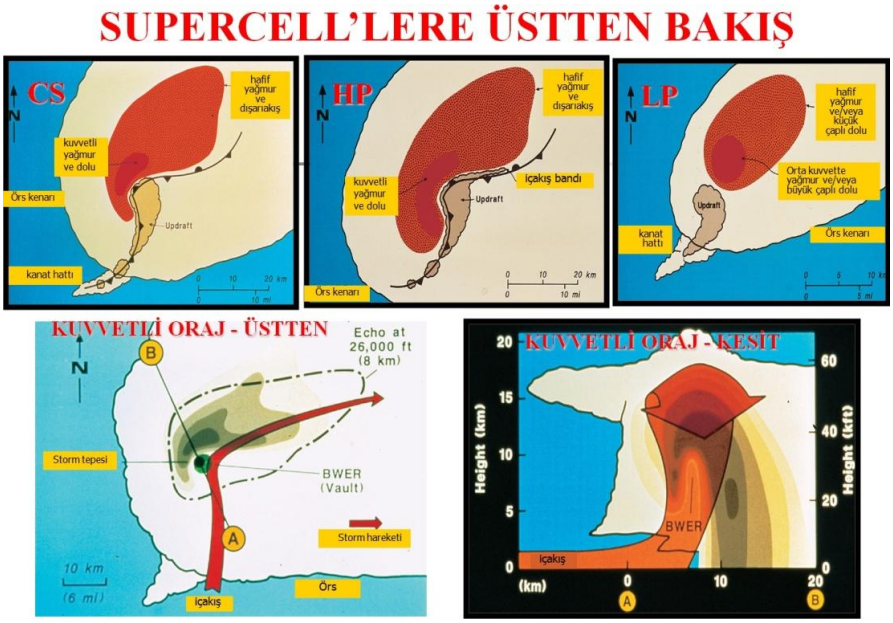
Şekil 26: 17.10.2014 tarihi için 07 Z, 07:15 Z, 07:30 Z, 07:45 Z ve 08 Z yağış bırakan bulutlar ürünleri (Uzaktan algılama ürün arşiv sistemi)

Nowcasting SAF ürünlerinden bir diğeri olan Yağış Bırakan Bulutlar ürünü de Konvektif Yağış Oranı ürünü gibi radar verisinin yetersiz kaldığı zamanlarda kullanışlı olan ve radar ile yüzey

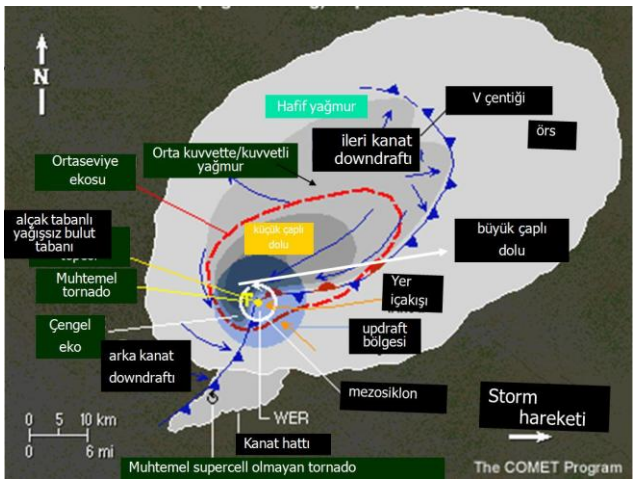
ölçümlerini doğrulamada kullanılabilen bir üründür. **[6]** Daha önceki uydu görüntülerinde ve uydu ürünlerinde olduğu gibi bu görüntülerde de Hatay üzerinde etkili olan yapı mevcuttur.

3.2.2. Radar Ürünlerinin İncelenmesi

Radar ürünlerinde incelemeya başlamadan önce aşağıdaki şekillerin incelenmesi radar görüntülerinin yorumlanmasına da katkı sağlayacaktır.



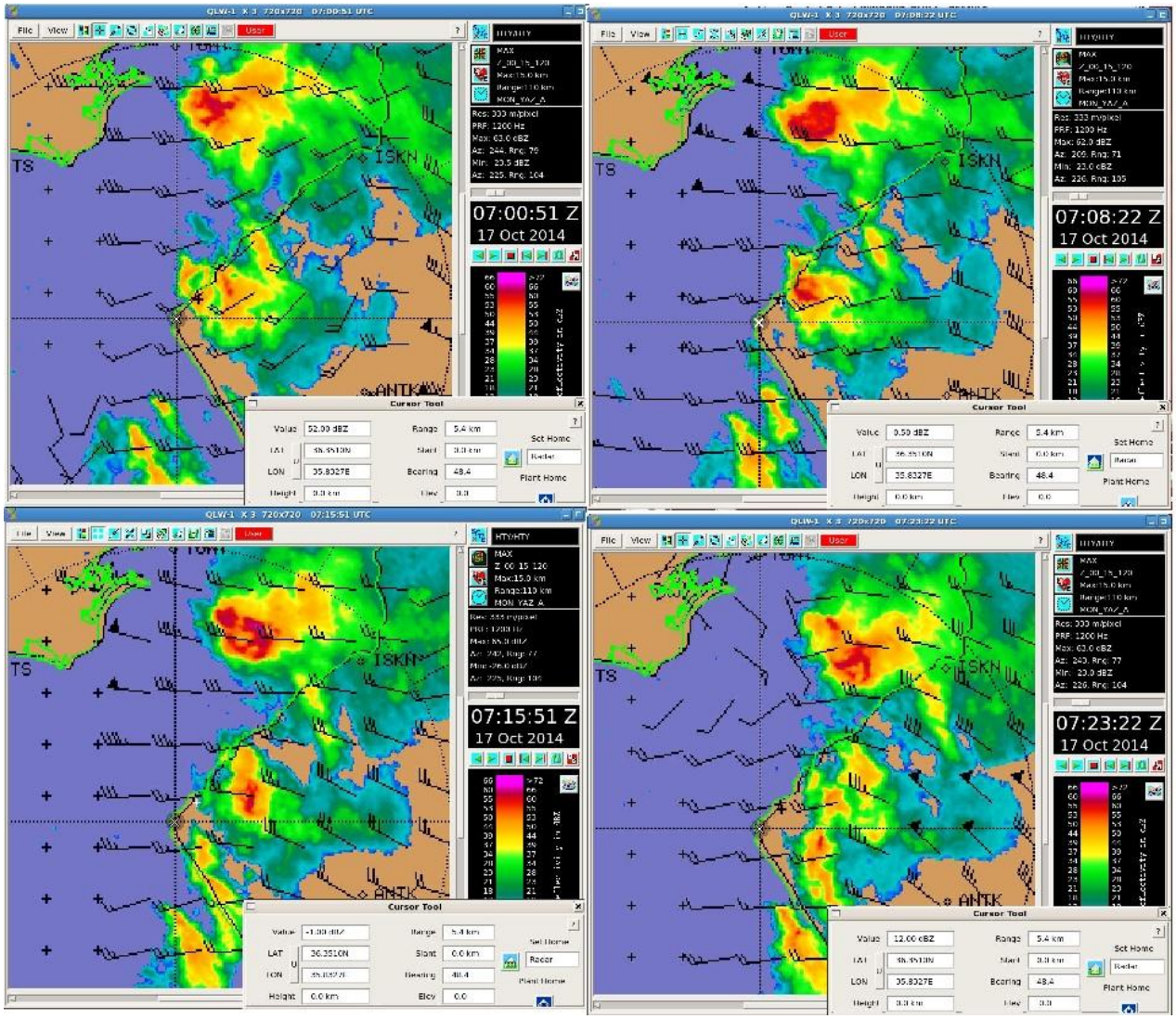
Şekil 27: Süpercell yapılarına üstten bakış



Şekil 28: Süpercell yapısı ve özellikleri

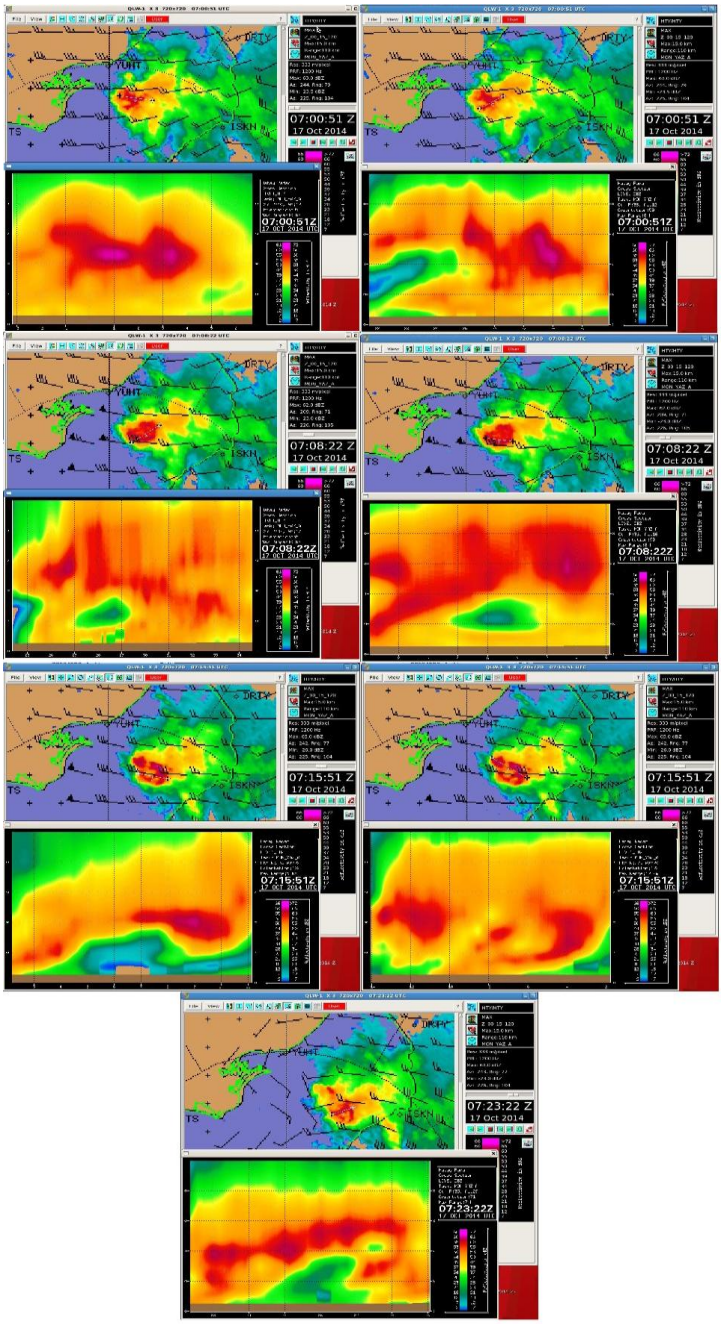
İlk şekildeki süper hücre yapılarından CS (Klasik Süperhücreler) ve HP (Kuvvetli Yağışlı Süperhücreler) hortum oluşumuna daha meyilli yapılardır. Süperhücreli fırtınalar çok kuvvetli yukarı yönlü hava akımlarıyla ilişkili olduğundan yukarıda pek çok yağış parçaçığı havada asılı halde kalır. Bu şekilde oluşan girinti radarda gözlendiğinde bir zayıf sinyal bölgesi yani WER olarak ortaya çıkar. Bu kuvvetli yukarı yönlü hava akımlarının varlığını sürdürmesi WER yapısında değişikliğe yol açar. Orta seviyedeki bu girinti zaman zaman bir boşluk oluşturur, oluşan bu boşluk BWER olarak adlandırılan sınırlanmış zayıf sinyal bölgesidir. **[7]**

MAX Reflektivite ve LIVE Düşey Kesit Ürünlerinin İncelenmesi



Şekil 29: 17.10.2014 tarihi için TSİ 10:00-10:23 arası hatay max reflektivite ürünleri (Uzaktan algılama ürün arşiv sistemi)

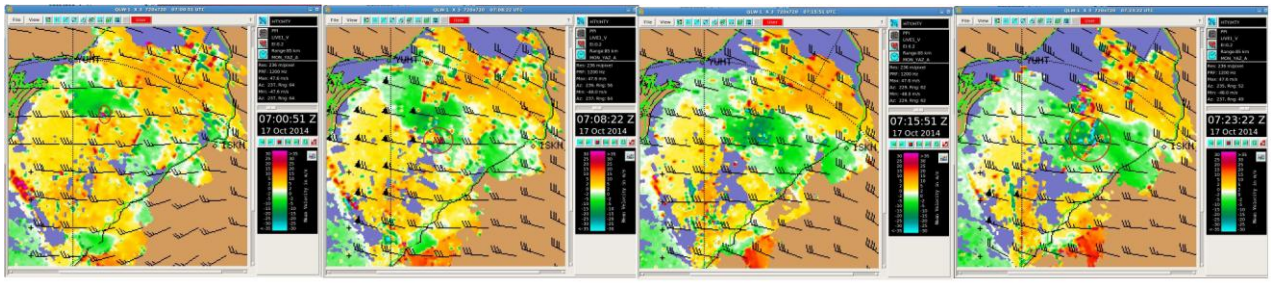
17.10.2014 tarihi için TSİ 10:00-10:23 arası Hatay MAX reflektivite görüntüleri incelendiğinde; İskenderun Körfezi açıklarında içerisinde 60 dBZ ve üzeri reflektiviteyi de barındıran kuvvetli oraj yapısı ve süperhücre içerisinde hortum yapısıyla birlikte mevcut olan V yapısı görülebilmektedir



Şekil 30: 17.10.2014 tarihi için TSİ 10:00-10:23 arası live düşey kesit ürünleri (Uzaktan algılama ürün arşiv sistemi)

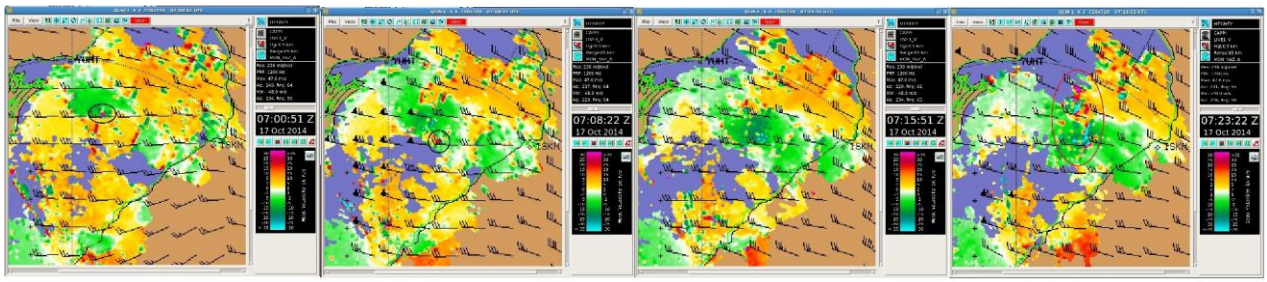
LIVE Düşey kesit ürünleri incelendiğinde; içerisinde 60 dBZ ve üzeri reflektivite de mevcut olan, çekirdeği düşeyde 8 km'ye ulaşan ve dolu yağışı, orta kuvvetli ve kuvvetli sağanak yağış, V çentiği, çengel eko ve BWER bölgelerini de içeren kuvvetli süper hücre yapıları dikkat çekmektedir. **[8]**

PPI ve CAPPI Hız Ürünlerinin İncelenmesi



Şekil 31: 17.10.2014 tarihi için TSİ 10:00-10:23 arası ppi taraması yardımıyla üretilen hız ürünleri (Uzaktan algılama ürün arşiv sistemi)

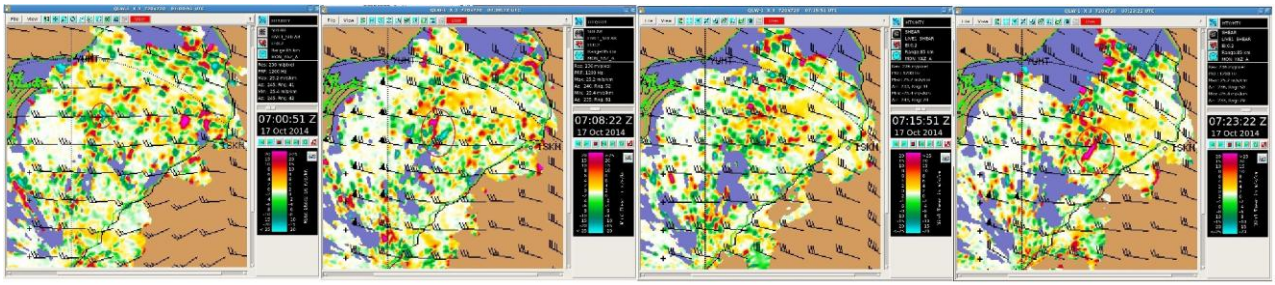
PPI taraması yardımıyla üretilen hız ürünleri incelendiğinde; Doppler radarlarda mezosiklon yapılarının özelliği olan ve 2-10 km çapında gelen (radara yaklaşan pozitif işaretli) ve giden (radardan uzaklaşan negatif işaretli) hızlar toplamı 50-150 kt (25-75 m/s) hıza sahip olacak şekilde siklonik dönüşü gösteren ve birbirine yakın konumdaki ters işaretli hızlar görüntülerde işaretlenmiştir.



Şekil 32: 17.10.2014 tarihi için TSİ 10:00-10:23 arası cappi hız ürünleri (Uzaktan algılama ürün arşiv sistemi)

Buradaki CAPPI hız ürünleri radar sahasından itibaren 0.5 km yükseklik seviyesindeki CAPPI ürününün hız için türetilmesiyle oluşturulmuş olup PPI hız ürünleriyle benzer mantık içerisindedir ve çalışmada incelenen PPI hız ürünleriyle örtüşmektedir.

Rüzgar Kesmesi SHEAR Ürününün İncelenmesi



Şekil 33: 17.10.2014 tarihi için TSİ 10:00-10:23 arası rüzgar kesmesi shear ürünleri (Uzaktan algılama ürün arşiv sistemi)

Rüzgar hızı ve yönündeki, yatayda ve düşeyde meydana gelen değişimleri gösteren SHEAR ürünleri incelendiğinde; rüzgar kesmesinin yüksek olduğu ve zıt işaretli değerlerin birbirine yakın olduğu bölgeler PPI ve CAPPI hız ürünlerini destekler niteliktedir.

Radar ürünlerinin bütününe bakıldığında hortum hadisesini destekleyecek türden gelişimlerin mevcut olduğu ve hadisenin tespit edilebilmesi açısından kolaylık sağladığı söylenebilir. **[8]**

4. SONUÇLAR

Hortumlar dünyada meydana gelen en şiddetli, en ekstrem hava durumları arasında olup meteorolojik kaynaklı doğal afet kategorisinde değerlendirilmektedir. Dünyanın birçok alanında gerçekleşen bu ekstrem olay ülkemiz sınırları içerisinde gerçekleşme sıklığı giderek artmış olup, zaman zaman can ve mal kaybına varan sonuçlara sebep olmaktadır. Genel olarak şiddetli hava olaylarının incelenmesinde ve ya tahmininde atmosferde rüzgar akış durumları ve sıcaklık gelişmelerinin olduğu alanlar aranmaktadır. Bu alanlar hortum dahil ekstrem hava olaylarını yaratan Cb bulutları için, rüzgar şiri, nem, kararsızlık ve yükselmeye sebep olabilmektedir. Çünkü rüzgar şiri, nem, kararsızlık ve yükselme genel itibariyle ekstrem hava olaylarından hortumun bileşenleri arasında gösterilmektedir. Ancak bu söylenildiği kadar kolay değildir. Durumdan duruma değişkenlik gösteren bu değişkenlerin bu esktrem olayları oluşturmada ne kadar yeterli olduğu bilinmemektedir. [9] Yapılan bu çalışmada Hatay ili İskendurun Körfezi açıklarında meydana gelen ve kaynaklara göre 5 dakika sürdüğü belirtilen hortumun oluşumuna sebep olabilecek değişkenler analiz edilmiş gelişim süreci uydu ve radar ürünleriyle ayrıntılı şekilde incelenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] http://www.mgm.gov.tr/, *Meteorolojik Kaynaklı Doğal Afetler.*

[2] Deniz, A. (2012). Hortum (http://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/afetler/hortum.pdf)

[3] Cooperative Institute For Meteorological Satellite Studies (1996). Tornado! *** The Oakfield, Wisconsin Case Study ***. (http://cimss.ssec.wisc.edu/oakfield/cs1.htm)

[4]University Corporation for Atmospheric Research (2002). Supercells.

[5] Thompson, R. Explanation of SPC Severe Weather Parameters. (http://www.spc.noaa.gov/sfctest/help/sfcoa.html)

[6] Putsay, M. (2011). Nowcasting Applications.

[7] Gayretli, S. (2006). Süpercell Oluşumu ve Çeşitleri**.** Hava Tahminleri Dairesi Başkanlığı, DMİ.

[8] Eminoğlu, S. (2011). Radar Meteorolojisi ve Radar Ürünleri. Hava Tahminleri Dairesi Başkanlığı, DMİ.

[9] Akgün, N. (2005). Tornadolar. (http://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/tornado.pdf)

Deniz Etkisi Kar Yağışları ve Gök Gürültüsü 7 Ocak 2015 Trabzon Örneği

Metehan BÜYÜKKAYA
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Havalimanı Meteoroloji Müdürlüğü
Trabzon
mbuyukkaya@mgm.gov.tr

ÖZET

Deniz etkisiyle oluşan kar yağışları, ülkemizde en çok Karadeniz ve Marmara kıyılarında görülür. Kutupsal soğuk havanın sıcak deniz üzerinde hareketiyle, deniz üzerinde yükselen nemin rüzgarlarla taşınması sonucu oluşur. Genellikle lokal alanlarda sağanak şeklinde etkisini gösteren bu tarz yağışlar, meteorolojik uzaktan algılama ürünleriyle takip edilmekte, şeritler halinde gelen yağışın hangi bölgeleri etkileyeceği tespit edilmektedir. Bu çalışmada, ilk olarak yer kartları, yüksek seviye kartları ile skew-t diyagramları incelenerek sinoptik ve kararsızlık analizi yapılmıştır. Uydu görüntülerinden kutupsal soğuk havanın Marmara ve Karadeniz kıyılarına, kendisinden nispeten sıcak yüzey üzerinden indiği gözlemlenmiştir. Kararsızlıkla birlikte denizden yükselen nemin bir miktar daha yukarı taşınmasına neden olmuştur. Bu tarz yükselmeler sonucu kar tanelerinin birbirine yapışmaları neticesinde graupel diye adlandırılan küçük ve yumuşak dolu tanecikleri ortaya çıkmıştır. Graupel'ların bulut içerisinde elektriksel etkileşime geçmeleri sonucunda gök gürültüsü meydana gelmiştir. 5 Mart 2013 ile 7 Ocak 2015 Trabzon DEK yağışlarında meydana gelen gök gürültüsü radar kesitlerinde karşılaştırılarak, 30dbz ve üzeri ekolarda gözlemlendiği tespit edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, DEK oluşumu için gerekli şartlar, kararsızlık indeksleri ve sayısal modeller ele alınarak 7 Ocak 2015 Trabzon'da meydana gelen deniz etkisi kar yağışı ve gök gürültüsünün meteorolojik analizi yapılmış ve uzaktan algılama ürünlerinin deniz etkisi kar yağışlarının takibinde önemi vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deniz etkisi kar yağışı, Gök gürültüsü, Sayısal Modeller, Skew-T, Meteorolojik uzaktan algılama ürünleri

1. GİRİŞ

Kar parlak, beyaz, katı, çoğunlukla altıgen ve bazen de yıldız şeklinde buz kristalleri yağışıdır. Kar tahmininde sayısal tahmin modellerinde yağış tipinin belirlenmesi ile ilgili pek çok algoritmalar kullanılmaktadır. Alt traposferdeki çeşitli basınç seviyeleri ve sıcaklıkları kar yağışının tabaka kalınlıkları etkilemektedir.[1] Buz kristallerinden oluşan ve çoğu zaman altıgen şekle sahip donan yağış olarak da tarif edebileceğimiz kar yağışı genellikle stratiform tipi bulutlardan, sağanak şeklinde ise kümülüform tipi bulutlardan meydana gelir.[2] Gök gürültüsü, şimşeğin sebep olduğu iyanizasyon ve ışınmanın bir sonucu olarak, şimşek kanalı içinde kalan havanın ani genleşmesi ve etrafına basınç yapmasından dolayı meydana gelir.[3] Deniz etkisiyle oluşan kar yağışları (DEK); siklon geçişleri sonlarında kutupsal soğuk hava kütlesinin sıcak denizler üzerinden geçerken ısınması ve deniz üzerindeki buharlaşma sonucu nem kazanmasıyla meydana gelirler.[4] Ülkemizde en çok Karadeniz ve Marmara kıyılarında görülen ve sağanak şeklinde uzun süre devam edebilen bu tarz yağışlar uygun sıcaklık şartları oluştuğunda deniz seviyesindeki yerlerde bile oldukça yüksek kar örtüsüne neden olabilir.[5]

2. DENİZ ETKİSİ KAR YAĞIŞLARININ OLUŞUM MEKANİZMALARI

Dek'lerin oluşumu ve şiddetinin belirlenmesinde kararsızlık, rüzgar, taşınımı mesafesi, nemlilik ve topografya çok önemli rol oynar



Şekil-1:Deniz etkisi kar yağışlarının oluşum mekanizması. Şeklin orjinali www.meted.ucar.edu web adresinden alınarak düzenlenmiştir.

2.1.Kararsızlık

Etkili deniz etkisi kar yağışlarının oluşabilmesi için deniz suyu sıcaklığıyla,850 hPa sıcaklığı arasındaki farkın en az 13 derece olması gerekmektedir.[6] Dek yağışlarında kararsızlığın hangi seviyeye kadar ulaştığı da oldukça önemlidir.1.5 km'nin altında bulut tepe yüksekliğine sahip

DEK'ler genellikle ciddi yağışlara yol açmazlar. Bulut tepe yüksekliği her hangi bir sinoptik etki olmadığı takdirde en fazla 3 km civarında olur. Skew-T diyagramlarıyla birlikte uydu ve radar görüntüleri bulut tepe yüksekliği tahmin ve takibinde kullanılabilir. Kararsızlıkla birlikte vortisi ve yüksek dikey hız, denizden yükselen nemin bir miktar daha yukarı taşınmasına yol açar. Bu tarz yükselmeler sonucu kar tanelerinin birbirine yapışmaları sonucu 'graupel' diye adlandırılan küçük ve yumuşak dolu oluşabilir. [7]. Graupel ile bulut içerisindeki buz parçacıklarının elektriksel etkileşimi sonucu gök gürültüsü kar sağanakları meydana gelir.[3]

2.2. Rüzgar

Deniz etkisi kar yağışlarında en önemli faktörlerden biri de rüzgardır. Kuvvetli kar yağışı bantları oluşması için rüzgar yönünde yer ve 700 hPa arasında 60 derece, yer ve 850 hPa arasında ise 30 dereceden az yön farkı olması gerektiğine dair araştırmalar mevcuttur.[6] Rüzgar yön uyumu aranırken tepe enverziyonu seviyesine dikkat edilmeli, bu seviyenin 700 hPa'nın altında olduğu durumlarda yer ve 700 hPa arasındaki rüzgar uyumu kuralının geçersiz kaldığı unutulmamalıdır. Rüzgar hızının da 15-25 knot civarında olması yağış bantlarının yeterli nemi toplaması ve sistemin organizasyonu için ideal koşullardır.[5]

2.3. Taşınım mesafesi

Deniz etkisi kar yağışı oluşumu için soğuk hava kütlesinin su yüzeyi üzerinde en az 80 km boyunca hareket etmesi gerekmektedir.[4] Bu hareket boyunca rüzgar yönlerinde yukarıda sayılan kriterlerin geçerli olduğu ve yön uyumu gerektiğini bilmek gerekir. Taşınım mesafesinin artması daha fazla nem toplamasına yol açacağı için yağış miktarının da artmasına neden olabilir.[5]

2.4.Nemlilik

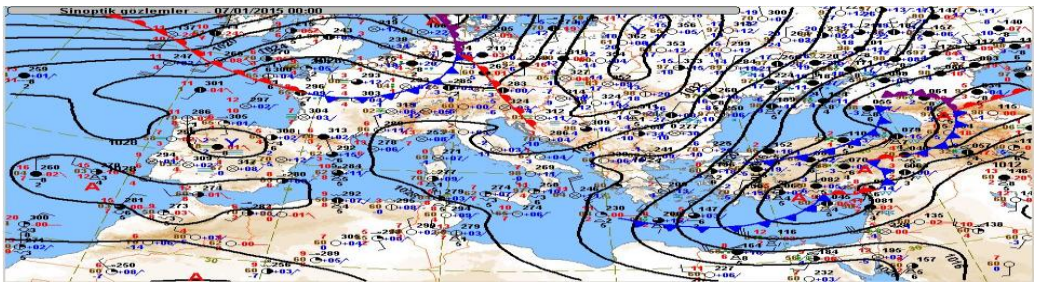
Yüksek nemlilik deniz etkisi kar yağışının etkisini arttırırken en önemli faktörlerden biridir.[8] Özellikle yer ve yere yakın seviyelerde yüksek nemlilik, LCL seviyesinin yere daha yakın olmasına yol açar. Bu seviye yoğuşmanın başladığı seviye kabul edildiğinden yere yaklaşması bulut tabanının yere daha yakın olmasına yol açar. Tepe enverziyonu seviyesinin de yüksek olması durumunda daha kalın DEK bantları oluşur ve etkili yağışlara yol açar.[5]

2.5. Yüzey Şekilleri

Deniz üzerinden hareket eden nemli hava karayla karşılaştığında sürtünme etkisiyle ısınır ve yükselir. Ayrıca denize bakan tepe ve dağlar orografik yükselmeye neden olduklarından bu alanlarda DEK yağışları genellikle daha etkili olur.[5]

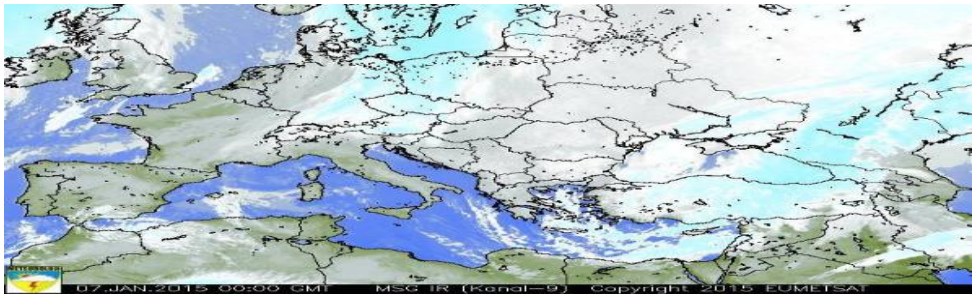
3. AKTÜEL KARTLAR VE SAYISAL MODELLER

Karadeniz üzerinden gelen siklonlardaki yağış soğuk cephe geçişiyle ve basınç yükselişiyle başlar. Karadeniz bölgesinin yüzey şekilleri ve topografik yapısı soğuk cephe yağışlarıyla birlikte orografik yağışların oluşumuna imkan vermektedir. Karadeniz hemen kuzeyinde merkez-leşen bu siklonların güneye doğru uzanan soğuk cephelerini genellikle 1012-1020hPa değerindeki izobarlar kink yaparak keserler. Bu siklonların aktivitelerin soğuk cephesinde kink yapan izobar sayısıyla doğru orantılı olduğunu söylemek mümkündür. Karadeniz üzerinden gelen siklonların çoğu orta ve özellikle Doğu Karadeniz'i etkileyecek şekilde Kuzeybatı - Güneybatı istikametinde hareket ederler. Fazla derin olmayan siklonlar sadece sahile bakan yamaçlarda yağışa neden olurlar. 0000Z yer kartında Karadeniz'i etkileyen cephe hattı belirlenmiştir.(Şekil-2)



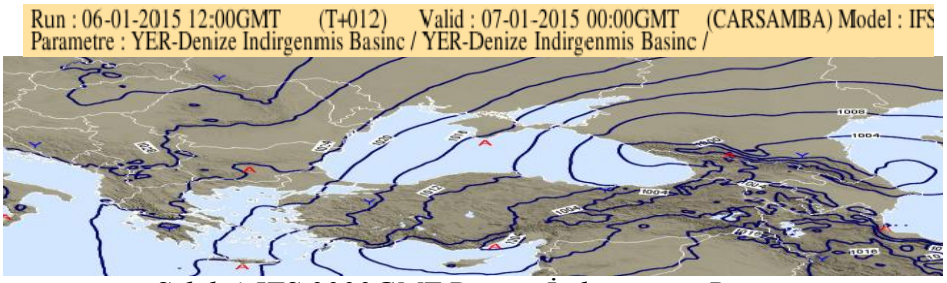
Şekil-2:07/01/0000GMT Yer Kartı

Kış mevsiminde soğuk cephe geçişiyle birlikte güneye hareketlenen Cp hava kütlesi başta Karadeniz ve Marmara olmak üzere hava sıcaklığının oldukça düşmesine neden olur. Bu nedenle Karadeniz üzerinden gelen siklonlar her zaman soğuk cephe aktiftir ve uydu görüntülerinde açıkça görülür.(Şekil-3)

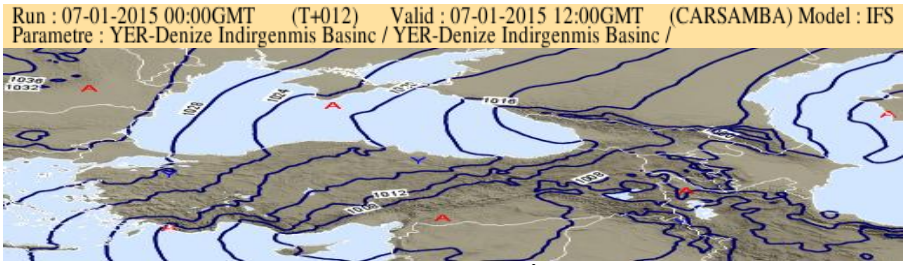


Şekil-3: 07/01/2015 Kanal-9 Uydu Görüntüsü

12Z Yer kartında 1004hpa alçak basınç (Şekil-4),bölgemizi terk etmiş olup yerini yavaş yavaş 1016hpa'lık yüksek basınç merkezine bırakarak siklonik geçiş meydana gelmiştir.(Şekil-5)

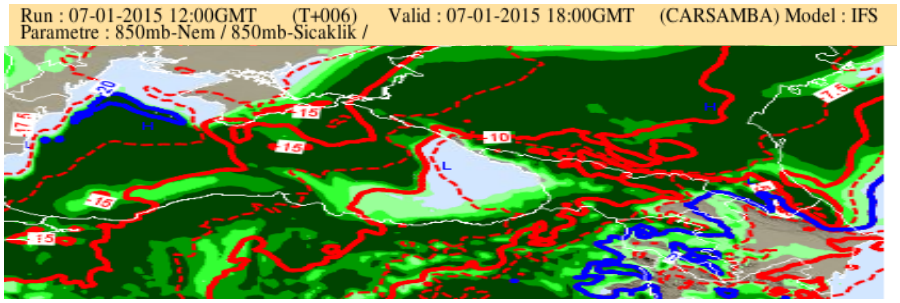


Şekil-4:IFS 0000GMT Denize İndirgenmiş Basınç



Şekil-5:IFS 1200GMT Denize İndirgenmiş Basınç

Kar yağışları için hava sıcaklığının 850hpa seviyesinde -7/-9 derece civarı da olması Karadeniz kıyılarında kar yağışı için uygun ortamlar yaratır.[2] 850mb IFS sayısal modelinde -7.5° sıcaklık ile nemlilik görülüyor.(Şekil-6)



Şekil-6:IFS 850hpa sıcaklık/Nem

Trabzon Havalimanı 06Z Sinoptik rasatında 7 Ocak'ta kaydedilen deniz suyu sıcaklığı 11.6°'dir.(Bülten-1)

SMTT60 LTCG 070600 AAXX 07064 17038 11458 72407 10048 20028 30062 40114 52024 60312 78088 87200 333 20032 32/// 70314 85714 87828 91128 92436 555 **00116**=
Bülten-1:kardelen.mgm.gov.tr/bultenler/

850hpa ile deniz suyu sıcaklığı arasındaki fark 19.1°'dir. Bu sıcaklık farkında oluşan termal kararsızlığın, deniz etkisi yağışlar için uygun olduğunu göstermiştir. 18GMT IFS sayısal modelinde Giresun ve Trabzon'nun doğusunda, Rize'nin batısında bulunan Cape değerleri açıkça görülmektedir.(Şekil-7)

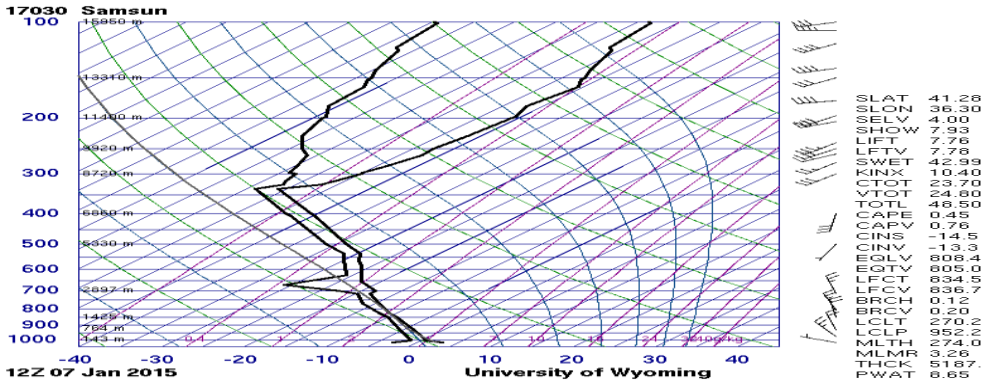


Şekil-7:Yer/Karasızlık İndexleri/Cape

4. SKEW-T

12Z Samsun Temp'inde alt seviye karasızlığı net olarak belli ve kararsızlık 3km civarına kadar uzanıyor. 700Mb'a kadar rüzgarlar kuzey - kuzey batılı, atmosferin orta ve yüksek bölümünde rüzgar güneyli olarak esmektedir.(Şekil-8) Yer rüzgarı biraz farkı arttırsa da 700 mb'a kadar rüzgar yön ve uyumu DEK için uygun. Yer seviyesinden itibaren görülen yüksek nemlilik Dek

yağışlarının etkisinde önemli rol oynamaktadır ki, 700mb'a kadar yüksek nemlilik görülüyor.(Şekil-9)



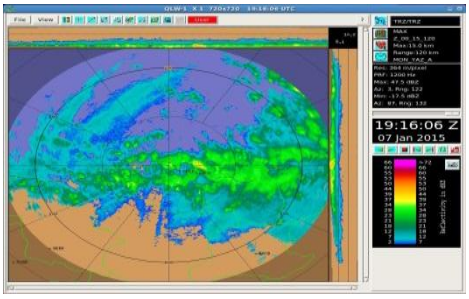
Şekil-8:12Z Samsun Temp Diyagramı

17030 Samsun Observations at 12Z 07 Jan 2015

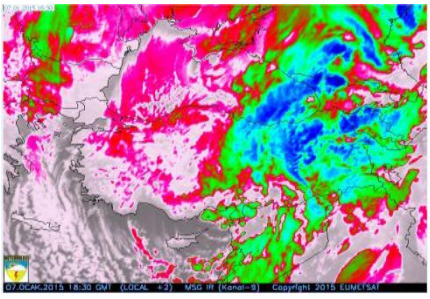
PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1018.0	4	3.0	-3.0	65	3.02	290	3	274.8	283.2	275.2
1006.0	143	0.4	-1.5	87	3.44	315	16	273.6	283.1	274.1
999.0	151	0.4	-1.4	88	3.47	315	16	273.6	283.2	274.2
991.0	216	0.0	-1.9	87	3.37	319	19	273.9	283.2	274.4
976.0	337	-0.9	-2.7	87	3.23	325	23	274.2	283.2	274.7
931.0	713	-3.5	-5.2	88	2.81	345	22	275.2	283.1	275.6
925.0	764	-3.9	-5.5	89	2.76	345	22	275.3	283.1	275.8
901.0	970	-5.5	-6.9	90	2.54	5	20	275.8	283.0	276.2
850.0	1425	-8.9	-10.0	92	2.11	350	19	276.8	282.9	277.2
847.0	1452	-9.1	-10.2	92	2.08	345	18	276.8	282.9	277.2
833.0	1581	-10.2	-11.3	92	1.94	350	18	277.0	282.6	277.3
825.0	1655	-10.9	-12.0	92	1.86	347	20	277.1	282.5	277.4
807.0	1823	-12.0	-13.4	89	1.69	340	24	277.6	282.6	277.9
783.0	2054	-13.6	-15.4	86	1.48	335	19	278.4	282.8	278.6
769.0	2191	-14.5	-16.6	84	1.36	337	20	278.8	282.9	279.0
717.0	2718	-18.1	-19.6	88	1.13	344	23	280.5	283.9	280.7
713.0	2760	-18.1	-20.3	83	1.07	345	23	280.9	284.2	281.1
700.0	2897	-18.3	-22.7	68	0.89	350	17	282.2	284.9	282.3
690.0	3004	-19.1	-25.4	58	0.71	5	16	282.4	284.6	282.5
670.0	3222	-20.9	-30.9	40	0.44	350	15	282.8	284.2	282.9
657.0	3366	-22.3	-29.3	53	0.52	341	14	282.8	284.5	282.9
626.0	3720	-23.9	-25.8	84	0.75	317	13	284.9	287.3	285.1
585.0	4211	-26.3	-28.3	83	0.64	283	10	287.7	289.8	287.8
564.0	4475	-27.9	-29.8	84	0.58	265	9	288.9	290.7	288.9
536.0	4839	-29.5	-31.6	82	0.51	240	7	291.2	292.9	291.3
500.0	5330	-33.7	-36.2	78	0.35	205	5	291.9	293.1	291.9

Şekil-9:Temp Text List

Trabzon için tepe enverziyonu seviyesi 4km civarındadır. Çünkü radarda yağışa yol açan bulutun tepesi bu seviyeye kadar çıkmıştır.4 km'ye kadar olan bulut etkili ve yağışa yol açıyor yani DEK bulutudur.(Şekil-10) Fakat bulut tepesinin Samsun Temp'inde 7.5km'ye kadar çıktığı görülüyor. Bu durumda 2 tabaka bulut olarak düşünebilir ve 4km üzerinde olan bulutların yağışa etkisi olmadığını düşük tepe sıcaklığı ile yağışa etkisi olmayan orta ve yüksek bulutlar olduğunu IR uydu görüntüsünden de görüyoruz.(Şekil-11)



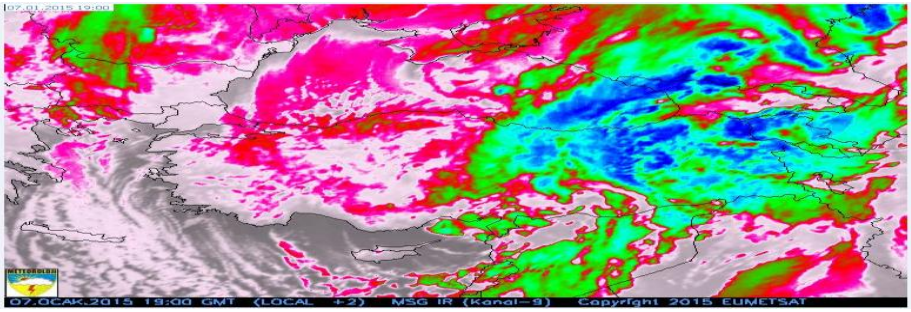
Şekil-10:19:16Z MAX



Şekil-11:IR MSG Kanal-9

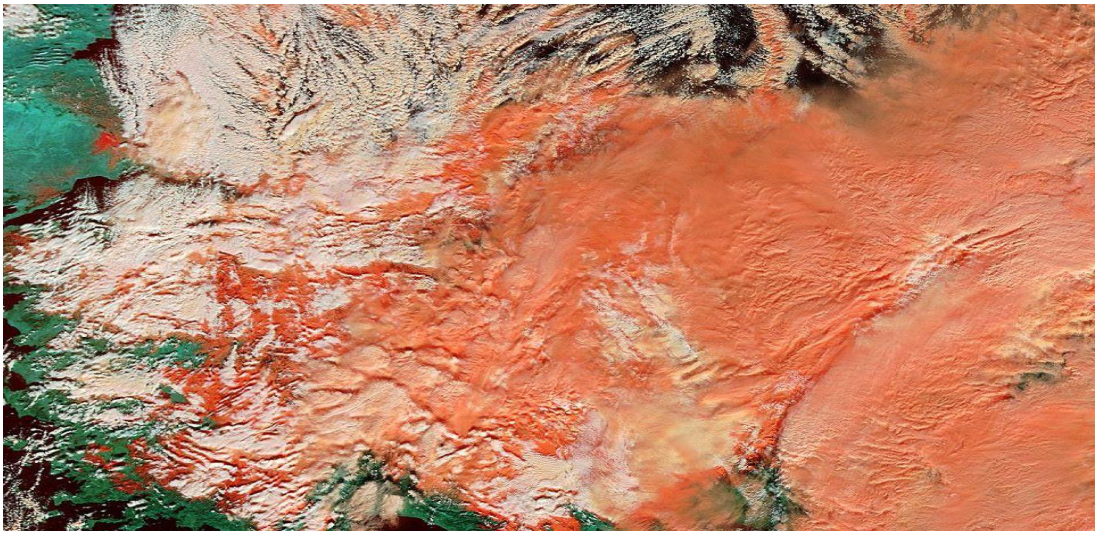
5. UYDU VE RADAR

Uydu verileri kullanılarak elde edilen kar ürünleri kar parametresinin bölgesel ve küresel ölçekte hem zamansal hem de uzaysal olarak yüksek çözünürlükte izlenmesine olanak sağlamaktadır.(9). Uydu teknolojisinin temelini Uzaktan Algılama (Remote Sensing) bilim dalı oluşturur. Infrared görüntüleri genellikle yüksek, orta ve alçak bulutların tanımlanmasında kullanılır. Mavi renk; yüksek Cirrus, yeşil renk; orta seviye Altocumulus, kırmızı renktekiler ise cumulus bulutlarıdır. (Şekil-12)



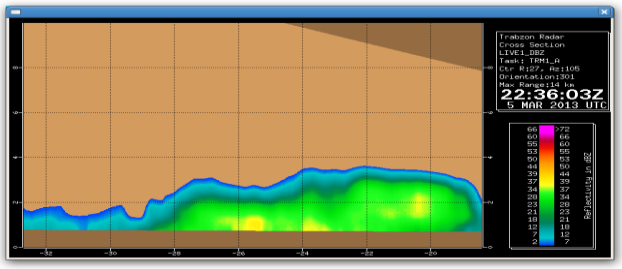
Şekil-12:19GMT IR görüntüsü

Aynı günde İstanbul'da da Dek yağışlarını görüyoruz ve bu yağışlar saf dek bulutlarıdır. Yer kartından da anlaşılacağı üzere trof etkisi yoktur. Sadece deniz etkisi bulutluluğu var ve bulut caddeleri daha belirgin olmakla birlikte üzerinde orta ve yüksek bulut bulunmamaktadır.(Şekil-13)

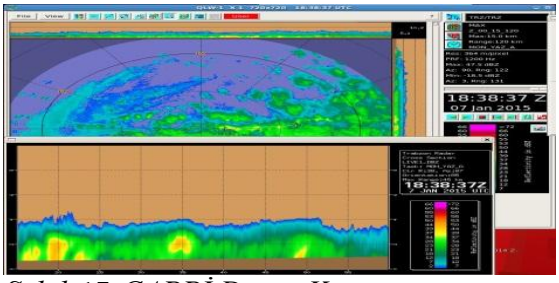


Şekil-13: 07/01/2015 MODIS Uydu Görüntüsü

Meteoroloji radarları, geniş alanlarda yağışın ne kadar şiddetli olduğuna dair kullanıcılara önemli bilgiler sağlar. Meteoroloji radarları ile bulutun içinde yağmur damlaları, buz tanecikleri, dolu, kar tanecikleri gibi hidrometeorlardan yansıtılan enerjiden reflektivite değerleri hesaplanmaktadır. Bu reflektivite değerleri birimi desibeldir (dbz).[10] Aşağı ve orta seviyelerdeki nem, dikey hareketlerle belirli seviyelerde yoğuşarak bulut oluşumunu sağlar. Yoğuşma sonucu açığa çıkan ısı, dikey hareketlerin devamında ve bulutun dikey olarak gelişimini sürdürmesinde önemli bir faktördür. Yani orajın enerjisidir. Radar, kar yağışının en fazla 30dbz'e kadar yansıma verdiği, 40dbz ve üzerinde ekolarda belirgin oraj hücreleri görüldüğü bilindiğine göre, 30-35dbz'teki ekoların graupel diye adlandırılan küçük ve yumuşak dolu formunda yapılar olduğu anlaşılabilir. Tıpkı 5 Mart 2013 tarihine ait Max ürününde (Şekil-14) 30 dbz üzeri görünen graupellar ile buz parçacıkları arasındaki elektrik akımıyla gök gürültüsüne neden olması gibi,7 Ocak 2015'te de gök gürültülüsüne neden olmuştur. Graupel'lar gök gürültülü Dek yağışları için olmazsa olmaz şarttır. Atmosfer içinden yatay kesitlerde kullandığımız Cappi görüntüsünde de 30dbz üzerindeki graupellar ve yağışlar görülmektedir.(Şekil-15)



Şekil-14:5 Mart 2013 Max Kesiti



Şekil-15:CAPPİ Düşey Kesit

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yer kartındaki cephenin hareketi, uydu görüntüsü ve temp diyagramından anlaşılacağı üzere oluşan orta ve yüksek bulutlar trofun etkisi ile meydana gelmiştir. Yüksek ve orta seviyedeki bulutlar her ne kadar altındaki dek bulutlarını kapatsa da tüm kararsızlık ve dek mekanizmaları neticesinde de radar görüntülerinde tespit edilen graupellar ile deniz etkisi kar yağışları ve gök gürültüsü meydana gelmiştir. Dek'e yol açan 4km kadar çıkan konvektif hareketler gelişmiş gelişmiş Tcu ve Cu bulutlarıdır. Graupel'lar 30 dbz üzeri ekolarda görülmüştür. Buz kristalleri ile graupeller arasındaki elektrik akımıyla gök gürültüsü meydana gelmiştir. DEK yağışlarında tahminciler; Uydu ve Radar ürünlerinin kullanımı iyi bilmeli, oluşabilecek risklere karşı uyarıları erken hazırlamalıdırlar. Özellikle deniz kıyısında çalışanlar deniz etkisi kar yağışı için gerekli şartlarla birlikte dinamik yükselme koşullarını takip etmeli ve tahminlerine yansıtmaktan çekinmemelidir. Hava tahmininde küresel modellerin iyi olması kadar modele girecek dataların da kalitesi önemli olduğundan modeller iyi hazırlanmış olsa da kullanılan hatalı veriler nedeniyle yapılan tahminler de tutarsız olacaktır. Bu nedenle gözlem ağları artırılarak, Dek yağışları için küresel anlamda modeller geliştirilebilir. Deniz radarları kurulup, şamandıra verileri artırılarak DEK oluşum mekanizmalarından; özellikle taşınım mesafesin üzerinde çalışmalar yapılabilir. Ayrıca DEK yağışları ile gök gürültüsünün meydana gelmesi, vatandaşlar için ender rastlanılan meteorolojik durum olduğundan, daha geniş kapsamlı olarak toplu taşıma araçlarında görüntülenebilir ve vatandaşlar bu konuda bilgilendirilebilir.

KAYNAKLAR

[1] **YAĞAN Y**.,2010

[2] **Hava Analiz Tahmin Tekniği, DMİ Yayınları**:2006-1, Ankara-2007

[3] Büyükkaya M.,Kurnaz D.,Çanlı Ö.,-2013*, 1.Meteorolojik Uzaktan Algılama Çalıştayı, Antalya*-2013

[4] **Gokturk O.M**.,-2005, *Göl ve Deniz Etkisi ile Oluşan Kar Yağışları, Cumhuriyet Bilim Teknik Dergisi*, 2005

[5] **Taştan M.A. vd**.,-2013, 1.Meteorolojik Uzaktan Algılama Çalıştayı

[6] **Haby J**., *Lake Effect Snow Forecasting* (www.theweatherprediction.com)

[7] **Takahashi T, ve d.** 2003

[8] **Hultquist T,Dr. Green Mann.,Nizol T.,La Plante,R**.,-2005, *Lake Effect Snow*, 10 November 2005

[9] **Sönmez İ.. Tekeli E. A.. Erdi E.**. *Snow cover trend analysis using Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System data over Turkey* -2014

[10] **Geçer C.,Uluyazı M**.,-2013, 1.*Meteorolojik Uzaktan Algılama Çalıştayı*, Antalya-2013

Uydu Tabanlı Yağış Verileri ile Gaziantep Taşkınlarının İncelenmesi

Ahmet Emre Tekeli[1,2]
[1]Nişantaşı Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye
[2] King Saud University, Civil Engineering Department, Riyadh, KSA
ahmetemretekeli1975@yahoo.com

ÖZET

Taşkınlar tüm insanlığı etkileyen afetlerin başında gelmektedir. Özellikle ani taşkınlar, can ve mal kayıpları ile diğer zararlara sebep olmaktadırlar. Nemli bögleler kadar kurak ve yarı kurak bölgelerin ani taşkınlara maruz kaldığı gözlenebilmektedir. Kurak bir iklim kuşağında yer alan Gaziantep'de şiddetli yağış olayları sık gözlemlenmezken, zaman zaman gerçekleşen ani taşkınlar can ve mal kayıplarına sebep olabilmektedir. Örneğin 2014 yılı Mayıs ayında yaşanan sel olayı bir kişinin ölümü ve maddi kayıp ile sonuçlanmıştır. Klasik yağış gözlem şebekelerinin ani taşkınların tespitinde yetersiz kaldığı ve kurak ve yarıkurak iklimlerde gözlem ağlarının yetersizliği bilinen ve literatürde çokca bahsedilen gerçeklerdendir.

Bu çalışmada, Tropikal Yağış Ölçüm Görevi (Tropical Rainfall Measuring Mission – TRMM) Çok Uydulu Yağış Analizi (Multi satellite Precipitation Analysis- TMPA) gerçek zamanlı (Real Time) 3B42RT verisi taşkın tahminlerinde kullanılmıştır. Öncalışmalarda 3B42RT verisinin yüksek şiddetli yağışları öngörebildiği ve bu gözlemlerin sel ihbarları ile uyumlu olduğu saptanmıştır. Çalışmada, arşiv sel ihbarları ile 3B42RT verileri karşılaştırılmıştır. Sele sebep olan eşik yağış şiddet değeri 3B42RT verileri kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen bu eşik değerlerinin Gaziantep ilinde meydana gelebilecek olası diğer sel felaketlerinin öngörülmesinde kullanılması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Taşkın, Gaziantep, uydu yağışı, TRMM, 3B42RT.

1. GİRİŞ

İnsanların yaralanmalarına veya hayatlarını yitirmelerine ve/veya çevreye, tarım arazilerine zarar ihsas eden yada mal zayiatına sebep olan tehlikeli durum ve hadiseler olarak en geniş şekli ile tanımlabilen [1] afet; insanlar için fiziksel, sosyal, ekonomik kayıplar doğuran, insan faaliyetlerini kesintiye uğratan ve toplumu etkileyen olaylardır [2].

Günümüzde karşılaşılan doğal afetlerin birçoğu meteorolojik hadiselerden kaynaklanmaktadır. Özellikle şiddetli ve yerel olarak meydana gelen konvektif yağışlar, yetersiz altyapı ve yanlış şehirleşme gibi etkenlerle birleştiğinde sel, taşkın ve heyelanlara zemin hazırlamakta ve çok sayıda can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Taşkınlar, özellikle ani taşkınlar en sık rastlanan ve küresel olarak insanlığın büyük bir kısmını etkileyen afetlerin başında gelmektedir [3]. Taşkın tahmin sistemleri bu tür afetlerin tahmin edilerek can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi açısından önem arzetmektedir.

Klasik yer-gözlem yağış ölçer tabanlı tahmin sistemleri gerek hadise sırasındaki veri iletiminde yaşanan olumsuzluklar, gerekse olay sonrası ekipman ve tesis tamiri durumlarından dolayı ciddi dezavantajlar içermektedirler [4]. Bununla beraber, uydu tabanlı yağış tahminleri bu tarz tehlikelerden mahfuz kalmaktadır. Dolayısı ile, uydu tabanlı yağış tahminleri, uç değerlerde atıl duruma düşen klasik yöntemler yerine araştırmacılara taşkın tahminlerinde yeni imkanlar sunmuştur. Bu kapsamda gerçek zamanlı alınan ve işlenen uydu görüntüleri yakın gerçek zamanlı yağış şiddetlerini uygun zamansal (30 dakika- 3 saat) ve mekansal (kilometre – birkaç kilometre) çözünürlükte sağlayabilmektedirler [5]. Bu gelişmeler, araştırmacılara, yer gözlem sistemlerini destekleyen ve sel hadiseleri sırasında kesintisiz gözlem imkanı sağlayan uydu tabanlı taşkın izleme ve tahmin sistemlerinin kurulması konularında hız vermiştir [4].

Çalışmada amaç, Tropikal Yağış Ölçüm Görevi (Tropical Rainfall Measuring Mission – TRMM) Çok Uydulu Yağış Analizi (Multi Satellite Precipitation Analysis – TMPA) gerçek zamanlı (Real Time –RT) 3B42RT verisini kullanarak Gaziantep ilimizde gözlemlenmiş sel olaylarının incelenmesidir.

2 ÇALIŞMA ALANI VE VERİ SETİ

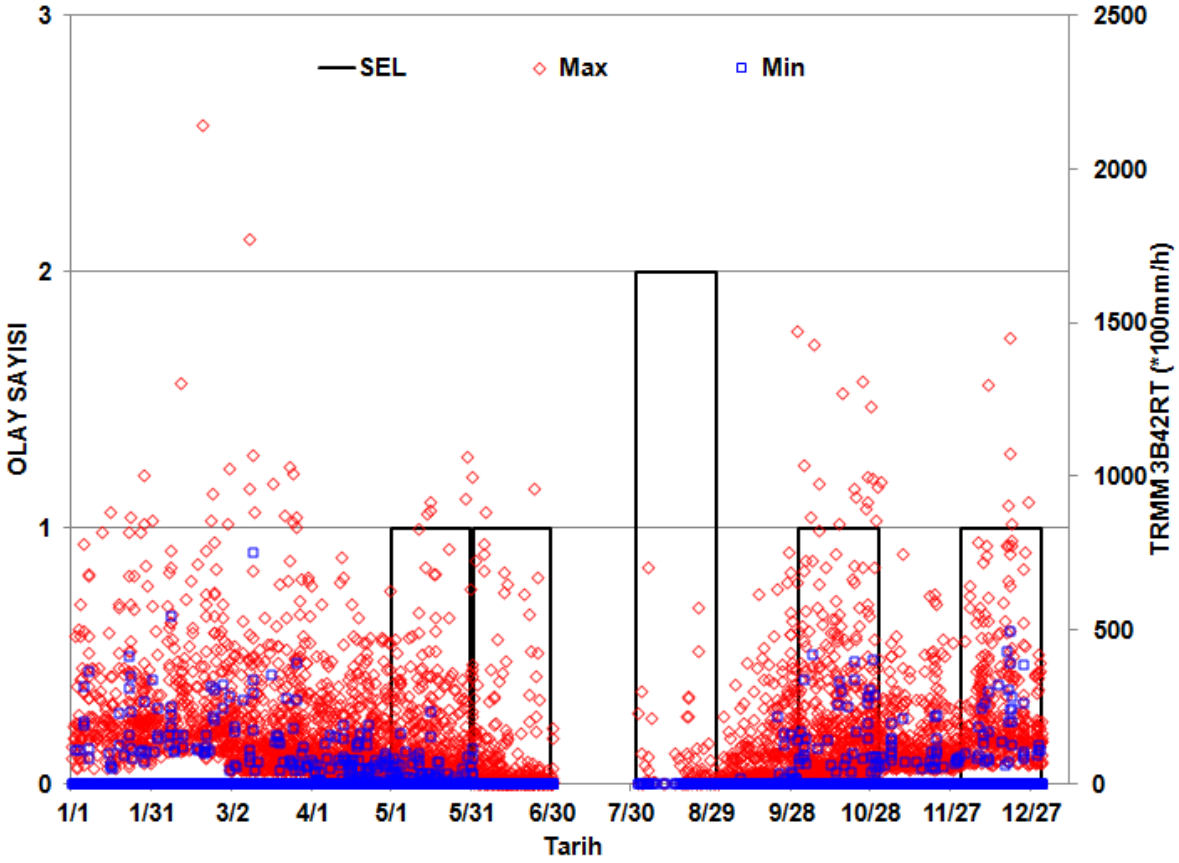
2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı olan Gaziantep ilimiz, Güneydoğu Anadolu Bölgemizde bulunmaktadır. Karasal ve Akdeniz ikliminin karışımı görünen ilimizde, yaz ayları Haziran, Temmuz, Ağustos ile Eylül çok sıcak geçmektedir. Bu süre zarfında yağış olayları az olmakla beraber en çok yağış Aralık-Şubat periyodunda gözlenir. Tablo 1'de Gaziantep ilinde gözlenmiş sel olayları özetlenmiştir [6].

Şekil 1'de ise 2000 yılından sonra gözlemlenen olayların yıl içerisindeki dağılımı siyah kolonlar ile gösterilmiştir. 2014'deki sel internet taraması sırasında bulunmuş, Tablo 1'e eklenmemiştir.

Tablo 1: Gaziantep ilinde gözlenmiş sel olayları.

Tarih	İl	İlçe	Köy
22/12/1974	Gaziantep		
13/4/1988	Gaziantep		
11/5/1993	Gaziantep	Nurdağı	Nurdağı
22/7/1993	Gaziantep	Nurdağı	
11/3/1996	Gaziantep	ŞehitKamil	ŞehitKamil
4/8/2002	Gaziantep		
3/8/2005	Gaziantep	Şahinbey	Şahinbey
2/6/2007	Gaziantep	ŞehitKamil	ŞehitKamil
3/10/2010	Gaziantep	Yavuzeli	Yavuzeli
11/12/2010	Gaziantep		



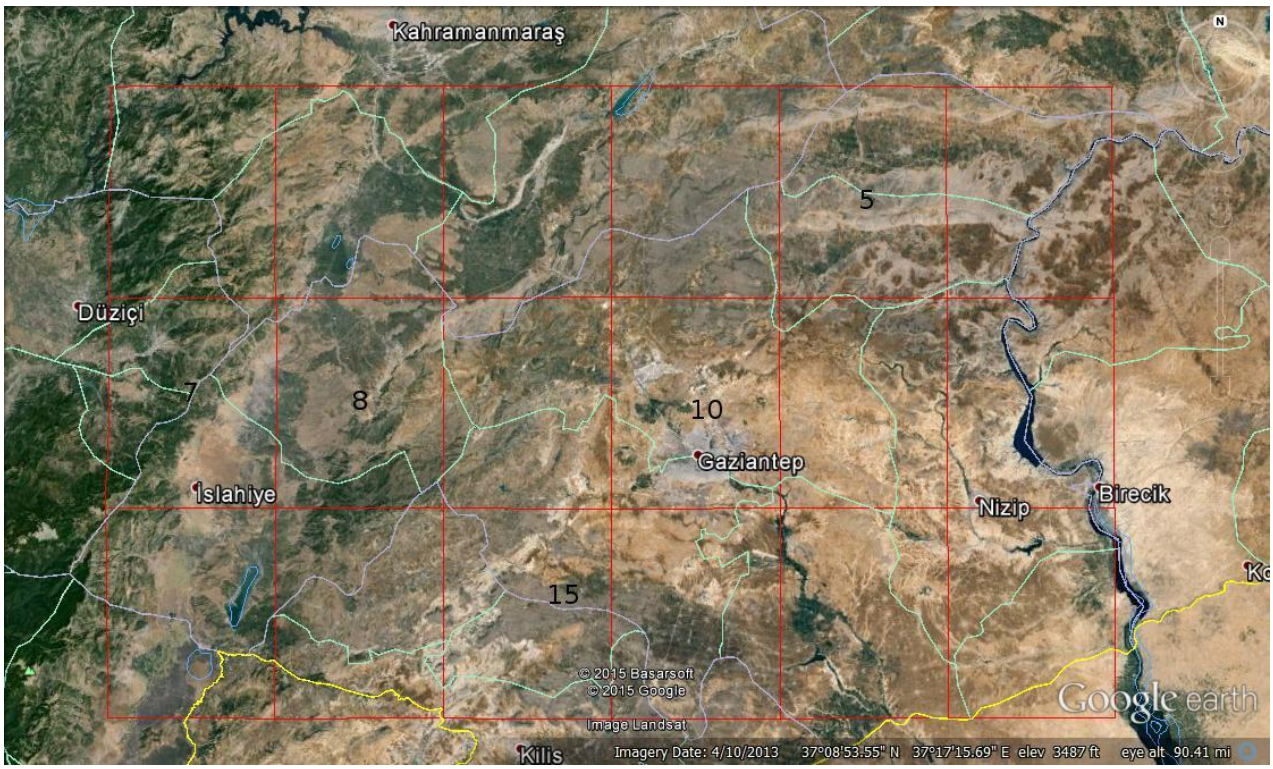
Şekil 1: *Gaziantep'de 2000 yılından sonra gözlenen sel olayları (SEL) ve TRMM 3B42RT den elde edilen maksimum(max) ve minimum (min) yağış şiddetleri*

2.2 TRMM 3B42RT

TRMM 3B42RT, 50^o Kuzey ve 50^o Güney enlemleri arasında 3 saatlik zamansal ve 0.25^o mekansal çözünürlükte mikrodalga ve infrared kanallardaki uydu verilerini kullanarak yağış tahmini yapmaktadır [7]. Bu çalışmada en son güncellemeri içeren sürüm 7 (v7) kullanılmıştır [8]. TRMM ve ürünleri hakkındaki detaylı bilgi TRMM internet sayfasından elde edilebilir [9]. 2000-2014 yılları arasındaki 3 saatlik 3B42RT verisinden elde edilen maksimum ve minimum yağış şiddetleri kırmızı elmas ve mavi kareler ile Şekil 1'de gösterilmiştir.

3. METODOLOJİ

Yağışın zamansal ve mekansal olarak çok değişiklik göstermesi, ölçülmesi ve tahmin edilmesi noktalarından yağışı en zor meteorolojik parametre yapar [10]. Bu değişiklik gerek düşük gerekse yüksek çözünürlükteki çalışmalar ile literatürde bahis edilmiştir [11-13]. Duan ve Bastiaanssen [7], 0.25^o mekansal çözünürlüğe sahip olan TRMM verilerinin kalibre ve validasyon çalışmalarının gerekliliğini bahis etmiştir. Yazarın şu anki bilgisi dahilde, Türkiye'de TRMM 3B42RT verileri üzerinde bu tarz bir kalibre ve validasyon çalışması henüz yapılamamıştır. Her ne kadar kalibre ve validasyon çalışmaları daha gerçekçi yağış değerleri elde etmemize imkan verse de, bu çalışmada TRMM 3B42RT verisinin sel tahminindeki performans değerlendirilmesi yapılacağından, veriler kalibre edilmeden kullanılmıştır. Şekil 2'de TRMM 3B42RT piksellerinin Gaziantep ilimizi kapsaması gösterilmektedir. 5,7,8,10 ve 15 numaralı pikseller sel olaylarının



Şekil 2: *Gaziantep üzerindeki TRMM 3B42RT pikselleri*

görüldüğü yerleri belirtmektedir. 2000-2014 periyodu içerisinde vuku bulan 6 sel hadisesinden 5 tanesi Tablo 1'den elde edilbilmiş, 24 Mayıs 2014 de yaşanan altıncı olay ise interet'ten bulunmuştur.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından şiddetli yağışları tanımlamak için denklem 1 geliştirilmiştir [14].

$$R=(5t-(t/24))^{(1/2)} \quad (1)$$

Burada t; yağışın dakika cinsinden devam süresini gösterirken, R; milimetre cinsinden toplam yağış miktarını vermektedir. TRMM 3B42RT verisi 3 saatlik olduğu için denklem 1'den 29 mm sonucu elde edilmekte, bu ise yaklaşık 10mm/h'lik yağışın şiddeti vermektedir.

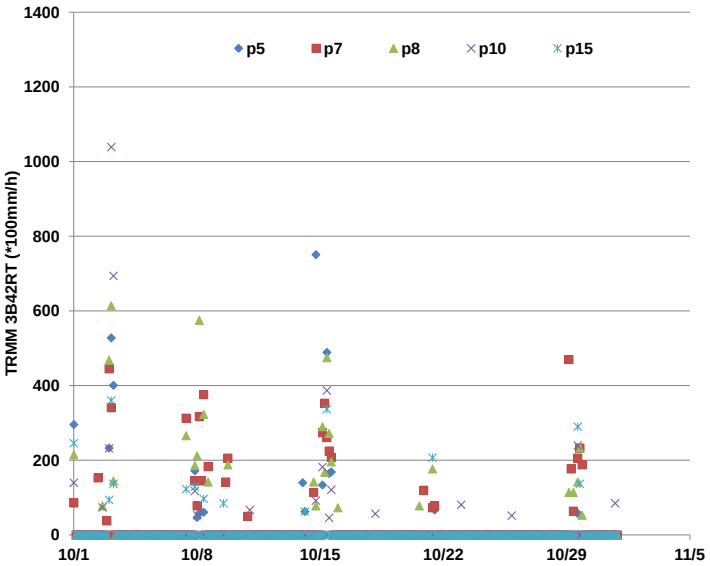
4. BULGULAR

Denklem 1'den elde edilen 10mm/h lik eşik değeri kullanılarak TRMM 3B42RT verisinde Şekil 2'deki piksellere düşen değerler araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2'de özetlenmiştir.

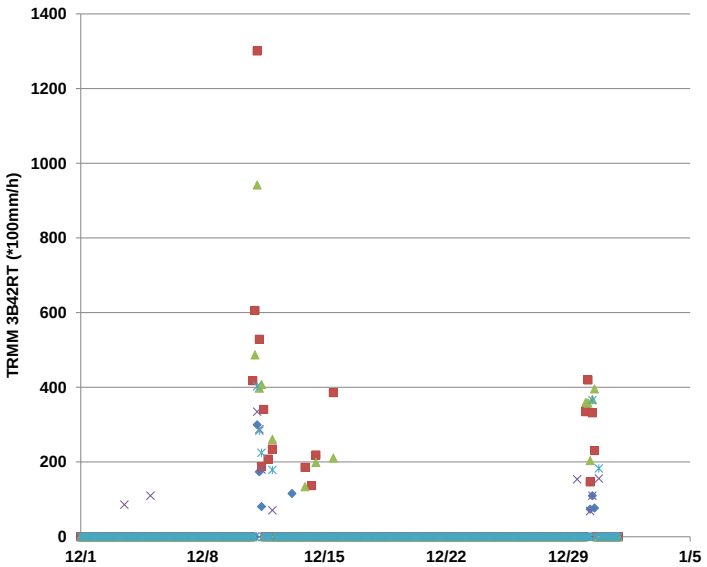
Tablo 2: TRMM 3B42RT verilerinde 10mm/h'den büyük değer günleri.

Yıl	Ay	Gün	UTC	Klima yağış	AFAD sel
2007	1	28	03	Var	Yok
2002	2	11	03	Var	Yok
2010	2	19	09	Var	Yok
2014	2	28	21	Var	Yok
2001	3	08	15	Var	Yok
2001	3	23	18	Var	Yok
2006	3	10	03	Var	Yok
2006	3	25	00	Var	Yok
2003	5	31	09	Var	Yok
2011	5	29	15	Var	Yok
2003	10	28	09	Var	Yok
2009	10	06	15	**Yok**	Yok
2010	10	03	03	Var	**Var**
2012	10	24	21	Var	Yok
2014	10	17	18	Var	Yok
2002	12	19	15	Var	Yok
2010	12	11	03	Var	**Var**
2012	12	19	15	Var	Yok

Tablo 2'den de görülebildiği gibi, 10mm/h eşik değeri 18 hadise tanımlamış, bunlardan 17 tanesinde Gaziantep klima istasyonunda yağış kayıd edilmiştir. Eşik değer, 10mm/h, 6 sel hadisesinden 2'sini (3/10/2010 ve 11/12/2010) bulabilmiştir. Tesbit edilen hadiseler Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekildeki P5,P7,P8,P10,P15 Şekil 2'de gösterilen pikselleri belirtmektedir.



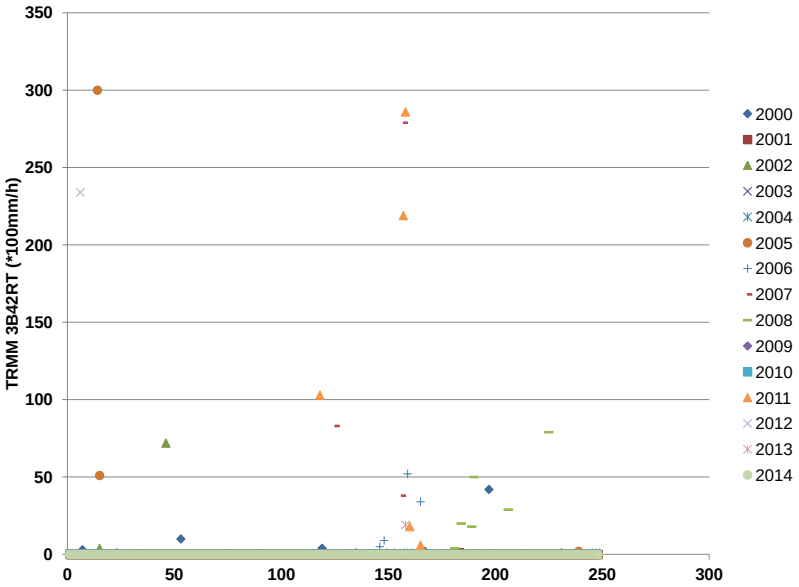
(a)



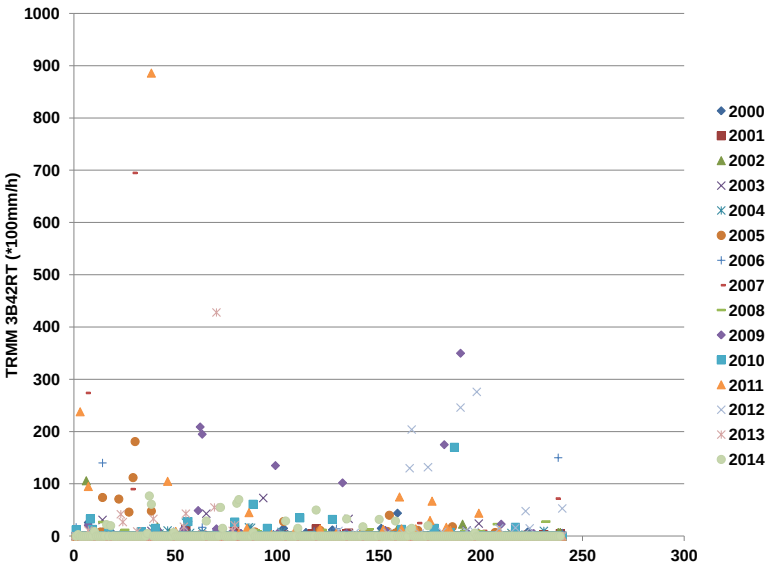
(b)

Şekil 3: 10mm/h eşik değerinin tesbit edebildiği sel olayları Ekim 2010 (a) Aralık 2010 (b)

Zaman serisi tarzında aylık olarak yıllar arasındaki yağış şiddetleri incelendiği zaman 10mm/h'lik sabit eşik değeri ile tanımlanamamış iki sel hadiseside bulunabilmiştir. Ağustos 2005 ve Haziran 2007 olayları Şekil 4 de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4: *Aylık zaman serisi yağış şiddetleri Ağustos 2005 (a) Haziran 2007 (b)*

5. SONUÇLAR

Tropikal Yağış Ölçüm Görevi (Tropical Rainfall Measuring Mission – TRMM) Çok Uydulu Yağış Analizi (Multi Satellite Precipitation Analysis – TMPA) gerçek zamanlı (Real Time –RT) 3 saatlik 3B42RTverisi ile Gaziantep'de ki sel olayları incelenmiştir.

10mm/h'lik eşik yağış şiddetinin bazı sel hadiselerini yakalayabilmesine rağmen, gözlemlenen bir kısım olaylarıda kaçırdığı bulunmuştur. Aylık bazda zaman serisi şeklinde yapılan analizler kaçırılan iki sel hadisesininde tesbitine imkan sağlamıştır.

Çalışma, TRMM 3B42RT verisinin Gaziantep sellerinin tesbitinde kullanılabilme potansiyelini göstermiştir. Bu imkanın, aylık bazda değişen eşik değerlerinin bulunması ile dahada iyileştirilebileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜRLER

TRMM 3B42RT verileri NASA Goddard Uzay Merkezinden elde edilmiştir. Yer verilerinin elde edilmesindeki yardımlarından dolayı yazar, Meteoroloji Genel Müdürlüğüne teşekkür eder.

KAYNAKLAR

[1] **EMA,** *Hazards, Disasters and Survival,* Emergency management Australia, Dickson-Australia, 2002.

[2] **Ergünay O.,** *Acil yardim planlamasi ve Afet yonetimi*, Uzman Der Dergisi, (6-7),1999.

[3] **World Disasters Report,** *Focus on ethics in aid*, (239), Geneva-Switzerland, 2003.

[4] **Asante K.O., Dezanove R.M., Artan G., Lietzow R., Verdin J.,** *Develeoping a flood monitoring system from remotely sensed data for the Limpopo Basin*, (1709-1714), IEEE Transactions on Geoscienced and Remote Sensing, 2007.

[5] **Hong Y., Adler R.F.,Negri A., Huffman G.J.,** *Applications of TRMM based multi satellite precipitation estimation for global runoff prediction: Prototyping a Global Flood Modeling System*, (245-265), in Satellite Rainfall applications for Surface Hydrology, M. Gebremichael, F. Hossain (eds), 2007.

[6] https://tabb.afad.gov.tr/ , AFAD internet sayfası, Son Kontrol: 19.10.2015

[7] **Wanders N., Pan M., Wood E.F**., *Correction of real time satellite precipitation with multi sensor satellite observations of land surface varibles,* Remote Sensing of Environment, 160 (206-221), 2015.

[8] **Duan Z., Bastiaanssen W.G.M**, *First results from Version 7 TRMM 3B43 precipitation product in combination with a new downscaling-calibration procedure*, Remote Sensing of Environment, 131 (1-13), 2013.

[9] http://trmm.gsfc.nasa.gov/ ,TRMM internet sayfası, Son Kontrol: 15.10.2015

[10] **Bohnenstengel S.I., Schlünzen K.H., Beyrich F.,** *Representativity of in situ precipitation measurements- A Case study fot the LITFASS area in North-Eastern Germany*, 400 (387-395), Journal of Hydrology, 2011.

[11] **Krajewski W.F., Ciach G.J., Habib E.,** *An analysis of small-scale rainfall variability in different climatic regimes*, 48 (151-162), Hydrological Sciences Jounal, 2003.

[12] **Anagnostou E.N., Krajewski W.F., Smith J.,** *Uncertainity quantification of mean-areal radar-rainfall estimates*, 16 (206-215), Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1999.

[13] **Hamsen E.W., Mesa S. E.G.,Cabassa E., Beltran N.D.R, Pol S.C., Kuligowski R.J., Vasquez R.,** *Satellite sub-pixel rainfall variability*, 2 (91-100), International Journal of Systems Applications, Engineering & Development, 2008.

[14] http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/maksimum-yagisalar.aspx , Son Kontrol 18.10.2015

Farklı yağış verileri kullanılarak bir ani taşkın olayının incelenmesi

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

ÖZET

Uzaktan algılamalı ve bölgesel atmosferik yağış tahminleri geniş kapsama alanları ile yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlüklü yağış verisi sağlarlar. Bu yüzden potansiyel olarak ani taşkın tahmini ve uyarı elde etmek için hidrolojik uygulamalarda kullanılabilir. Bu çalışma Radar, Hydro-Estimator (HE) uydu algoritması ve Weather Research and Forecasting (WRF) modelinden elde edilen yağış ürünlerinin performansını araştırır ve bu ürünlerin HEC-HMS hidrolojik modelinde kullanılması ile 7-12 Eylül 2009 tarihlerinde İstanbul, Ayamama Havzasında meydana gelen yıkıcı taşkın olaylarının simülasyonunu yapar. 4-km lik yağış tahminleri çalışma alanı içindeki 34 adet yağış ölçerden elde edilen gridlendirilmiş gözlem yağışlarına karşı değerlendirilmiştir. HE, WRF, ve Radar yağışları taşkın olaylarının zamanlamasını yakalamada başarı gösteririken bazı durumlardada yersel dağılımları yakalamıştır. Yağış ürünlerinin hepsi taşkına sebep olan şiddetli yağış olayının büyüklüğünü düşük tahmin etmiştir. Bu ürünler arasında, HE en iyi performansı göstermiştir. Radar ve HE için korelasyonlar birbirine yakın olurken WRF modelinden çok daha büyüktür. Ayamama havzasının bir kısmı için mevcut olan taşkın su izlerine göre 9 Eylül taşkın olayı 253.8 m^3/s lik pik debisi ile 500-yıllık tekerrür aralıklı bir olaydan daha büyük bir olay olarak kategörize edilmiştir. Radar, HE, WRF ve gözlem yağışları ile oluşturulan taşkın hidrografları arasında, 9 Eylül sabahında yalnızca gözlem yağışlarının oluşturduğu hidrografin pik değeri (264.7 m^3/s) 500-yıllık tekerrür olayından daha büyüktür. Taşkın günü, HE yağışı 100-yıllık taşkın pik değeri (160 m^3/s) oluştururken Radar ve WRF yağışı 25-yıllık taşkın pik değeri (150 m^3/s) oluşturmuştur. Fakat, Ayamama havzasının zayıf boşaltma kapasitesi ile bu pik akım değerleri bile taşkına sebep olabilecek kapasiteye sahiptir.

Anahtar Kelimeler — döküman biçimi; stil; anahtar kelimeler.

1. GİRİŞ

Dünyada taşkınlar en çok ekonomik ve ölümcül kayıplara sebep olan önemli doğal afetlerden birisidir. Son günlerde, taşkınlar insan aktiviteleri ve değişen iklim koşulları ile beraber çok daha sık meydana gelmektedirler [1]. Taşkın özellikle verisi kısıtlı bölgelerde daha önemlidir çünkü bu bölgelerdeki yağış tahmininindeki zorluklar hidrolojik tahminlerin tutarlılığını direk olarak etkilemektedir. Hava tahmin ve uzaktan algılama modelleri gibi alternatif ürünler taşkın tahminlerinde ve erken uyarı sistemlerinde kullanılmalıdır. Yağış için geçmiş, şimdiki ve gelecek zamanlar için zamanında ve güvenilir bilgiye sahip olmak hidrolojik tahminlerin tutarlılığını artırmada son derece kritiktir.

Yağışın uzaktan algılama ve hava tahmin modelleri vasıtasıyla sürekli bir şekilde gözlemlenmesi hidrolojik tahmin simülasyonlarında kritik bir hal almaktadır. Orta ölçek model kullanımları (MM5, [2], WRF [3]) genellikle ölümcül lokal yağışlara sebep olan şiddetli hidrometeorolojik şartların tahmininde önemli bir role sahiptir. WRF modelinin taşkına sebep olan şiddetli yağış olaylarını yakalamadaki yetenekleri Türkiyenin Batı Karadeniz bölgesi üzerinde gösterilmiştir [4]. Yağış tiplerine bağlı olarak, uydu ve radarlardan elde edilen yağış tahminleri bir kaç saat aralığına kadar hidrolojik tahmin amaçlıda kullanılabilmektedir [5].

Marmara bölgesini etkileyen bir orta ölçek konvektif sistem şiddetli yağış olayları üretmiş ve 7-11 Eylül 2009 tarihleri boyunca katostraphik ani taşkın olaylarına sebep olmuştur. Yağış olayları toplamda Eylül ayı ortalamalarının 10 katından fazla bölgede yağış bırakmıştır. Hidrolojik tepki olarak, bu yağış olaylarının tetiklediği ve bölgede 12 yıllık bir zamanda görülebilecek en şiddetli taşkın olayı ile 31 kişi ölmüş ve çok önemli ekonomik kayıplar meydana gelmiştir. Bu çalışmanın ana amacı farklı yağış ürünleri ile çalıştırılan bir hidrolojik modelin bu şiddetli taşkın olaylarını oluşturmasındaki başarısını araştırmaktır. İkinci olarak, HEC-HMS hidrolojik model kullanımı ile elde edilen taşkın değerlerinde kullanılan yağış ürünlerinin rolü araştırılmıştır. Son olarakta, taşkın pik değerleri farklı tekerrür aralıklarındaki akım pik değerleri ile ölçeklendirilerek taşkın olay izleri ile karşılaştırılması yapılmıştır.

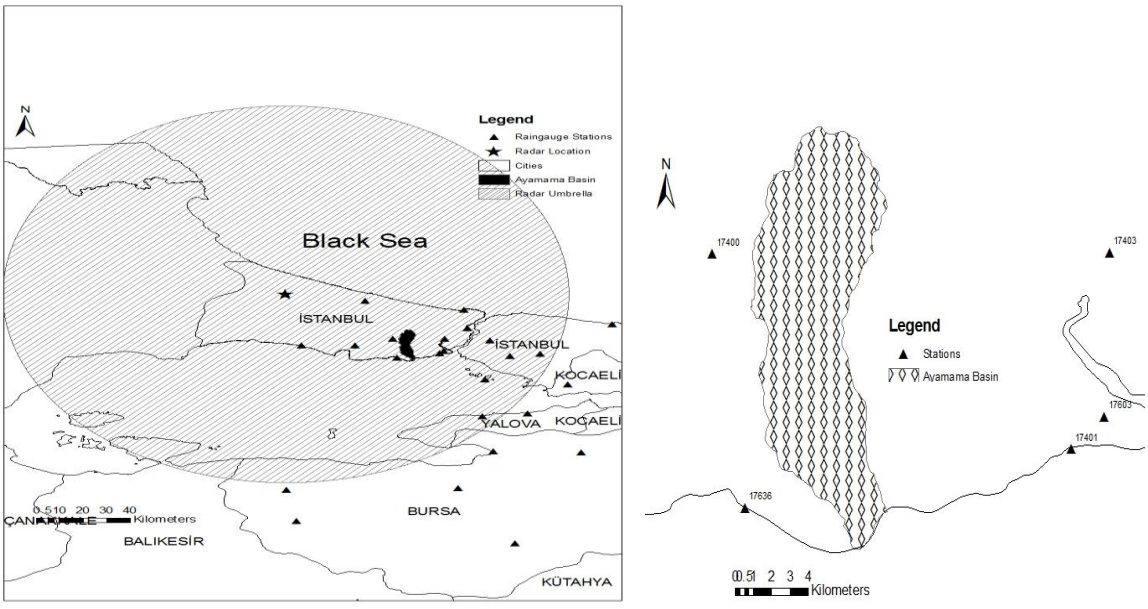
2. ÇALIŞMA ALANI VE MODELLER

Çalışma alanı Şekil 1'de de gösterildiği gibi İstanbul'u merkezine alan Marmara bölgesidir (41.01°N, 28.58 ° E). Şekil 1 yağış istasyonlarının dağılımını, veri kaplama alanı ile birlikte radar aletinin konumunu, hidrolojik model çalışmasının uygulandığı Ayamama havzasının konumunu göstermektedir. Ayamama havzasında akım ölçümleri yapılmamaktadır. Meteoroloji Genel

Müdürlüğünün (MGM) otomatik yağış istasyonlarından elde edilen yağış gözlemleri radar, uydu ve hava tahmin modelinden elde edilen yağış değerlerinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Yağış ürünleri arasında anlamlı karşılaştırmalar yapmak için sadece radar kapsama alanı içine giren 15 adet yağış istasyonları analizlerde kullanılmıştır. Radar 7 dakika frekansında 1-km lik aralıklarla 120-km boyunca veri sağlamaktadır. Fakat, radar taşkının meydana geldiği 8-9 Eylül tarihlerinde bazı frekanslarda veri sağlayamamıştır. Radar yağış ürünleri uydu ve atmosferik model grid ölçeği olan 4-km'ye interpole edilmiştir.

Uydu algoritması olarak NOAA'nin operasyonel olarak global ölçekte kullandığı yağış algoritmalarından olan Hydro-Estimator (HE) den [6] elde edilen yağış ürünleri kullanılmıştır. HE algoritması yağışı GOES'un IR (10.7 μm) kanalından elde ettiği bulut tepe noktası sıcaklığı ile tahmin eder. HE 15 dakikada bir ve 4-km çözünürlükte yağış bilgisi vermektedir. Bu algoritmanın dağlık bölgelerdeki konvektif orijinli yağışı yakalamadaki performansı değişik çalışmalarda gösterilmiştir [7]. 15 dakikalık zaman çözünürlüğü analizlerde kullanılmak üzere 1-saatlik dilime dönüştürülmüştür.

Hava tahmin modeli olarak çalışmada WRF modeli kullanılmıştır. WRF modeli nest konfigürasyonu ile 12-km ve 4-km lik çalışma alanları içinde simule edilmiştir. Modelin dış alan için başlangıç ve sınır koşulları 25-km lik ECMWF verilerinden elde edilmiştir. İç çalışma alanı Marmara bölgesini kapsayacak şekilde oluşturulmuştur. Çalışmada sadece iç alandan elde edilen 4-km lik yağış verileri saatlik olarak analizlerde kullanılmıştır.



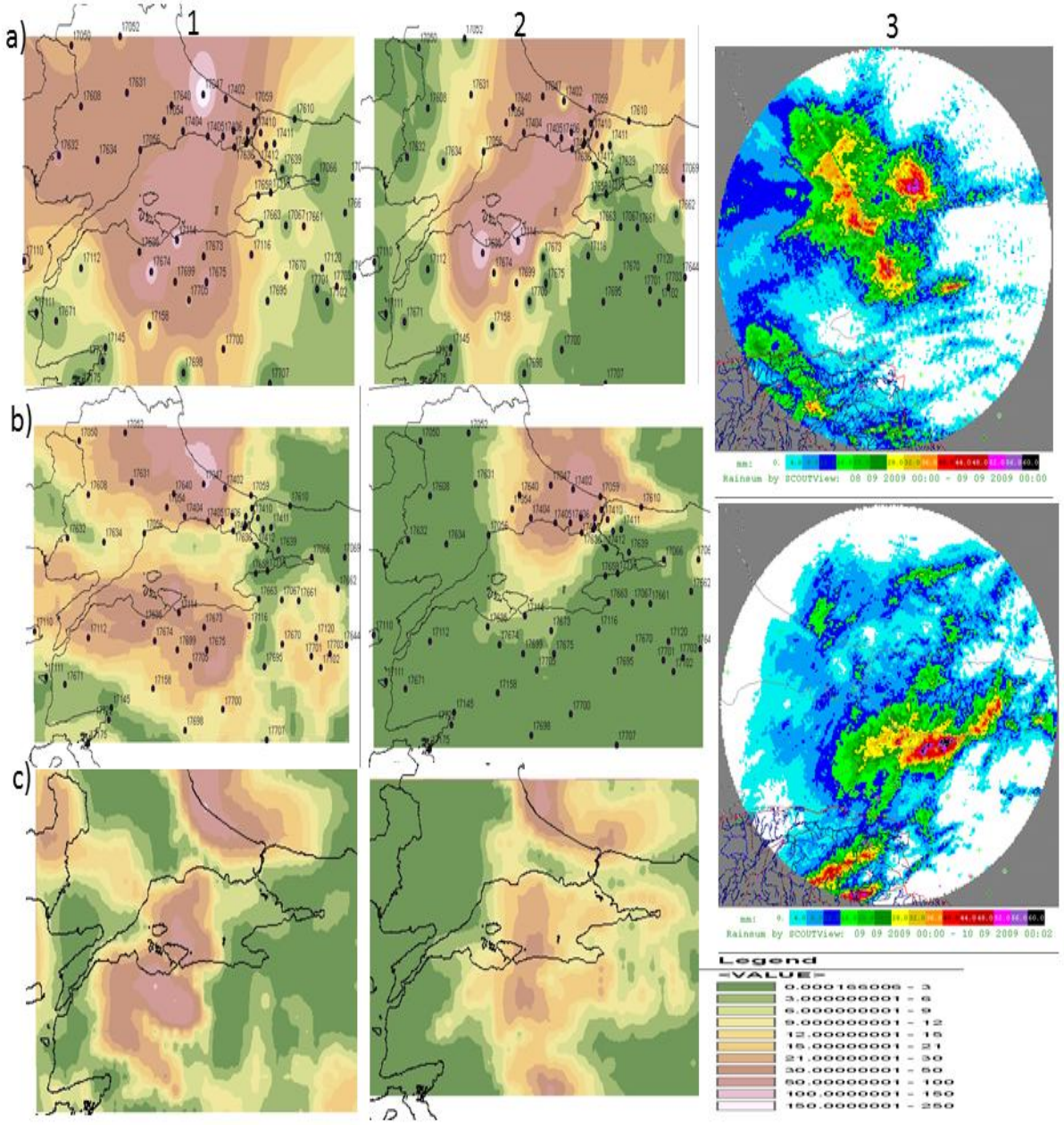
Şekil 1: *Çalışma alanının konumu.*

3 SONUÇLAR

3.1 Yağış ürünlerinin karşılaştırılması

3.1.1 Alansal karşılaştırma

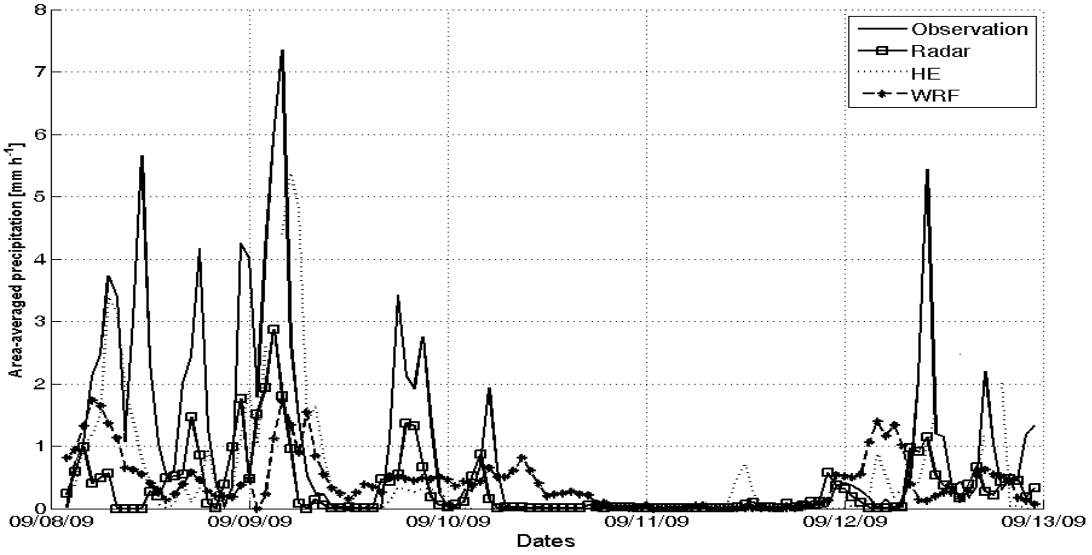
Yağış ölçümleri karşılaştırmalarda kullanılmak üzere kriging yöntemi kullanılarak çalışma alanı içine interpole edilmiştir. Çalışma alanı boyunca günlük yağış dağılımları (a) gözlemler için, (b) HE, ve (c) WRF için Şekil 2'de gösterilmiştir. (1) ve (2) kolomlar 8 ve 9 Eylül deki yağış değerlerini gösterirken (3) kolonunun alt ve üst panelleri ise 8 ve 9 Eylül'deki eşdeğer yağış değerlerini göstermektedir. Radar ve yağış ölçümlerine göre, olay 7 Eylül de Marmara Denizinin kuzeybatısında başlamış ve olayın 2. ve 3. günlerinde güney ve doğuya doğru genişlemiş ve büyümüştür. Maximum yağışın ana bölgesi Karadeniz kıyısına doğru İstanbul'un kuzeyinde 8 Eylül'de 175 mm lik yağış değerleri ile meydana gelmiş ve ikinci ana yağış bölgesi ise Marmara Denizinin güneyinden Boğazın doğusuna doğru yaklaşık olarak 150 mm'lik bir büyüklük ile 9 Eylül'de meydana gelme eğilimi göstermiştir. Radar yağış bölgelerini gösterirken büyüklükleri daha az tahmin etmiştir. HE ve WRF tahminleri yağış olayının bu genel alansal paternini daha az tahmin etme eğilimi göstererek takip eder. Ölçümler ve radar tarafından gözlemlenen doğu ve güneye doğru yağış olayındaki kayma hareketi HE ve WRF yağışları ile de gözlemlenmiştir. Fakat HE maximum yağış olaylarını yakalamada WRF'a göre daha iyi bir performans göstermiştir.



Şekil 2: 8 ve 9 Eylül'deki günlük yağışların gözlem (a), HE (b), ve WRF (c) ile gösterimi. 3. Kolumda aynı günler için radar yağışları gösterilmiştir.

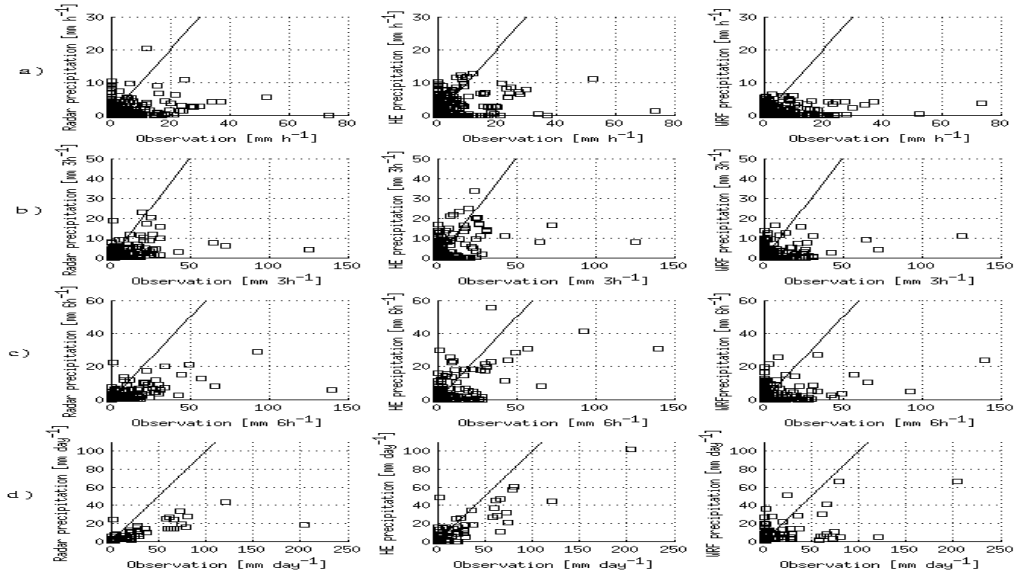
3.1.2 Yağış ürünleri arasındaki analizler

Ölçümler, radar, HE ve WRF için ortalama saatlik zaman serileri 8-13 Eylül arasında Şekil 3'de gösterilmiştir. WRF, HE ve radar dan elde edilen bütün yağış ürünleri gözlenen yağış miktarını değişen büyüklüklerde özellikle pik zamanlaması anında düşük tahmin etmiştir. Bu düşük tahmin WRF modeli için daha belirgindir. WRF, HE ve radar genellikle gözlenen olayların zamanlamasını ve periyot süresince değişimlerini yakalamıştır. Fakat, radar bütün ürünler içinde en iyi yağış değişimlerini vermiştir.



Şekil 3: Ölçümler, WRF, HE ve Radar için ortalama saatlik yağışların zaman serileri.

Düşük yağış tahminleri Figure 4'de gösterilen çapraz dağılım karşılaştırmalarda da mevcuttur. Yağıştaki dağılım saatlik yağışlardan günlük yağışlara geçildiğinde büyük miktarda azalmıştır.



Şekil 4:Saatlik, 3-saatlik, 6-saatlik ve günlük çapraz yağış dağılımları.

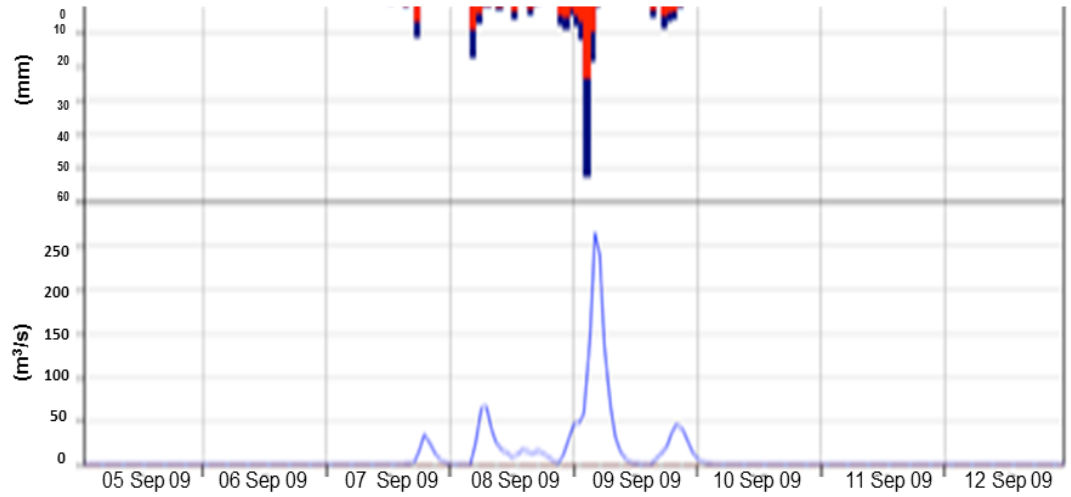
Tablo 5'de verilen istatistiklerdede saatlik yağışlar dan günlük yağışlara geçerken dağılımlardaki azalma görülmektedir. HE en düşük fark ve hata değerlerini göstermektedir. İlave olarak, HE ve radar WRF'e göre daha iyi bir performans göstermiştir.

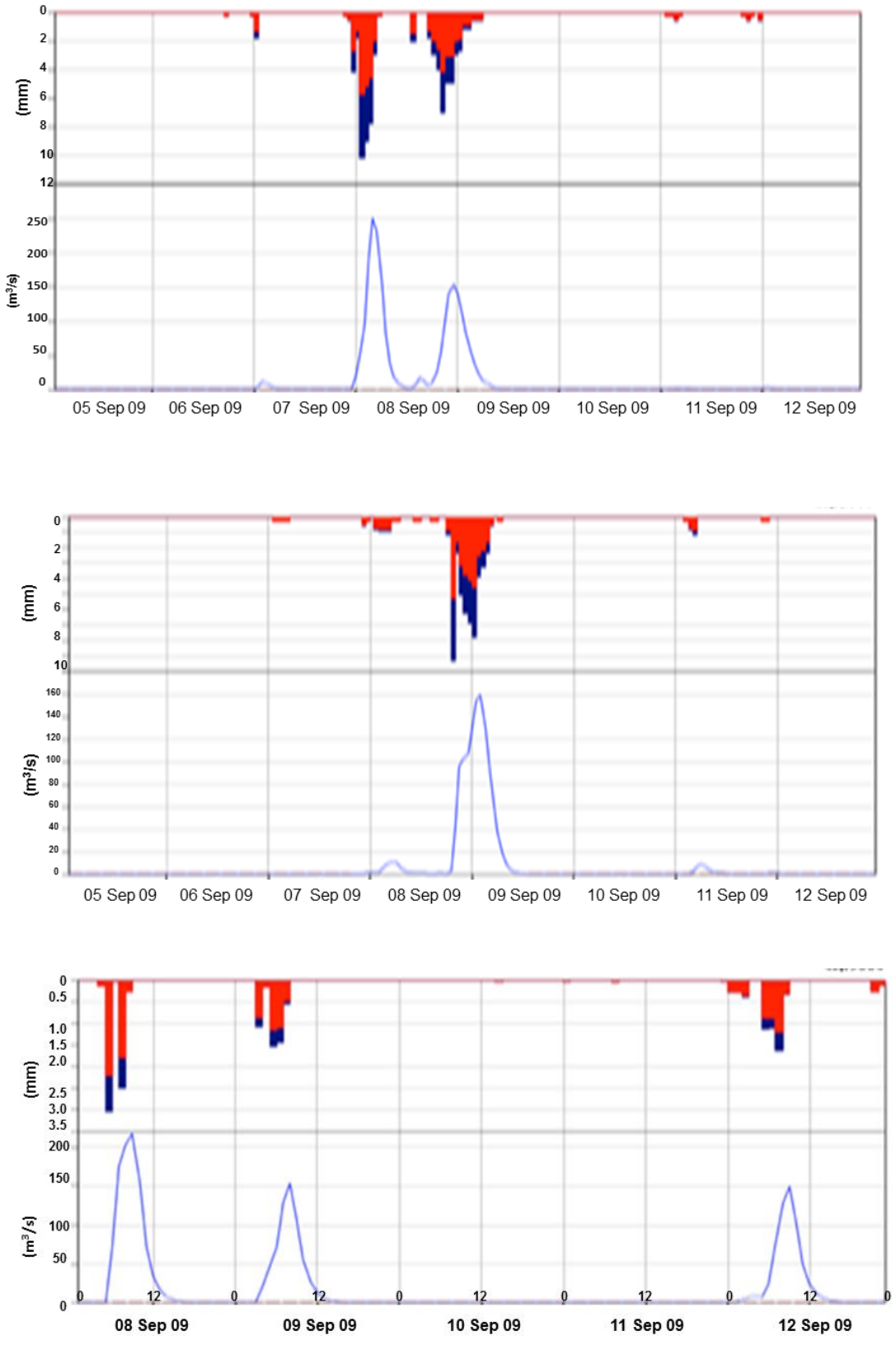
Tablo 1: Yağış istatistikleri.

Time (h)		Radar	WRF	HE
1	BIAS	-0.587	-0.453	-0.355
	RMSE	3.579	3.721	3.536
	R	0.347	0.196	0.358
3	BIAS	-1.640	-1.265	-0.994
	RMSE	7.629	8.123	7.427
	R	0.485	0.260	0.463
6	BIAS	-3.198	-2.468	-1.938
	RMSE	11.380	12.413	10.248
	R	0.633	0.322	0.632
24	BIAS	-12.793	-9.872	-7.755
	RMSE	29.477	29.919	21.036
	R	0.771	0.5185	0.866

3.2 Taşkın hidrograflarının karşılaştırılması

Şekil 5 gözlem, radar, HE, ve WRF yağışlarının kullanımı ile elde edilen taşkın hidrograflarını ve yağış heyetograflarını göstermektedir. HE, WRF, ve radar yağışları kullanımı ile elde edilen taşkın hidrografının zamanlaması gözlem yağışları kullanıldığında elde edilen hidrograf ile birebir uyumludur fakat ürünlerin hepsi gözlem pik debinin büyüklüğünü yakalayamamıştır.





Şekil 5: Gözlem, radar, HE ve WRF ile elde edilen ortalama yağış heyetografları ve taşkın hidrografları gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Dankers R, Feyen L., Flood hazard in Europe in an ensemble of regional climate scenarios. J Geophys Res 114:D16108. doi:10.1029/2008JD011523. 2009.

[2] Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, A description of the fifth generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR Tech. Note NCAR/TN-398+STR, 138 pp., 1995.

[3] Skamarock W. C., Klemp J. B., Dudhia J., Gill D. O., Barker D. M., Wang W., and Powers J. G., A description of the Advanced Research WRF Version 2. Tech. rep., NCAR., 2005.

[4] Yucel, I. and A. Onen, Evaluating the extreme precipitation events using a mesoscale atmosphere model and satellite based precipitation product, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 14, 611-624., 2014.

[5] Amengual, A. , T. Diomede, C. Marsigli, A. Mart, A. Morgillo, R. Romero, P. Papetti, and S. Alonso, A hydrometeorological model intercomparison as a tool to quantify the forecast uncertainty in a medium size basin, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 819–838, 2008.

[6] Scofield, R. A. and Kuligowski, R. J., Status and outlook of operational satellite precipitation algorithms for extreme-precipitation events. Weather Forecasting, 18, pp. 1037–1051, 2003.

[7] Yucel, I., R. J. Kuligowski and D. J. Gochis, Evaluating the hydro-estimator satellite rainfall algorithm over a mountainous region, International Journal of Remote Sensing, 32:22, 7315-7342, 2011.

METCAPPLUS PROGRAMINDA UZAKTAN ALGILAMA ÜRÜNLERİ İLE METEOROLOJİK OLAYLARIN İNCELENMESİ 22 EYLÜL BODRUM SELİ

M.Kuddusi SARI
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Telekomünikasyon Şube Müdürlüğü
Ankara
mksari@mgm.gov.tr

Hüseyin BULUT
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Yazılım ve Donanım Şube Müdürlüğü
Ankara
hbulut@mgm.gov.tr

ÖZET

Hava tahmini yapmak, meydana gelen özel bir hava olayını belirli bir zaman aralığında incelemek veya değişik amaçlı meteorolojik araştırmalar yapmak için değişik görüntüleme yazılımları kullanılmaktadır. MGM personelince geliştirilen MetcapPlus yazılımı; aktüel gözlemlerin ve değişik kaynaklardan alınan sayısal ürünlerin kullanıcı tarafından istenilen şekilde gösterilmesi, uydu ve radar ürünlerinin hazırlanması, hareketli gösterimi, belirlenen zaman aralığına ait verilerin depolanması ve daha sonra kullanılması gibi pek çok özelliğe sahiptir. Bu çalışmada 22 Eylül 2015 tarihinde Bodrum ve civarında meydana gelen kuvvetli yağış ve sel olayının uzaktan algılama ürünleri ile MetcapPlus paketi kullanılarak nasıl incelenebileceği gösterilmiştir. Meydana gelen etkili yağışın neden ve nasıl oluştuğu ayrıca çalışılabilir.

Anahtar Kelimeler — Meteorolojik Görüntüleme yazılımı, MSG Ürünleri, Radar ürünleri, Sayısal Tahmin Ürünleri, Aktüel Gözlemler, Bodrum Kuvvetli Yağışı

1. GİRİŞ

MetcapPlus yazılımı meteorolojik durumun analizinde ve değişik kaynaklardan alınan aktüel ve tahmin ürünlerini kullanıcılarına sunmaktadır. Yazılım kullanıcılardan gelen talepler doğrultusunda ve geliştirilen yeni veri kaynaklarının kullanılabilmesi amacıyla sürekli güncellenmektedir. Özellikle uzaktan algılama ürünlerinin (Uydu ve Radar ürünlerinde) görüntülenmesinde farklı yazılımlar kullanılmasından ve bu ürünlerin büyük kısmının İntranette resim şeklinde sunulması nedeniyle, paketin Uzaktan Algılama ürünleri kısmı kullanıcıların bir kısmı tarafından fazla kullanılmamaktadır.

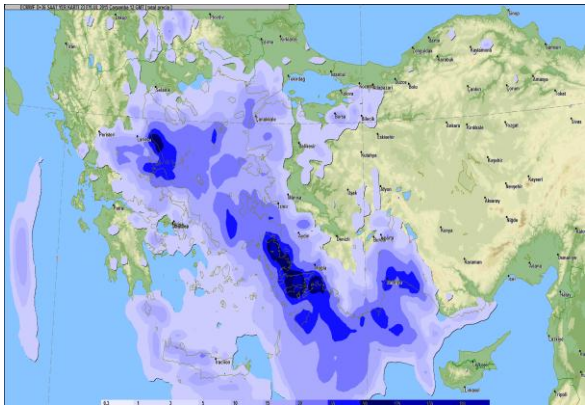
Bu çalışma, Bodrum'da meydana gelen sel gibi önemli meteorolojik olayın olmadan önce tahmin edilmesinde ve olduktan sonra durum değerlendirme çalışmalarında MetcapPlus yazılımı ürünlerinin nasıl kullanılacağı hakkında genel bilgi vermektir.

2. METCAPPLUS TARAFINDAN HAZIRLANAN SAYISAL ÜRÜNLER

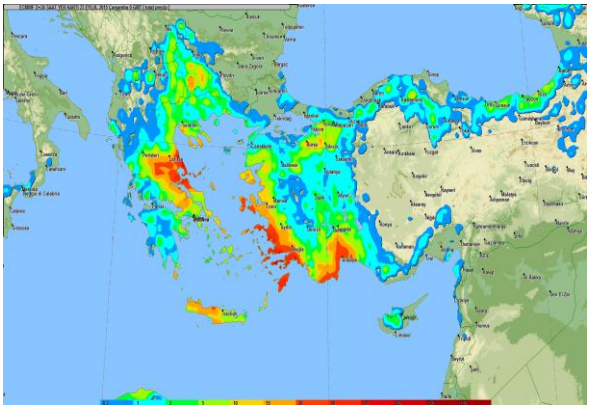
MetcapPlus yazılımı değişik merkezlerce GRIB1, GRIB2 ve BUFR formatında hazırlanan sayısal ürünleri, kullanıcıların istediği bölgeler için değişik şekillerde hazırlamakta, animasyonlar yapmakta, yatay ve dikey kesitler sunabilmektedir. İstenmesi durumunda değişik merkezlerin ürünlerini aynı harita üzerinde gösterebilmektedir.

Aşağıdaki şekillerde 22 Eylül 2015 tarihi için ECMWF tarafından tahmin edilen yağış miktarları gösterilmektedir. Haritalardan da görüleceği gibi ECMWF, hadisenin meydana geldiği bölge için 24 saatte toplam olarak 90-120 mm civarında yağış beklemektedir.

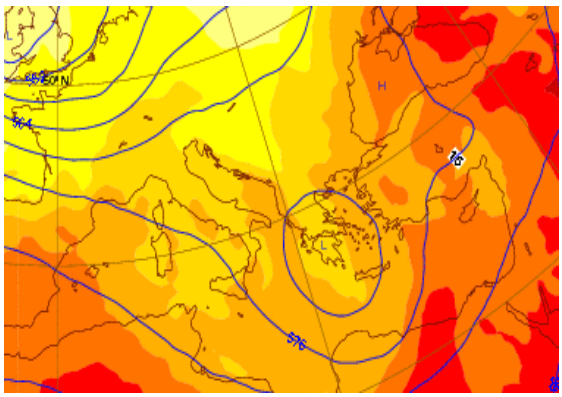
00:00 GMT'de hazırlanan Bodrum nokta Meteogramında da 24 saatlik periyod için yaklaşık 30 mm yağış beklemektedir. 500 hPa yüksekliği ve 850 hPa sıcaklık kartlarında da Ege denizi üzerinde 5700 metrelik bir alçak merkez ile soğuk hava görülmektedir. Yer Kartı incelendiğinde Ege denizi üzerinde 1004 hPa merkez değeri olan bir alçak merkez görülmektedir. Bu nedenle batı bölgelerimizde etkili olan yağışın temel nedeninin yükseklerdeki serin hava ve bu alçak merkezin olduğu düşünülebilir.



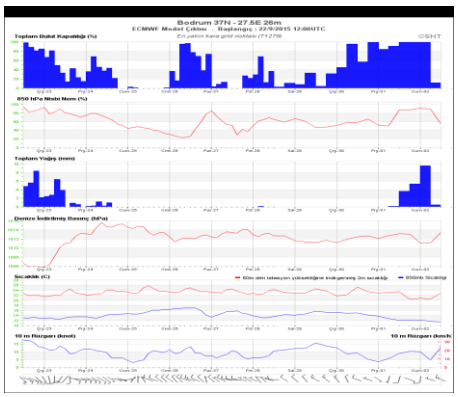
Şekil-1: ECMWF 24 Saatlik Yağış



Şekil-2: ECMWF 24 Saatlik Yağış (sadece kara üzerinde)



Şekil-3: ECMWF 500hPa & 850hPa Sıcaklık



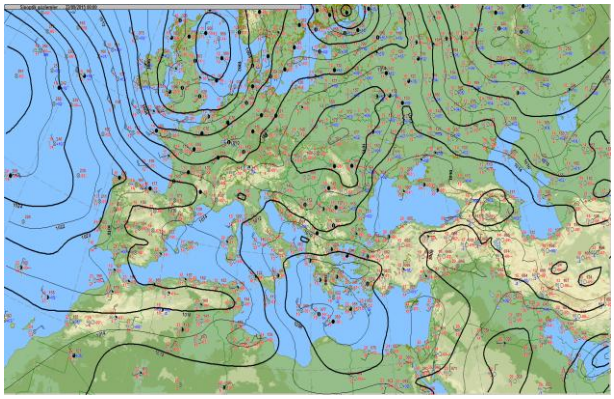
Şekil-4: ECMWF Meteogram

3. AKTÜEL KARTLAR

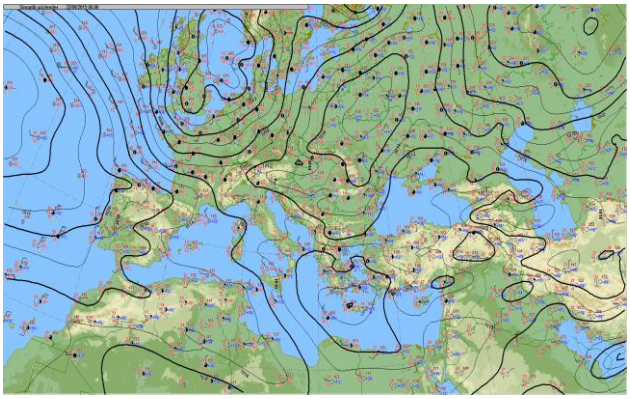
3.1 Yer Kartları

MetcapPlus kullanılarak Yer seviyesinden 100 hPa seviyesine kadar değişik seviyeler için birçok harita hazırlanabilmektedir. Burada tahminciler tarafından kullanılan yer kartı, 850, 700, 500 ve 300hPa seviyelerine ait haritalar hazırlanmıştır.

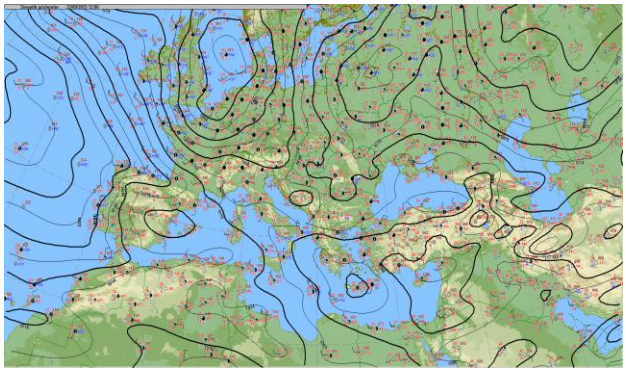
Hadise başlamadan öncesine ait 22 Eylül 2015 00:00 GMT ‘ye ait kartlar aşağıda gösterilmiştir. Bu kartlarda Ege üzerindeki alçak basıncın 24 saat boyunca yerini koruduğu görülmektedir.



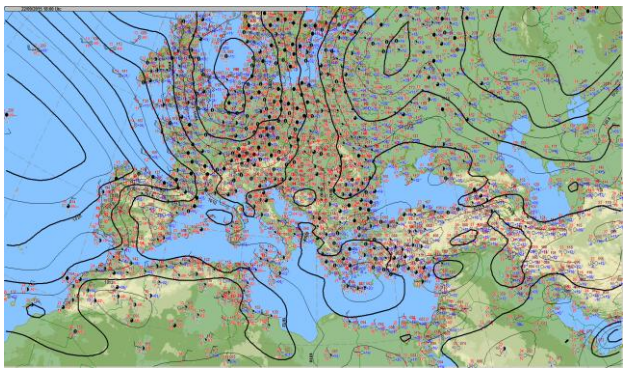
Şekil-5:Aktüel Yerkartı 22 Eylül 2015 00:00GMT



Şekil-6:Aktüel Yerkartı 22 Eylül 2015 06 GMT



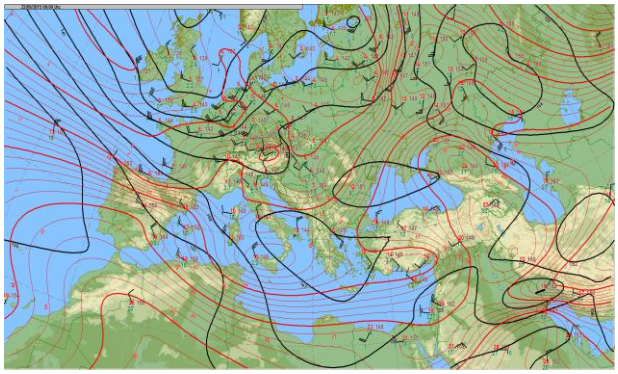
Şekil-7:Aktüel Yerkartı 22 Eylül 2015 12 GMT



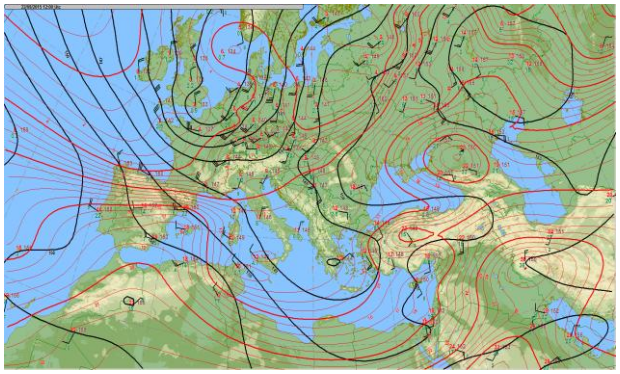
Şekil-8:Aktüel Yerkartı 22 Eylül 2015 18 GMT

3.2 Yüksek Seviye Haritaları

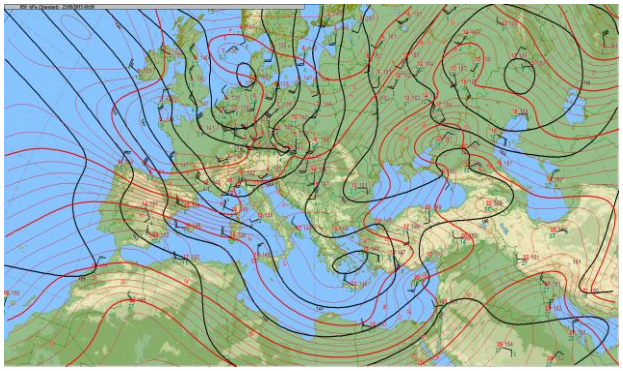
Hazırlanan yüksek seviyelerden 850Hpa da 00:00 GMT de Batı Akdeniz ve Güney Ege üzerinde görülen 15 derecelik göreceli soğuk kütlenin 12:00 GMT'de kaybolduğu ve 1-3 derecelik bir ısınmanın meydana geldiği görülmektedir.



Şekil-9:850hPa 22 Eylül 2015 00:00 GMT

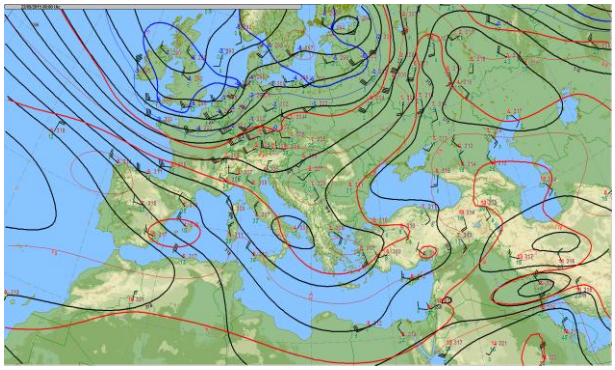


Şekil-10:850hPa 22 Eylül 2015 12:00 GMT

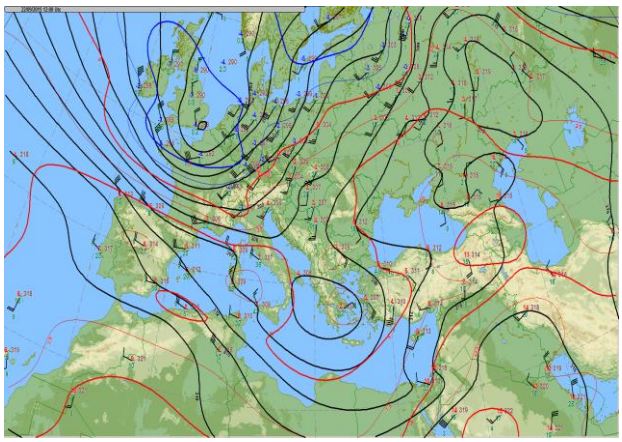


Şekil-11:850hPaı 23 Eylül 2015 00:00 GMT

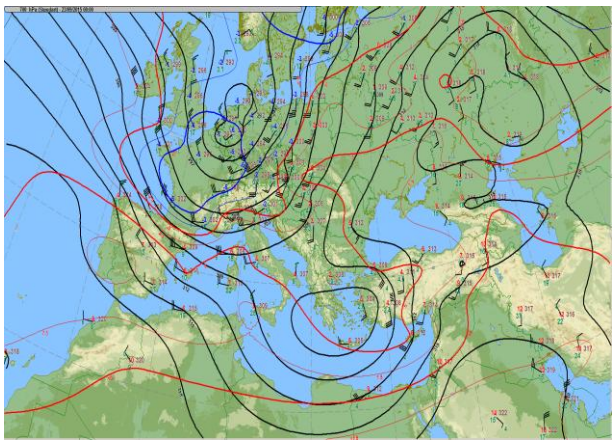
700 hPa 12:00 GMT'de soğumayla birlikte nemliliğin 00:00 GMT'ye göre arttığı rahatlıkla görülmektedir.



Şekil-12:700hPa 22 Eylül 2015 00:00 GMT

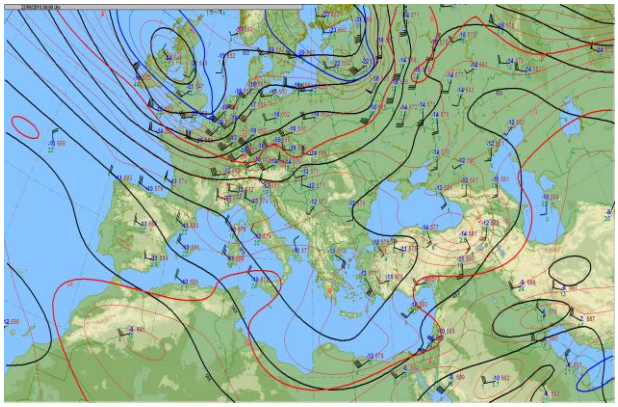


Şekil-13:700hPa 22 Eylül 2015 12:00 GMT

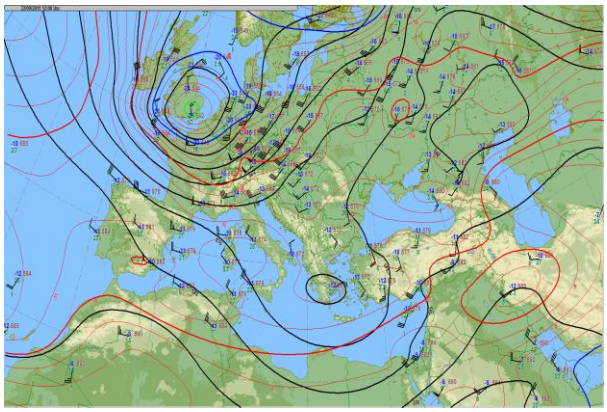


Şekil-14:700hPa 23 Eylül 2015 00:00 GMT

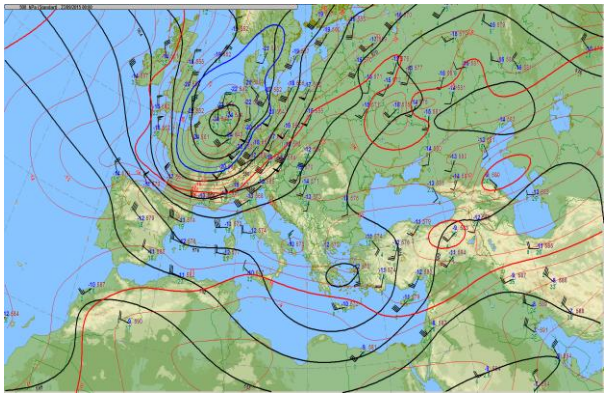
500 hPa seviyesinde ise nispeten soğuk havanın durumunu koruduğu görülmektedir.



Şekil-15:500hPa 22 Eylül 2015 00:00 GMT

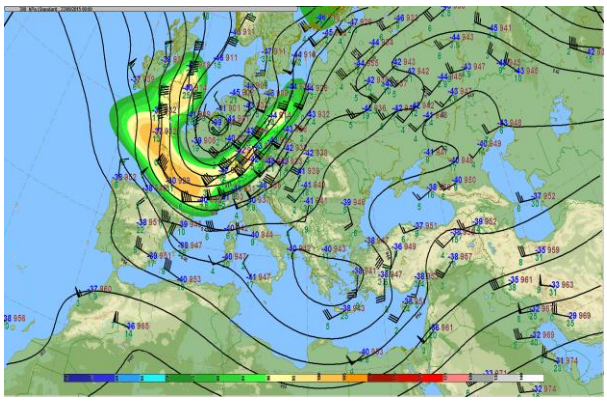


Şekil-16:500hPa 22 Eylül 2015 12:00 GMT



Şekil-17:500hPa 23 Eylül 2015 00:00 GMT

300hPa da kuvvetli akışlar olmamakla birlikte serin hava bu seviyede de görülebilmektedir.



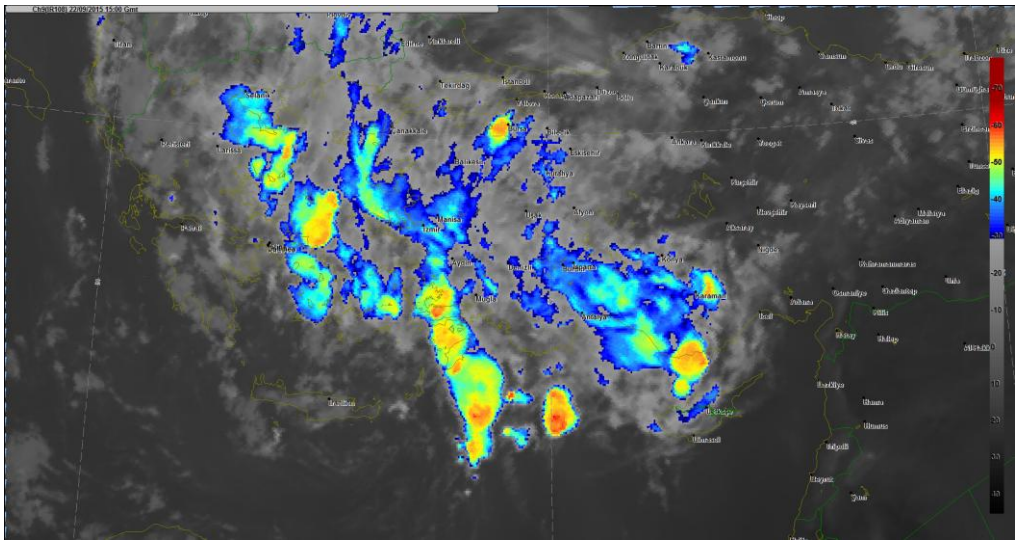
Şekil-18:300hPa 23 Eylül 2015 00:00 GMT

3.3 Uydu Görüntüleri

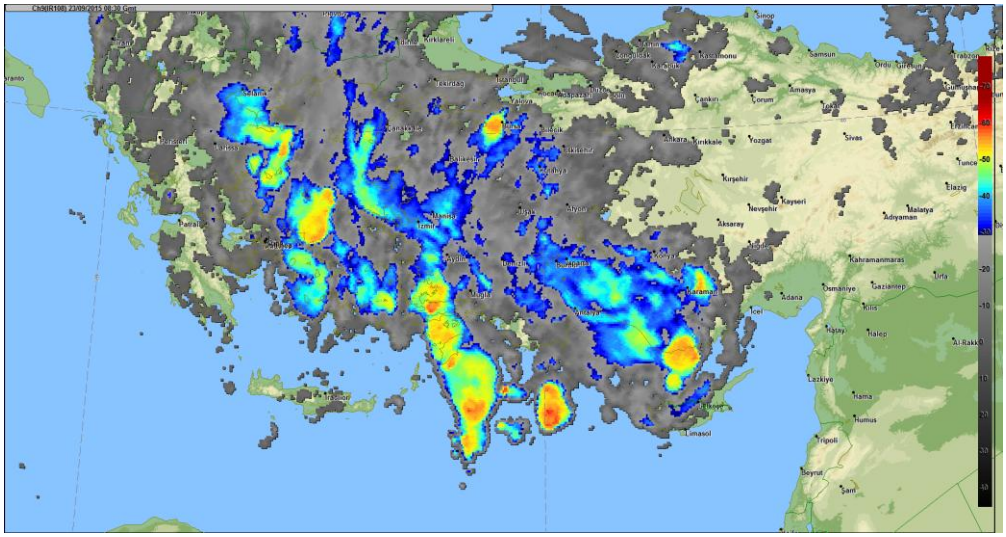
22 Eylül 2015 tarihli uydu verileri incelendiğinde, özellikle Batı Akdeniz ve Güney Ege'de gün boyu yoğun konvektif aktivitelerin olduğu görülecektir. MSG IR10.8 kanalından alınan Şekil-19 bu durumu çok net olarak göstermektedir. Özellikle yağışın yoğun olduğu 12:00-15:00 GMT arasında bu bölgede bulut tepe sıcaklığının -56°C olduğu görülmektedir. Bu değer de Cb tepe sıcaklığıdır. Uydu görüntüleri ile MetcapPlus yazılımını kullanarak değişik ürünler elde edilebilir. Şekil-20' de sıcaklık üst limiti 0°C yapılarak sadece bulutlu alanların gösterilmesi sağlanmıştır. MSG uydularından alınan bütün kanal verileri ile değişik SAF ürünleri de program tarafından kullanılmaktadır.

Uydu görüntülerinin hareketli gösterimi ile Bodrum civarında Güneyden Kuzeye doğru yoğun bulut hareketleri görülmektedir.

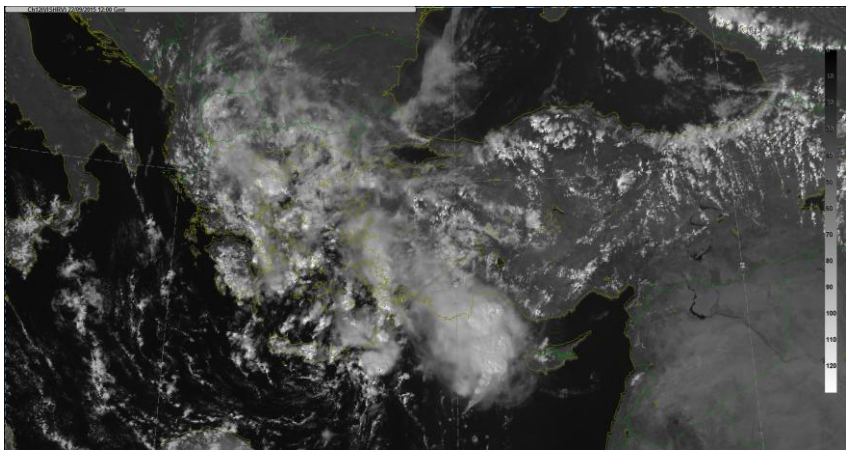
Değişik kanallardan alınan verilerin birleştirilmesi ile elde edilen RGB ürünleri de yazılım tarafından üretilmektedir. Şekil-22' de RGB Doğal görünüm ürünü incelendiğinde çalışılan bölge üzerindeki bulut yoğunluğu daha net olarak görülmektedir.



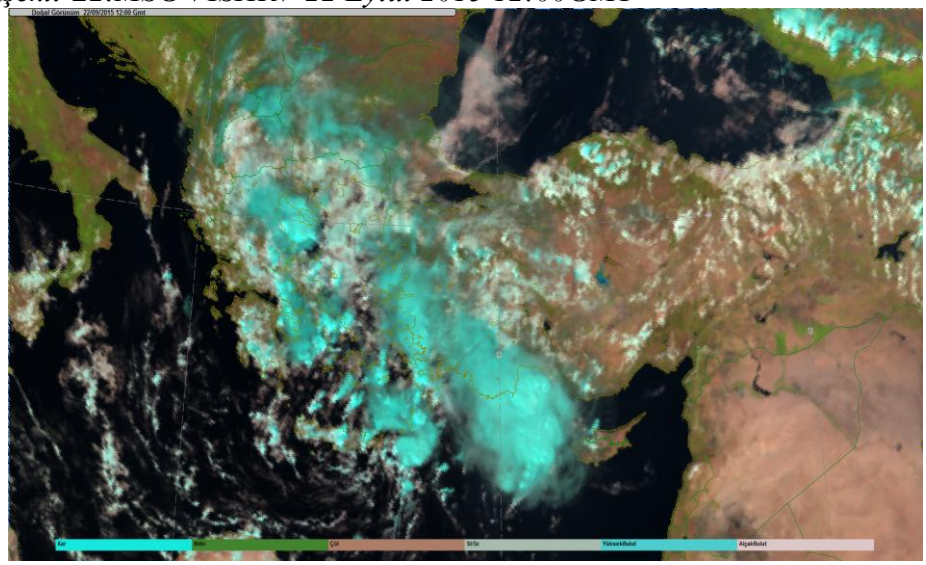
Şekil-19:MSG IR 10.8 Kanal görüntüsü 22 Eylül 2015 15:00 GMT



Şekil-20:MSG IR 10.8 Kanal görüntüsü 22 Eylül 2015 15:00 GMT (Bulut alanlar temizlenmiş)



Şekil-21:MSG VISHRV 22 Eylül 2015 12:00GMT

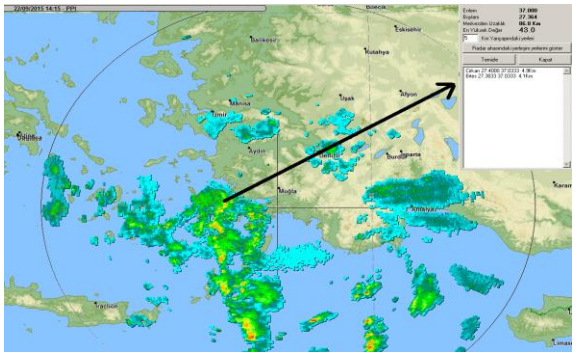


Şekil-22:MSG RGB Doğal görünüm 22 Eylül 2015 12:00GMT

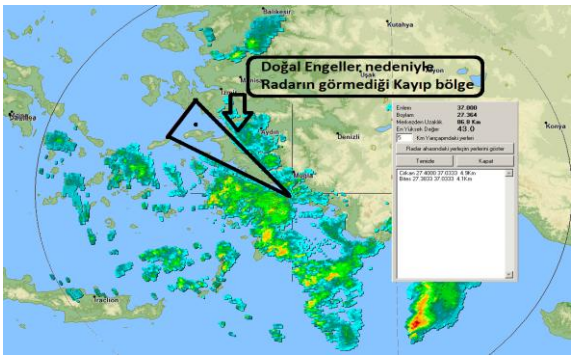
3.4 Radar Görüntüleri

Bu çalışma için Muğla radarından BUFR formatında alınan 22 Eylül 2015 tarihli veriler kullanılmıştır. Özellikle yağışın yoğun olduğu öğle saatlerinde Bodrum ve güneyinde yoğun yağışlar gözlenmektedir. O bölge üzerine gelinip tıklandığında yoğun bölgedeki PPI ürünü değerinin 42 dBZ olduğu ve en yakın yerleşim bölgelerinin isimleri görülebilir.

Muğla radarı verileri incelendiğinde, Bodrumun kuzeyinden başlayan dar bir alandan, doğal engeller nedeniyle veri alınamadığı görülmektedir.

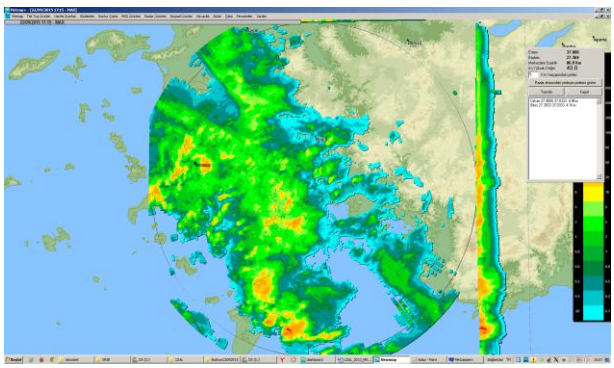


Şekil-23: Muğla Radar PPI ürünü

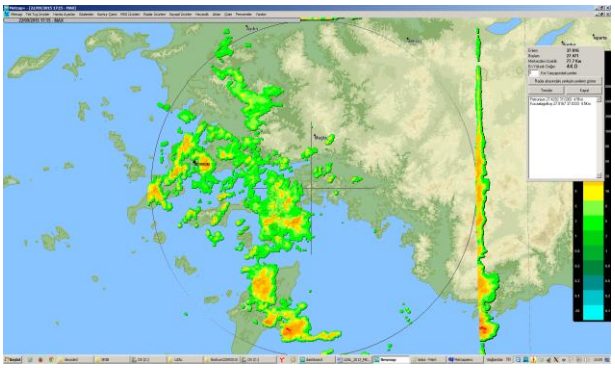


Şekil-24: Muğla Radar PPI Kayıp alanı

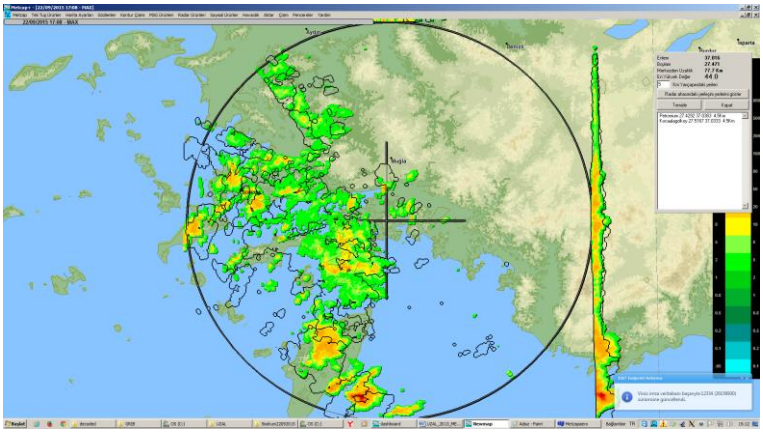
Muğla Radarı MAX ürünleri de yağışın şiddeti ve hareket yönü açısından detaylı bilgi vermektedir. Muğla radarı MAX ürününde alt sınır 30 dBZ yapıldığında, şiddetli yağışın etkili olduğu bölgeler ile yazılımın hareket takip modülü kullanılarak 30 dakika içerisinde nereden nereye hareket ettiği de görülebilir.



Şekil-25: Muğla Radar MAX



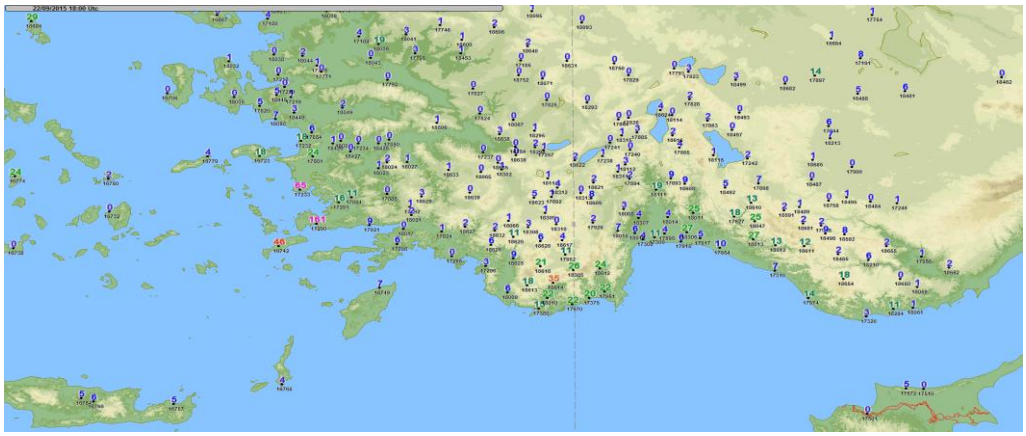
Şekil-26: Muğla Radar MAX (alt limit 30)



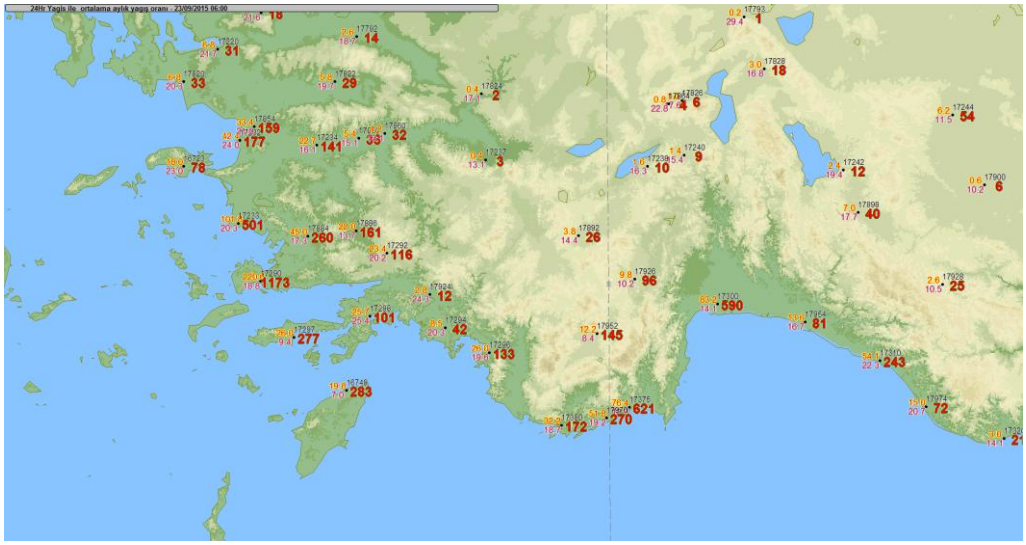
Şekil-27: Muğla Radar MAX Yağış takibi

3.5 Yağış sonrası değerlendirmeler

MetcapPlus yazılımı bir ürünü birleştirebilmek özelliğine sahiptir. Uydu ve radar ürünleri birlikte gösterileceği gibi bunların üzerinde değişik gözlemler ve klimatolojik bilgiler de işlenebilir. Bodrum meteoroloji istasyonu 18:00 GMT de 161 mm yağış rapor etmiştir. Bu rasat ve çevredeki otomatik istasyonlardan alınan veriler harita üzerine konduğunda, meydana gelen hadisenin nereleri etkilediği ve boyutları görülebilir. 23 Eylül 2015 06:00 GMT rasadında verilen 24 saatlik toplam yağış ile aylık ortalama yağış harita üzerinde gösterildiğinde 24 saatlik yağışın 220.6 mm, aylık ortalama yağışın 18.8 mm ve meydana gelen yağışın aylık ortalama yağışın 11.73 katı olduğu görülmektedir.



Şekil-28: 22/09/2015 18:00 GMT Yağış Miktarı



Şekil-29: 24 Saatlik Yağış – Ortalama Aylık Yağış Oranı

4 SONUÇLAR

METCAP+ yazılım paketi, aktüel verilerin ve tahmin ürünlerinin gösterimi konusunda kullanıcılara değişik imkânlar sunan etkili bir yazılımdır. Bu yazılım ile mevcut tüm bilgiler aynı ekran ve harita üzerinde incelenebilir. Aktüel bilgilerin yanı sıra Türkiye'deki kaydı bulunan tüm istasyonlar ile dünyadaki belli başlı istasyonlara ait klimatolojik bilgiler de incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Erdi, Erdem** *Converting HRIT to HDF*, 2011

[2] **WMO,***A GUIDE TO THE CODE FORM FM 92-IX Ext. GRIB*,2003

[3] **WMO,** *Guide to WMO Table Driven Code Forms: FM 94 BUFR andFM 95 CREX* ,2002

[4] **WMO,** *Manual on Codes*,2009

15 ve 21 Ağustos 2015 Tarihlerinde Çubuk ve Etimesgut'ta Meydana Gelen Fırtına ve Şiddetli Yağışın Analizi

Seyfullah Çelik scelik@mgm.gov.tr
Hüseyin Şahin hsahin@mgm.gov.tr
Bahattin Aydın bahattinaydin@mgm.gov.tr
Özkan Öz ooz@mgm.gov.tr

*Meteoroloji Genel Müdürlüğü,
Araştırma Dairesi Başkanlığı,
Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü

ÖZET

15 Ağustos 2015 tarihinde Çubuk'ta meydana gelen fırtına sonucunda birçok ev ve işyeri hasar görmüş, minare yıkılmıştır. Gölbaşı üzerinde oluşan konvektif oluşum, Bayındır, Akyurt ve Esenboğa üzerinden Çubuk'a ulaşmıştır. Siklonik oluşum hem yer gözlemleri hem de uzaktan algılama ürünleri olan, radar ve yıldırım tespit sistemlerinden takip edilmiştir.

19 Haziran 2004 tarihinde de alışık olunmayan şekilde, Çubuk-Sünlü köyünde hortum meydana gelmiş 3 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, evler hasar görmüş ve araçlar savrulmuştur. Çubuk ilçesi için yapılan, bu çalışma bu bakımdan da önemli olacaktır.

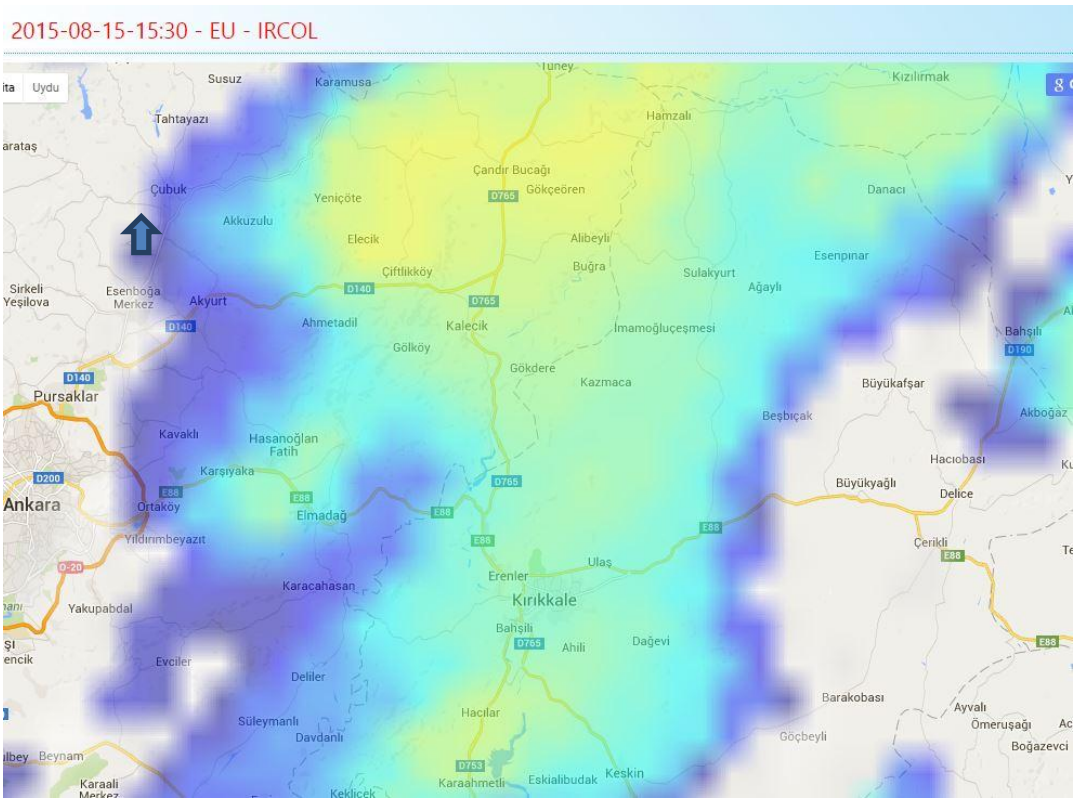
21 Ağustos 2015 günü ise benzer şartlar bu kez Ankara'nın batı ilçesinde Etimesgut'tan Söğütözü'ne ulaşan Eskişehir yolu boyunca şiddetli yağış olarak gerçekleşmiş 1 saatte 70,9 mm yağış kaydedilmiştir.Ölçülen bu miktar Ankara için ekstrem bir yağış olup her sektör için dikkate alınacak bir miktardır.

Son yıllarda ekstrem meteorolojik değerlerin çok farklı miktar ve değerlerle geçilmesi, bu konuya olan hassasiyeti daha da arttırmış, bu olayların tahmini, tanımı ve takibi gibi konuları çok önemli hale getirmiştir.

Anahtar Kelimeler — Çubuk- Hortum- Şiddetli Yağış- Fırtına

1. GİRİŞ

15 Ağustos 2015 tarihinde Çubuk'ta meydana gelen fırtına sonucunda bir çok ev ve işyeri hasar görmüş, çatılar uçmuş ve ilçe merkezinde bulunan bir cami minaresi yıkılmıştır. Atmosferin yukarı seviyelerinde bulunan serin hava ile yerdeki sıcak ve nemli havanın etkisi ile görülen konvektif faaliyet ve sağanak yağışlar, belirli bir alan üzerinde düzenli hareket etmiş ve o bölgeyi etkilemiştir. Bölge üzerinde yağıştan çok fırtına etkili olmuştur.



Şekil -1 Ankara'nın doğu kesimleri ve uydu görüntüsü

Bölge coğrafi olarak Ankara'nın kuzey ve doğu kesimlerinde, Esenboğa Hava Limanı yakınında ve Çubuk ovası gibi İç Anadolu'nun kuzeyinde yer alan geniş alanlardan birisidir. Ortalama yükselti 1000 m civarındadır, ancak etrafında 1985 metre yükseklikte İdris Dağı Gölbaşından Çubuk'a kadar uzanan alan ise yine bölge genelinde dağlarla çevrili bir vadi şeklinde uzanmaktadır. Aynı durum Etimesgut Hava Limanı çevresindeki alan içinde geçerli olmaktadır. Etrafına göre daha düz alanlarda, hava sirkülasyonun az olması, sıcaklık değerlerinin daha kolay yükselmesi sağlamaktadır.

Bu çalışmada Çubuk ilçesini seçmemizin nedeni, 19 Haziran 2004 Tarihinde de etkili bir konvektif faaliyet sonucunda Sünlü köyünde hortum olayı meydana gelmesi ve olayda 3 vatandaşımızın hayatını kaybetmesidir.

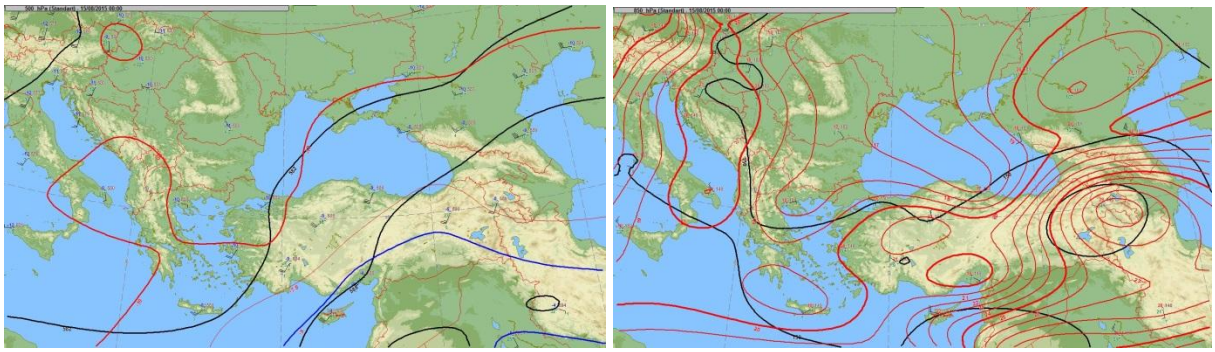


Şekil-2 19 Haziran 2004 (sol resimler) ve 15 Ağustos 2015 tarihlerine ait görüntüler

İç Anadolu bölgesi nem ve sıcaklık açısından hortum oluşumuna genel olarak uygun bir alan olarak görülmemektedir. Ancak böyle kuvvetli meteorolojik olayların meydana gelmesi, insanların ölmesi, araçların ters dönmesi, minarelerin yıkılması, çatıların uçması Çubuk'ta meydana gelen fırtınanın önemini arttırmıştır.

2 SİNOPTİK VE KARARSIZLIK ANALİZİ

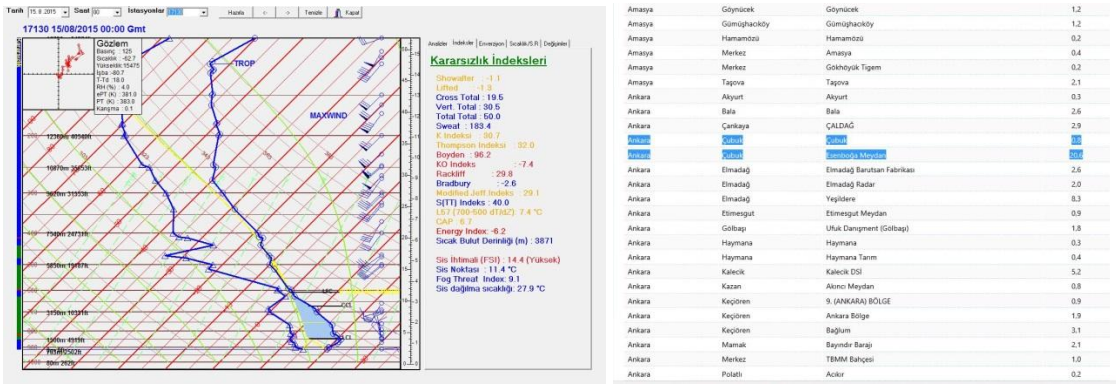
15 Ağustos 2015 tarihine ait yer ve yüksek seviye haritalarının analizinde atmosferin yukarı seviyelerinde bir serin hava, -10 °C, yere yakın seviyede ise 20 °C gibi oldukça sıcak bir hava bulunmaktadır. Sıcak karakterli Basra alçak basınç merkezi ise 1004 hPa değerinde yurdun iç kesimlerine kadar uzanmaktadır. Karasızlık yağışları için uygun atmosferik şartlar bulunmaktadır.



Şekil-3 500 ve 850 hPa analiz, 25 Ağustos 2015 00:00 UTC

Kararsızlık analiz değerleri incelendiğinde konvektif gelişme ve yağış için uygun şartların var olduğu görülmektedir. Değerler yüksek değildir ancak sınır değerlerinin üzerindedir. En yüksek

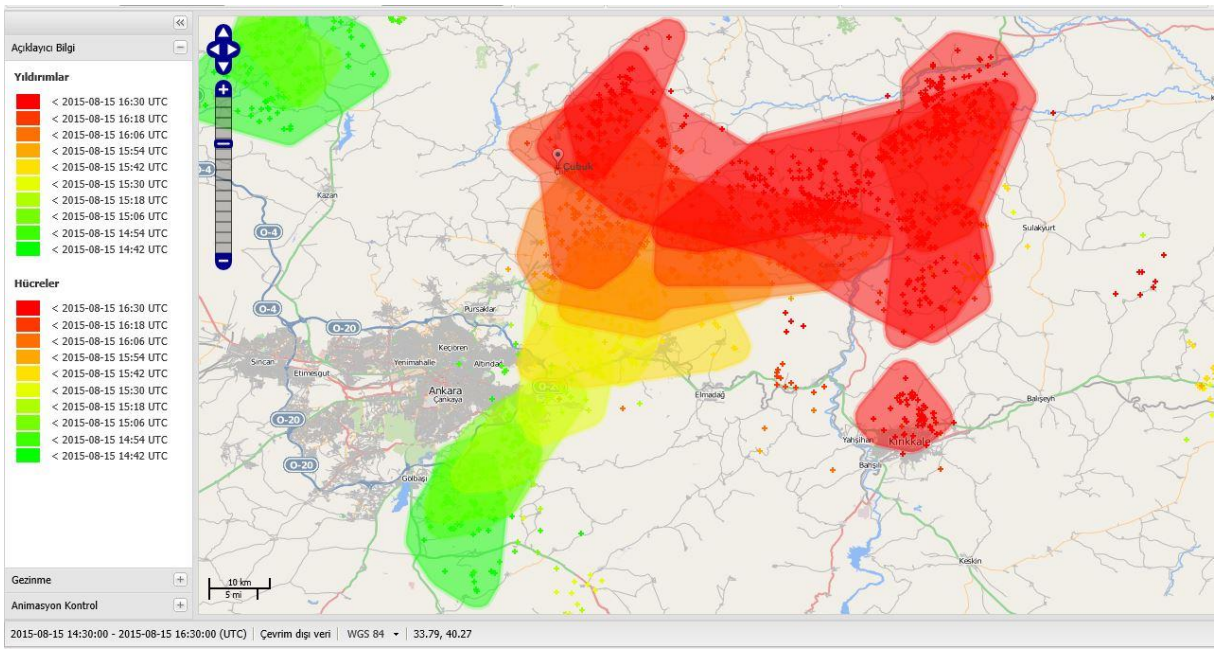
sıcaklık 30-32 °C civarında, işba sıcaklığı olay esnasında 16-18 °C kadar yükselmiştir. Temp diyagramı analizinde genel olarak nem oranının düşük olduğu görülmektedir. Bu da yağışa etki etmiştir ve yağış miktarları bölge genelinde en fazla 21 mm olarak Esenboğa Hava Limanında ölçülmüştür, Çubuk'ta ise yağış miktarı bölge genelinde olduğu gibi, sadece 0,8 mm'dir.



Şekil-4 Ankara (17130) temp analizi ve yağış miktarı (mm)

Kararsızlık analizinde değerlerin yüksek çıkmaması normaldir, Temp diyagramının yapıldığı Merkez'e sadece 0,3 mm yağış düşmüştür.

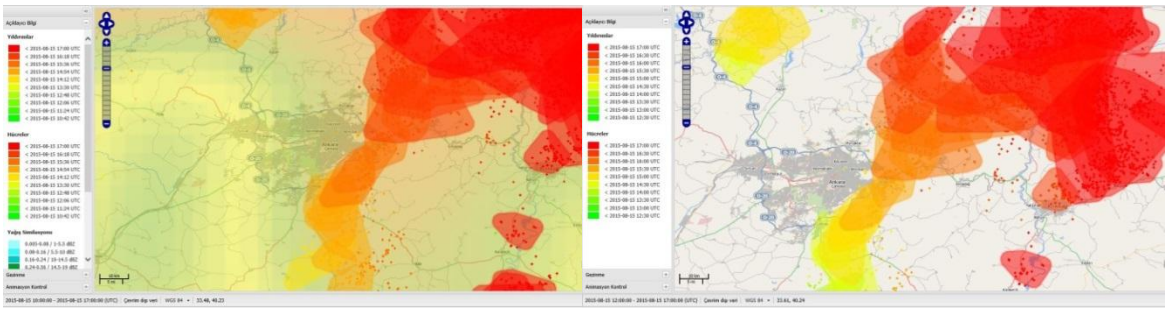
3.YILDIRIM TESPİT SİSTEMİ İLE OLAYIN İZLENMESİ



Şekil-5 YTS ürünleri (14:30-16:30)

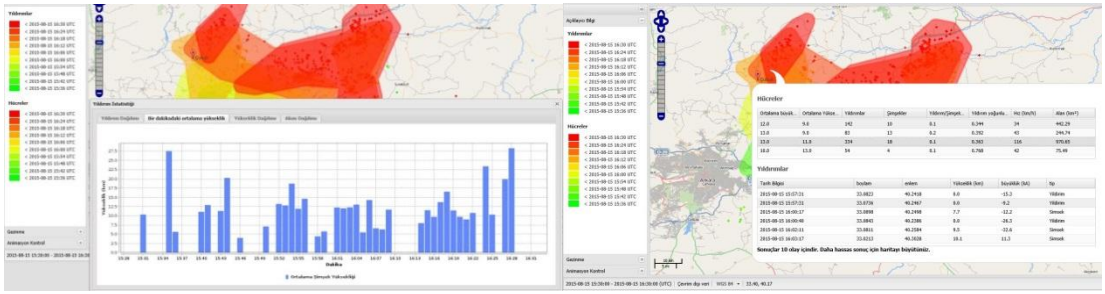
Yıldırım Tespit Sistemi (YTS) ürünlerinin üst üste aynı resimde gösterimi sistemin yoğun olduğu alanları tespiti açısından oldukça önemlidir. Ayrıca ürünlerde hücresel hareket yönlerinin

gösterilmesi de son derece önemlidir. Hücre, alan ve yön olarak sistemin en iyi takibi, 1430-1630 saatleri arasındaki YTS izlenebilmektedir, burada Çubuk merkezinin son nokta ve en yoğun alan olarak görülmesi önemlidir. Radar görüntülerinde de benzer alan ortaya çıkmıştır (Şekil-5)



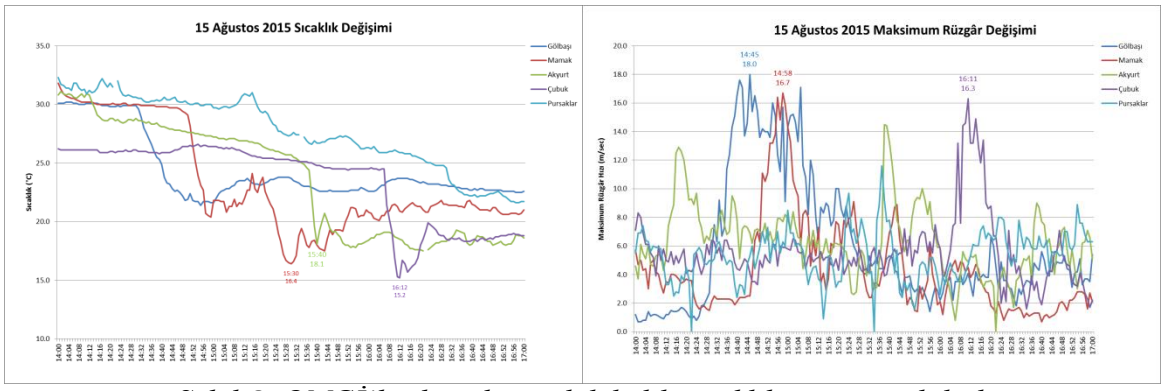
Şekil-6 YTS ürünleri (10:00-17:00 sol, 12:00-17:00 sağ))

5 Saatten fazla YTS ürünleri de kullanıldığında aynı rotanın izlendiği görülmektedir (Şekil-6)



Şekil-7 YTS ürünleri (15:30-16:30 yükseklik ve hız bilgileri)

Çubuk'ta fırtınanın meydana geldiği saat 16:11'de, rüzgar hızı yerde yaklaşık 58km/h (16,3m/sn) Aynı anlarda YTS sisteminde bulut tepesi 27 km, şimşek hızı ise 100 km/h'in üzerinde olduğu değerler görülmektedir (Şekil-7).

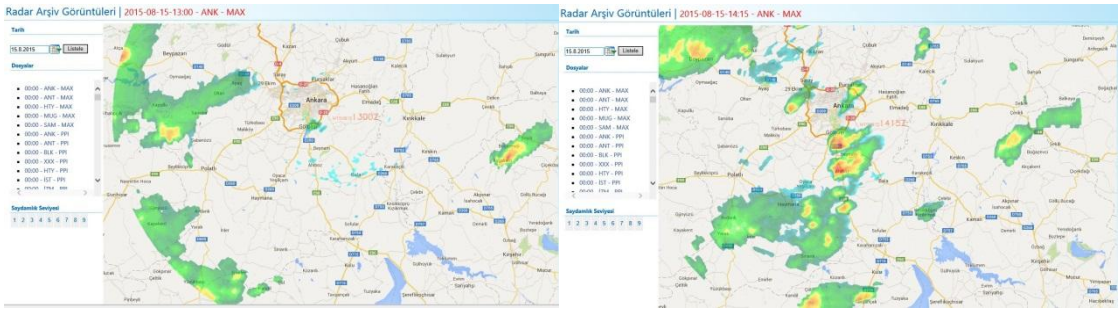


Şekil-8 OMGİ'lerden alınan dakikalık sıcaklık ve rüzgar bilgileri

14:30 civarında Gölbaşı'nda başlayan aktivite kuzey istikametinde 16:11 de Çubuk'ta maksimum değer olarak ölçülmüştür.

4.RADAR GÖRÜNTÜLERİ

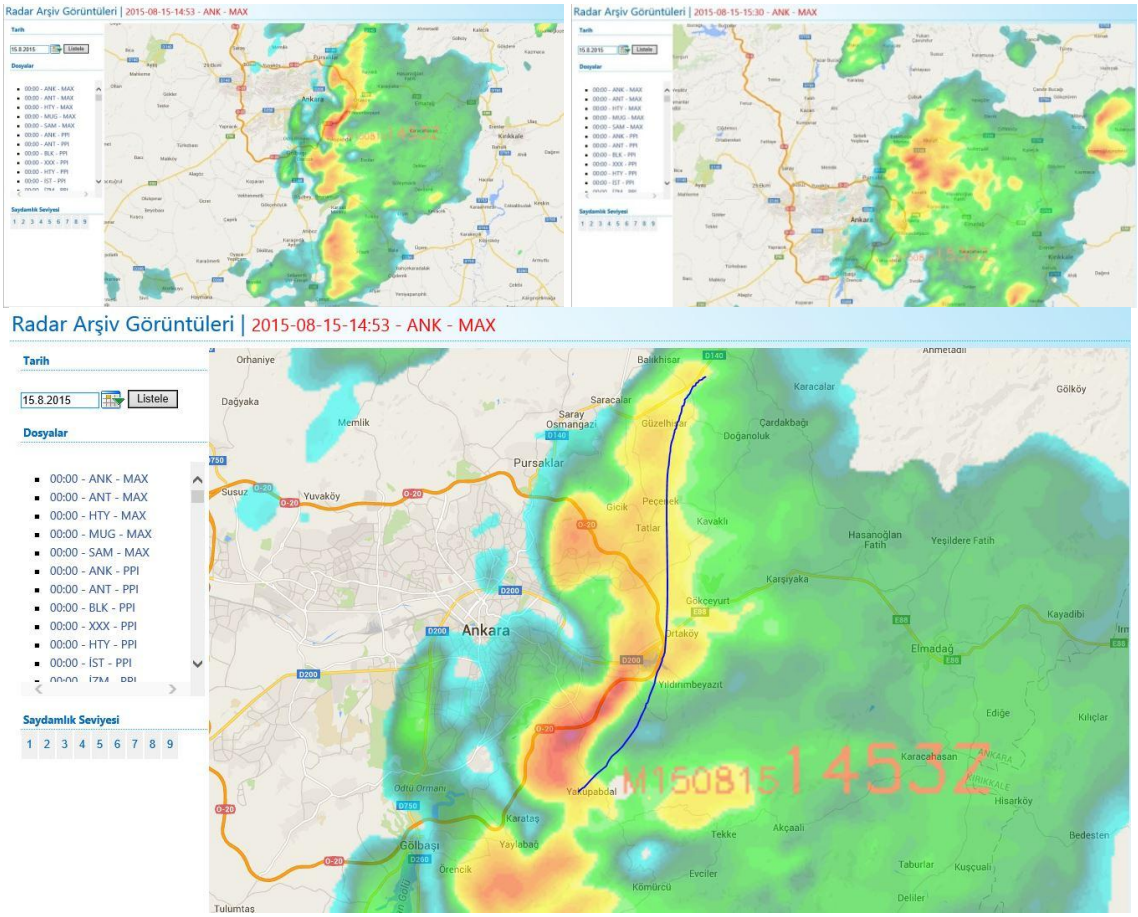
Radar görüntülerinin analizinde de sistemin Gölbaşı'ndan kuzeydoğu istikametine hareket ederek Bayındır, Akyurt, Esenboğa'dan Çubuk 'a ulaştığını görüyoruz. Elbette sistem bir alçak basınç merkezinin hareketine benzemiyor. Konvektif oluşumlar düzenli olmayan şekilde yoğunlaşabilir, ancak genel istikametin seyri radar ürünlerinde de açıkça ortaya çıkmaktadır.





Şekil-9 Radar görüntüleri (13:00, 14:15, ve 14:45 maks)

Radar görüntülerinde saat 14:00 UTC'den itibaren Ahiboz, Gölbaşı civarında konvektif oluşumlar ve Cb bulutları güney –kuzey istikametinde oluşmaya başlamış ve konvektif bir hat oluşturmuştur. Squal hattına benzer bu kuvvetli hat boyunca, özellikle yer seviyesinde çok belirgin sıcaklık ve rüzgar hareketleri gözlenmiştir. 50 dBz varan reflektivite değerleri ile buradaki konvektif faaliyetin etkisinin dar bir alanda olduğunu görülmektedir.. Ancak bu bandın oluşumu ve geçişi sırasında yakın istasyondaki değerler etkilenmiştir.

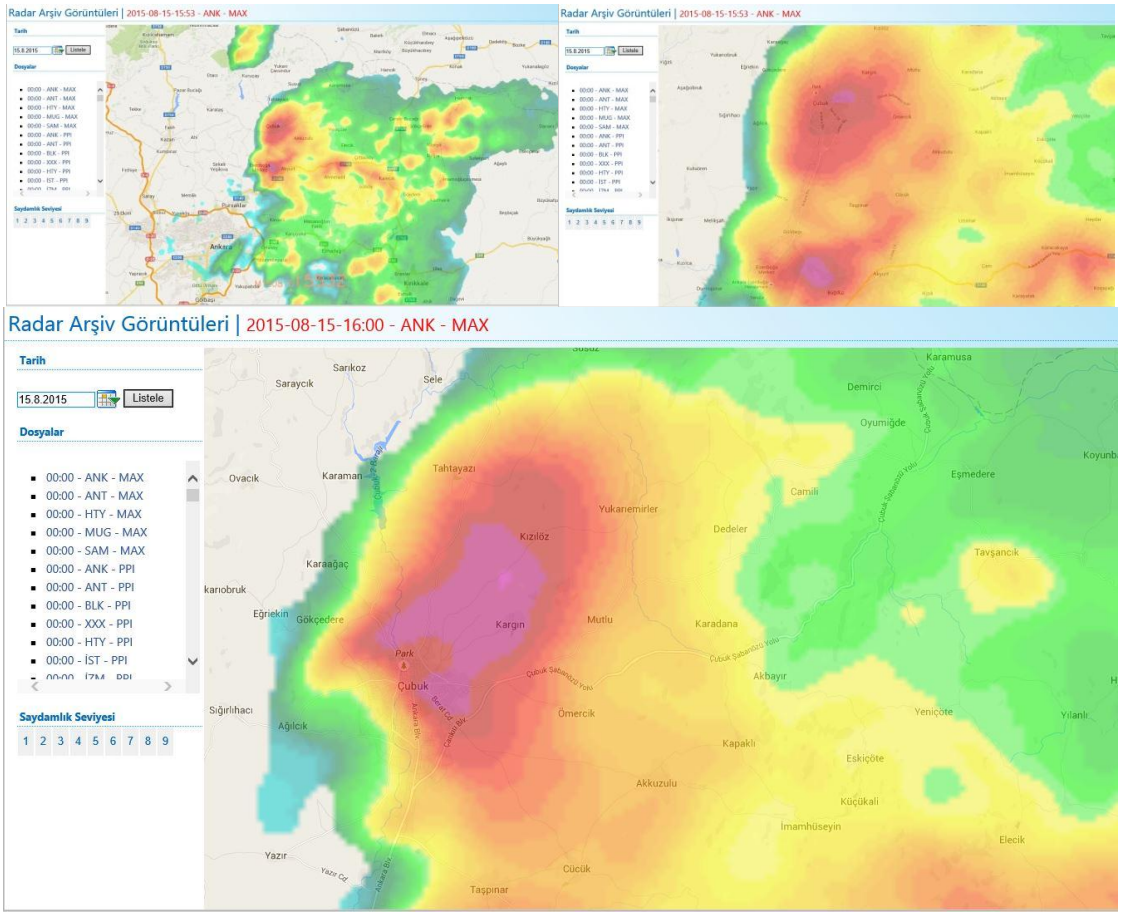


Şekil-10 Radar görüntüleri (13:00, 14:15, ve 14:45 maks)

Güney kuzey istikametinde olan kuvveti radar reflektivitelerin görüldüğü alanlar kuzey yönünde gelişmeye devam etmektedir. 15:30 UTC'den itibaren hareket hızla Ankara'nın kuzeydoğu kesimlerine olmuştur. Burada konvektif faaliyet daha da hız kazanmış ve Çubuk, Esenboğa civarına kümelenmiştir.



Şekil-11 Çubuk'ta 15.08.2015 tarihinde saat16:11 meydana gelen fırtına sonucunda çatılar uçmuş, minare yıkılmıştır.



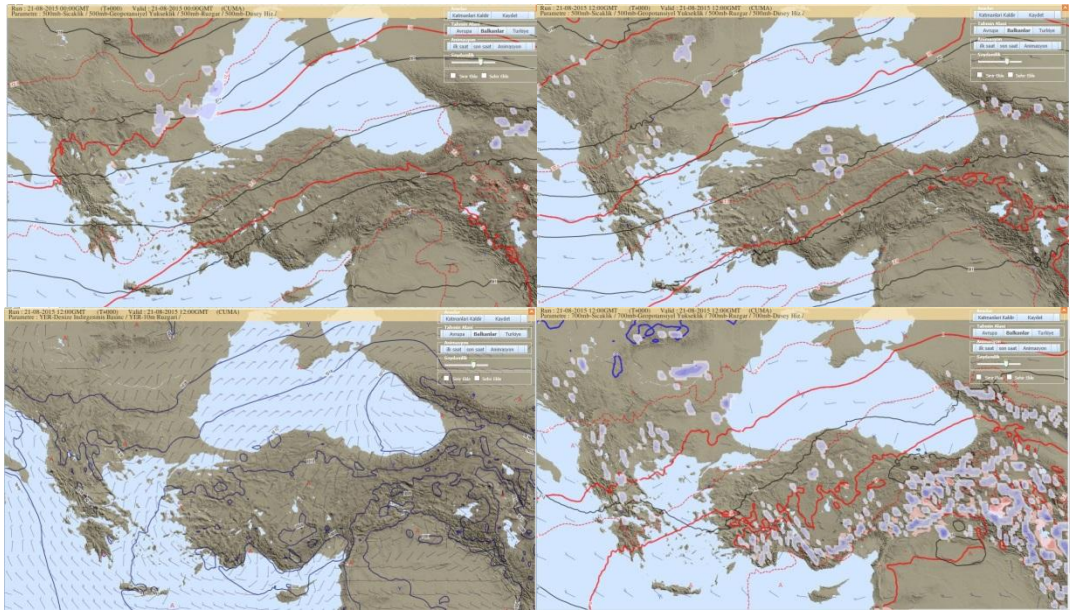
Şekil-12 Radar görüntüleri (14:53, 15:30 ve 16:00 maks)

Çubuk'ta kuvvetli konvektif oluşum ve Cb'nin oluş saati 16:00 UTC civarıdır. Radar reflektivite değeri 65-70 dBz civarında ve maksimum değerlere yakındır.

21 Ağustos 2015 günü ise Çubuk ilçesine benzer şartlar bu kez Ankara'nın batı ilçesinde Etimesgut'tan Söğütözü'ne ulaşan Eskişehir yolu boyunca şiddetli yağış olarak gerçekleşmiş 1 saatte 70,9 mm. yağış düşmüştür. Bu yağış 1 saatte Ankara'ya ait 1997 yılında ölçülen 65.5 mm'den fazla ve ekstrem bir yağıştır.

5. 21 AĞUSTOS 2015 SİNOPTİK ANALİZ

Yer ve yüksek seviye haritalarına göre kararsızlık şartlarını oluşturacak şartlar bulunmaktadır. 500 ve 700 hPa haritalarında batılı akışlar ve serin hava bulunmaktadır. 500 hPa sıcaklığı -8 derece, 850 hPa seviye sıcaklığı ise 22 derece civarındadır. Yer basıncı ise 1010 hPa, en yüksek hava sıcaklığı 33, gece sıcaklık değerleri ise 22 derece civarındadır.

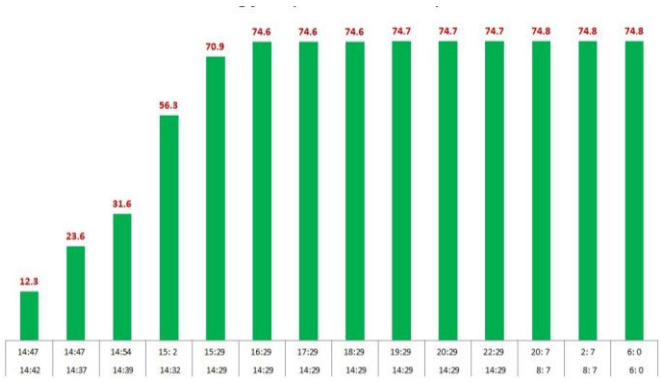


Şekil-13 500 hPa 00,12 (UTC üstte), 700 ve yer basın haritası 12:00 UTC (altta)

Çok kuvvetli kararsızlık şartları yoktur ancak uzun süre devam eden nem toplaması mevcuttur. Özellikle gece sıcaklıkların 20 derecenin altına düşmemesi, gündüzleri ise 30-33 derece arasında devam etmesi yer ve yüksek seviye şartlarının desteklemesiyle konvektif gelişme daha da kuvvetli oldu.

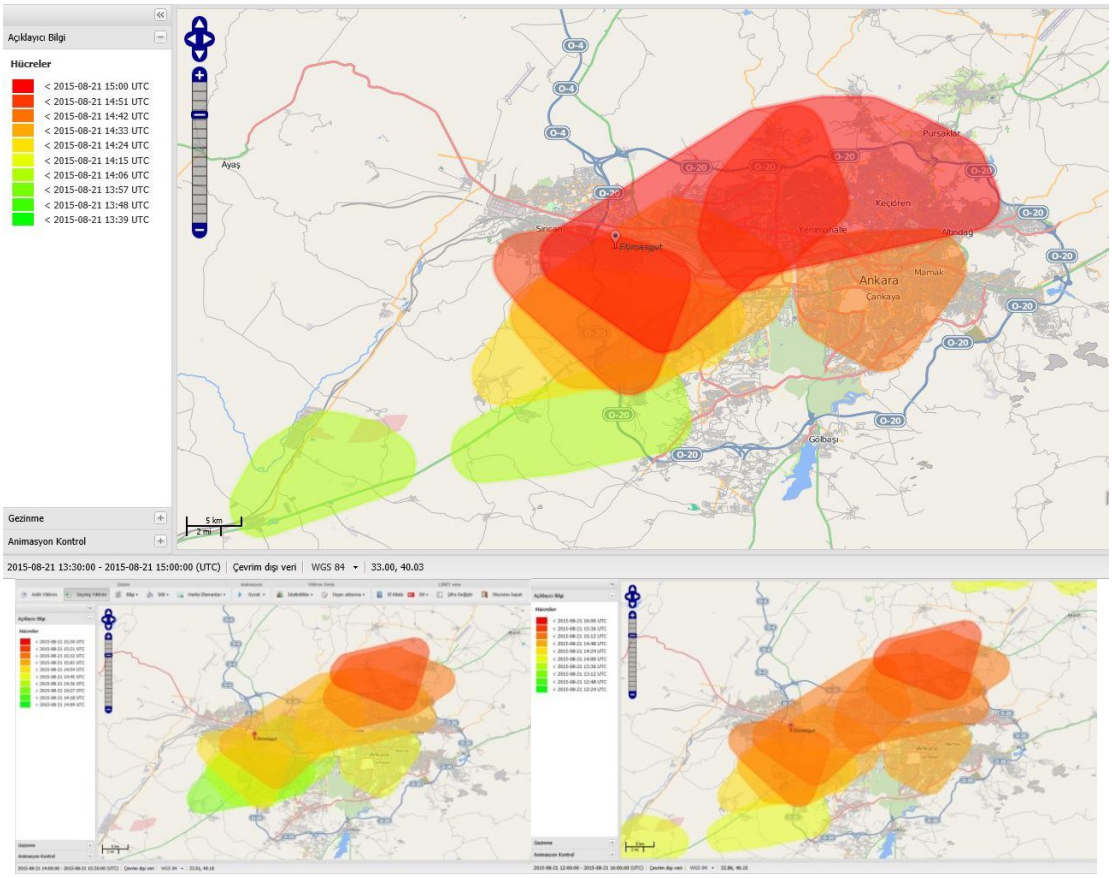
Tablo-1 Ankara (17130) K indeksi değerleri

Ankara (17130) K indeksi değerleri									
18		**19**		**20**		**21 Ağustos 2015**		**22**	
00	12	00	12	00	12	00	12	00	12
32,3	35,4	33,5	39,5	35,4	38,8	**35,7**	**41,5**	35,5	35,4



Şekil-14 Etimesgut'a ait standart sürelerdeki yağış miktarı (mm)

Günlük sıcaklık ve yağış miktarlarına göre 21 Ağustos 2015 günü ölçülen değeler diğer günlere göre oldukça farklı görünmektedir. 24 saatlik toplam yağış miktarı, Etimesgut'ta 75, Güvercinlik'te 34, Ankara Merkez'de 15 ve Esenboğa'da 8 mm olarak ölçüldü. Bu kadar farklı miktardaki yağışların sinoptik ölçekte miktar, yer ve şiddet olarak tanımlanması oldukça zordur. Ancak çok kısa süreli tahminler ve uzaktan algılama ürünleri, başta Radar ve YTS ile belirlenmesi ve takibi mümkün olmaktadır.

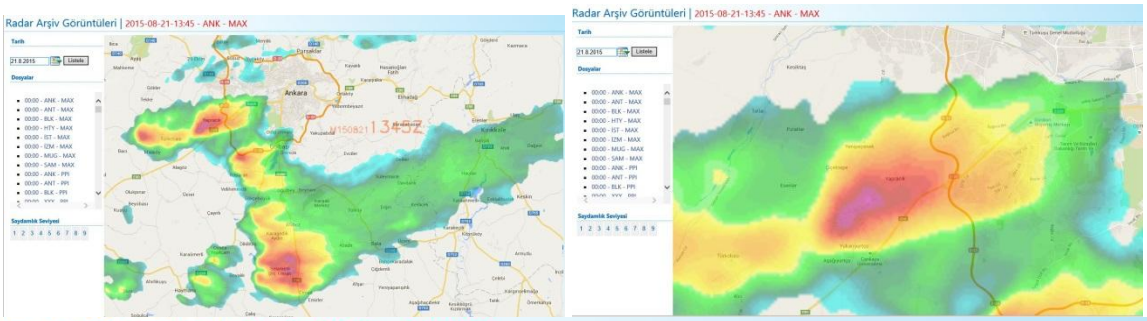


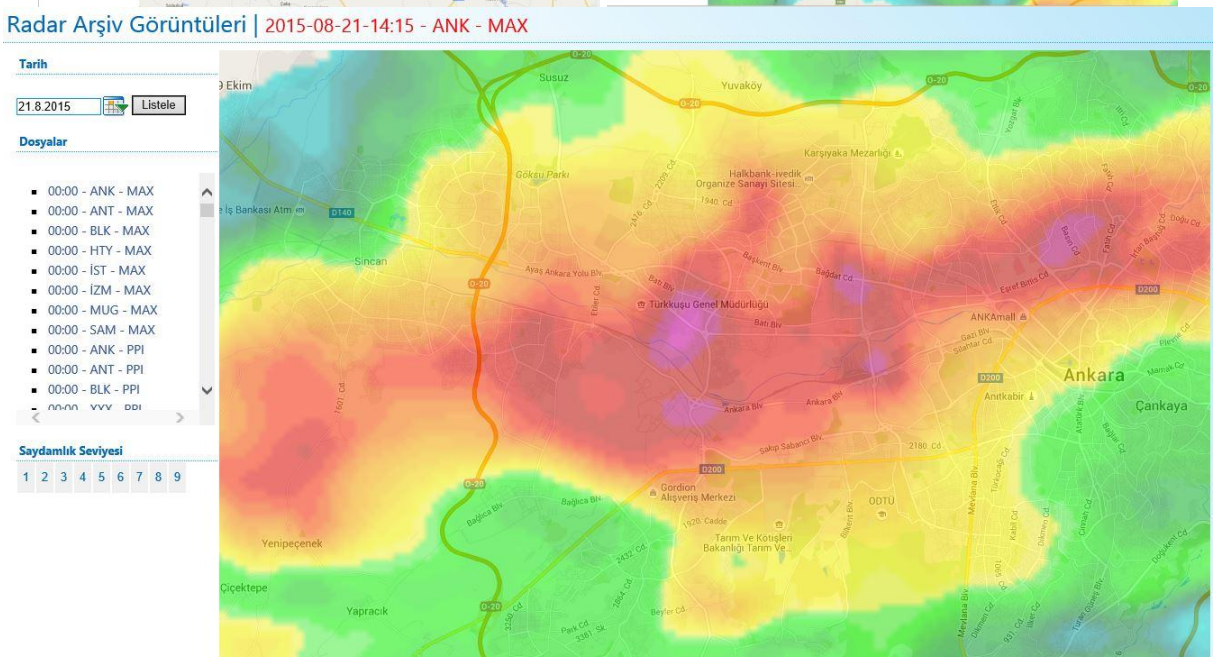
Şekil -15 YTS ürünleri 13:30-15:00 UTC (üst), 14:00-15:30 ve 12:00 16:00 (alt)

Yıldırım Tespit Sistemine göre saatler içindeki hücrelerin birleştirilmesi sonucunda yıldırım ve şimşek aktivitelerinin daha yoğun olduğu alanlar belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Etimesgut civarında etkili olan sistem son saatlerde Ankara'nın kuzeydoğu kesimlerinde etkisini arttırdığı görülmektedir.

21 Ağustos 2015 tarihinde, Ankara Etimesgut ilçesine saat 14:29 ila 15:29 arasında 1 saatlik sürede 70,9 mm yağış düştü, bu yağışın 56,3 mm'si yarım saatlik sürede (14:32-15:02) gerçekleşti. (Şekil-14)

6. 21 AĞUSTOS 2015 RADAR ÜRÜNLERİ

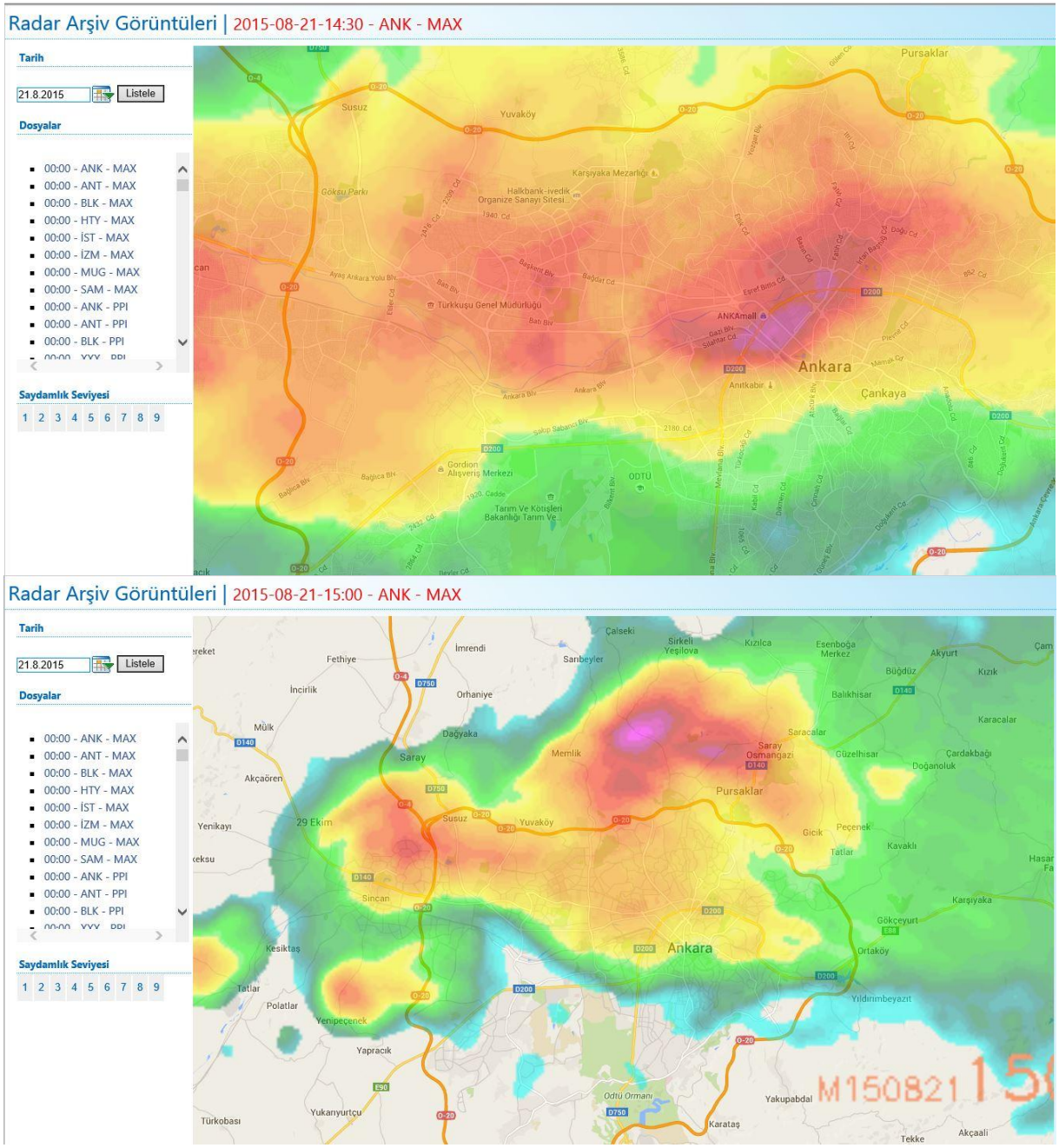




Şekil-16 Radar ürünleri (13.45-14:15)

Saat 13:45 civarında Ankara'nın güneybatı kesimlerinde oluşan kuvvetli konvektif oluşumun maksimum alanı, Söğütözü'nden itibaren Eskişehir yolunun kuzey kesimleri olmuştur. Buradaki radar reflektivite değerleri maksimum seviyededir (65 dBz den büyük).

Radar reflektivite değerlerine göre bu hat üzerinde Etimesgut'a düşen yağış miktarından daha fazla yağışın düştüğü alanlarında olabileceği görülmektedir. Saatli ekstrem yağı Ankara için 71 mm ise bunun planlamalarda 80-100 mm olarak alınması gerekmektedir.



Şekil-17 Radar ürünleri (14:30-15:00)

Saat 14:00 14:30 civarında en yoğun radar ekosunun Ankara'nın batı aksındaki yol hattının kuzeyinde olduğu görülmektedir. Etimesgut'tan Söğütözü'ne kadar uzanan bu hatta çok kuvveti yağışla birlikte dolu yağışı da görüldü. Bu yağış daha sonra YTS sisteminde de görüldüğü gibi kuzeye hareket ederek Pursaklar'ın kuzeyinde etkisini sürdürdü.

Tablo-2 2015 yılına ait bazı ekstrem değerler

2015 yılında Türkiye'de kaydedilen bazı ekstrem olaylar		
Tarih	Yer	Olay
20 Mayıs 2015	İzmir	30 dakikada 57,3 mm yağış.(1995'de 57,4 mm yağış, 61 kişi öldü)
25 Mayıs 2015	Ankara	Ekstrem büyüklükte dolu yağışı
21 Ağustos 2015	**Ankara (Etimesgut)**	**1 saatte 70,9 mm ekstrem yağış ölçüldü**
24 Ağustos 2015	Hopa	4 saaatten 18 saate ekstrem yağış ölçüldü (178,9-260,6mm)
2015 yılı Ağustos ayı	Osmaniye	Ekstrem sıcaklık 1,2 farkla 43,2 ölçüldü.
2015 yılı Eylül ayı	Tekirdağ	Ekstrem sıcaklık 5,2 farkla 39,7 °C ölçüldü.

7. SONUÇLAR

Son yıllarda ekstrem meteorolojik değerlerde sıklıkla artışlar gözlenmektedir. Özellikle sıcaklık ve nem oranlarının yüksek olduğu geçiş dönemlerinde, yağmur, dolu fırtına ve hortumlar çok sık olarak kaydedilmektedir. Daha önceki yıllarda hemen hemen hiç görülmeyen sıcaklıklarda kuvvetli yağışlara rastlanmaktadır.

İngiltere Milli Meteoroloji Ofisi'nin yaptığı araştırmaya göre, küresel anlamdaki karbondioksit artışlarıyla sıcaklık değerlerinin artışı arasında doğrusal bir ilişki olduğu açıklamıştır. 2015 yılı şimdiye kadar en şiddetli el nino etkisinin görüleceği yıl olarak tahmin edilmektedir. Türkiye'de bu küresel hızlı ve etkili değişimlerden doğal olarak etkilenmektedir. 2010 yılı başta olmak üzere sıcak yılların çoğu son 10 yıl içerisinde yer almaktadır.

Başta büyük şehirler olmak üzere insanların yaşadığı tüm alanlardaki planlamalar, projeler ve yapılar, ekstrem değerler göz önüne alınarak yapılmalıdır. Şehirlerin riskli alanları uzaktan algılama çalışmalarıyla belirlenmelidir. Örneğin Ankara için Gölbaşı-Çubuk ve Etimesgut-Söğütözü alanları incelenmelidir. Yağışı doğrudan etkileyen sıcaklık değişimi bu alanlardaki rüzgar akışı ve yükseltiler dahil edilerek alansal olarak değerlendirilmelidir.

17-22 Ekim 2015 tarihleri arasında Ulusal Hava Derneği (NWA) tarfından ABD'de yapılan 40ncı yıllık toplantı ile ilgili eğitim sunumunda Dr. Uccellini gelecekteki en önemli önceliklerin;

“Hava iklim ve su konularında, bilimsel anlamda zirveye çıkmada, uydu ve sayısal hava tahminindeki ilerlemeler ile tahmin ve uyarı tekniklerindeki ilerlemeler” e dikkat çekmiştir.

KAYNAKLAR

[1] www. meteor.gov.tr

[2] http://blog.metoffice.gov.uk/2015/09/29/large-changes-in-tropical-rainfall-expected-due-to-greenhouse-gas-emissions/

[3] https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/october-2015-el-ni%C3%B1o-update-pumpkin-spice

[4] http://www.climatecentral.org/news/climate-change-intensified-floods-19524?utm_content=buffer28675&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer

Gökçeada Selinin Uydu Ve Radar Görüntüleri Eşliğinde Sinoptik Açıdan İncelenmesi

Salman GAYRETLİ
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Ankara
sgayretli@mgm.gov.tr

Fevzi Burak Tekin
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Ankara
fevziburak.tekin@gmail.com

ÖZET

Gökçeada 1 Mayıs 2014 günü gece saatlerine doğru başlayan yağışın kısa sürede bıraktığı 144 kg.'lık yağışla bir sel felaketi yaşadı. Yaşanan sel felaketine sebep olan bulut kütlesi yada diğer bir deyişle fırtına hücresi; asıl büyük kütlenin geçişinden sonra meydana gelmiştir. Bu tip oluşumlar nadir de olsa ülkemizin özellikle Ege ve Akdeniz kıyı kesiminde, körfez alanlarında oluşabilmektedir. Üst seviye rüzgarlarının aynı yöne akış gösterdiği, ama asıl kütlenin arkasındaki rüzgarların ters yönde estiği durumlarda topoğrafyanın da uygun olduğu durumlarda oldukça yoğun yağışlara ve sonuçta sel ve su baskınlarına sebep olan fırtına hücreleri oluşmaktatır. Bu hücreler meteoroloji literatüründe backbuilding thunderstorm olarak adlandırılmaktadır. Bu sunumumuzda Gökçeada'da meydana gelen ve sele neden olan backbuilding thunderstorm olayını radar ve uydu görüntüleri eşliğinde meteorolojik açıdan irdeleyeceğiz.

Anahtar Kelimeler — backbuilding thunderstorm, radar, uydu, sel.

1. GİRİŞ

Günümüzde teknoloji baş döndüren hızla gelişmektedir. Birçok alanda farklı buluşlar, teknolojiler hayatımıza yön vermektedir. Bu teknolojiler kapsamında da uydu ve radar teknolojileri önemli yer tutmaktadır. Farklı alanlarda, farklı amaçlarla kullanılan radar ve uydu teknolojileri meteoroloji alanında büyük bir açığı doldurmaktadır. Hava kütlelerinin gelişimi, izlenimi açısından tahmincilere büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu teknolojiler vasıtasıyla daha önceleri tespit edilemeyen hava olayları tespit edilebilmektedir.

Ülkemizde bu gelişmelere yabancı kalmamış, meteoroloji radar ağını geliştirmekte ve genişletmektedir. İlk meteoroloji radarı Ankara'da (Elmadağ) hizmete girmiştir. Daha sonra sırasıyla İstanbul, Zonguldak, Balıkesir, İzmir, Muğla, Antalya, Hatay, Samsun, Trabzon radarları kurulmuştur. 2013 yılında İstanbul Atatürk Havalimanı'na X-Band radarın kurulmasıyla Meteoroloji Genel Müdürlüğü bünyesinde operasyonel meteoroloji radar sayısı 11 olmuştur. Bunun yanında Bursa, Afyonkarahisar ve Karaman radarları kurularak işletmeye alınmış; Gaziantep, Şanlıurfa, Sivas ve Erzurum radarları ise kurularak önümüzdeki aylarda işletmeye alınacaktır.

Ayrıca, 2013 yılında İstanbul Boğazı'nın Karadeniz çıkışına kurulan 2 adet Deniz Radarıyla, denizcilik sektörüne yönelik hizmetlerin daha kapsamlı şekilde verilmesi amaçlanmıştır.

Kuvvetli meteorolojik olayların önceden tahmin edilebilmesiyle can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi önem arz etmektedir. Uyarıların erken hazırlanıp, kısa sürede ilgili yerlere ulaştırılması gerekmektedir. Uyarılar 1 ya da 2 gün önceden hazırlanabildiği gibi; "Nowcasting" dediğimiz kısa süreli uyarılar da birkaç saat önceden hazırlanmaktadır. Kısa süreli uyarıların hazırlanmasında radar ve uydu teknolojilerinin önemi büyüktür.

Meteoroloji radar ve uydu teknolojilerinin gelişmesiyle literatüre birçok kavramda girmiştir. Bu çalışmada backbuilding-thundermstorm ya da backward-propagating olarak adlandırılan durumun Gökçeada'da neden olduğu kuvvetli yağış anlatılacaktır.

1 Mayıs 2014 tarihinde gece saatlerine doğru başlayan sağanak ve gök gürültülü sağanak yağış Gökçeada'da sel felaketine yol açtı. Can kaybının olmaması sevindiriciydi. Fakat birçok ev ve iş yerleri sular altında kalırken, birçok vatandaş selde mahsur kadı. Bunun yanında büyük ve küçükbaş birçok hayvan telef oldu.

Fırtına hücresi Gökçeada'ya 144.4 kilogram yağış bıraktı. Uzun yıllar yağış miktarına bakıldığında (1970'den günümüze kadar yapılan ölçümler) 13.11.1994 tarihinde Gökçeada'ya

metrekareye 140.6 kilogram yağış düştüğü bilinmektedir. 1 Mayıs 2014 tarihinde olan yağışın ise; uzun yıllar değerinden fazla olduğu görülmektedir.

2. GÖKÇEADA'DA MEYDANA GELEN SELİN SİNOPTİK AÇIDAN İNCELENMESİ

Gökçeada'da meydana gelen sel görüntüleri şekil 1'de, yağış miktarları ise şekil 2'de gösterilmiştir. Can kaybı olmamış ancak büyük maddi hasar meydana gelmiştir.



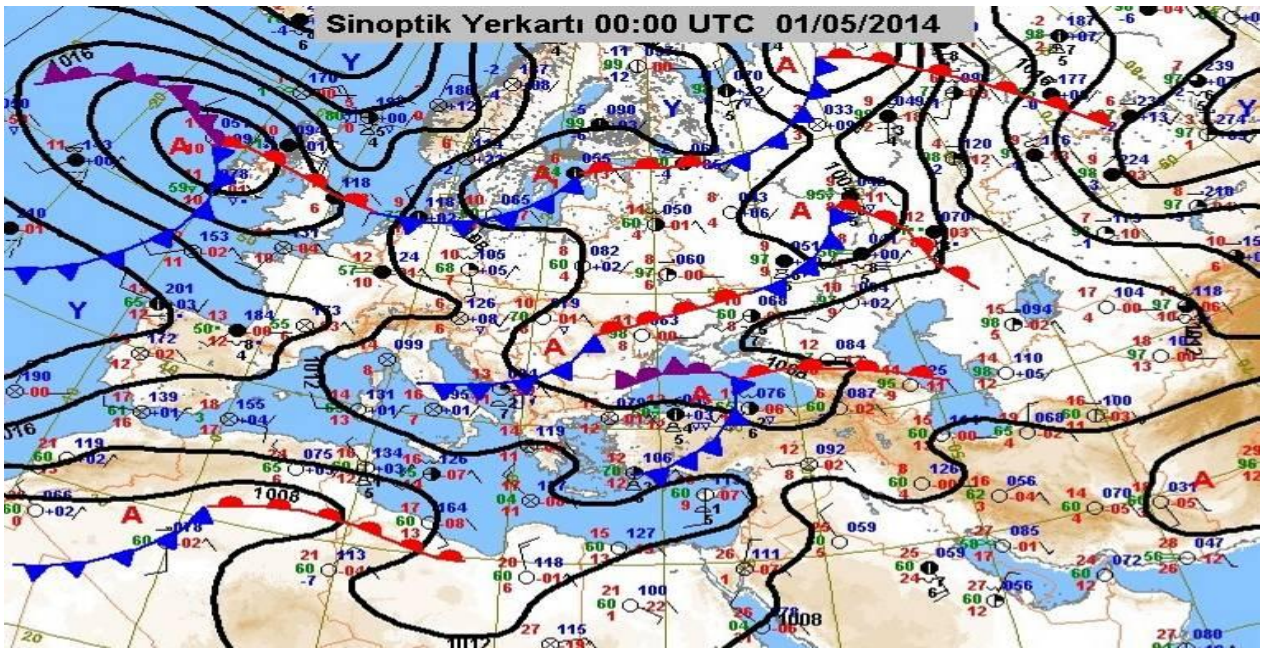
Şekil 1: *Gökçeada Seline ait görüntüler*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Istasyon	Tarih	Zaman	Hava Sicakligi (ºC)	Yagis Miktari	Ort. Ruzgar Yonu	Ort. Ruzgar Hizi (m/sec	)				
2	17110	02.05.2014	01:30	10,1	0	263,4	0,1					
3	17110	02.05.2014	01:20	9,7	0	341,9	0					
4	17110	02.05.2014	01:10	9,9	0	135,1	3,1					
5	17110	02.05.2014	01:00	9,4	0,2	151,3	2,7					
6	17110	02.05.2014	00:50	9,7	0,8	171,8	3					
7	17110	02.05.2014	00:40	9,9	3,2	181	3,5					
8	17110	02.05.2014	00:30	10,1	3,4	127,8	5,1					
9	17110	02.05.2014	00:20	9,9	16	156,7	5,7		126,6	kg. 23:00-00:20 arası		
10	17110	02.05.2014	00:10	9,2	6	149,5	4,1					
11	17110	02.05.2014	00:00	9,4	13	125,4	6,9					
12	17110	01.05.2014	23:50	10	15,8	98,3	6,5					
13	17110	01.05.2014	23:40	12,2	16	13	3,6					
14	17110	01.05.2014	23:30	12,4	16,8	162,7	5,6					
15	17110	01.05.2014	23:20	13,2	7	166,4	3,6					
16	17110	01.05.2014	23:10	13,2	15	102,6	4,2					
17	17110	01.05.2014	23:00	12,6	14,4	55,3	4					
18	17110	01.05.2014	22:50	13,5	1,4	68,4	1,8					
19	17110	01.05.2014	22:40	13,8	0	99,8	0,9					
20	17110	01.05.2014	22:30	14,2	0	36,5	0,2					
21	17110	01.05.2014	22:20	13,6	0	103,1	0,3					
22	17110	01.05.2014	22:10	13,6	0,2	20,7	1,1					
23	17110	01.05.2014	22:00	14	8,2	27,4	2,7					
24	17110	01.05.2014	21:50	14,9	0,2	67,5	0,1					
25	17110	01.05.2014	21:40	15	2	63,4	0,7					
26	17110	01.05.2014	21:30	15,2	2,2	155,5	0,1					
27	17110	01.05.2014	21:20	15,3	1,8	139,1	0					
28	17110	01.05.2014	21:10	15,5	0,8	152,3	1,1					
29	17110	01.05.2014	21:00	15,1	0	136,5	1					
30	17110	01.05.2014	20:50	14,6	0	145,5	0,7					
31	17110	01.05.2014	20:40	14,7	0	141,4	2,7					
32	17110	01.05.2014	20:30	14,8	0	162,6	4					
33	17110	01.05.2014	20:20	15,7	0	176,2	5,5					
34	17110	01.05.2014	20:10	16,1	0	165,9	3,7					
35	17110	01.05.2014	20:00	16,1	0	162,7	3,4					
36					144,4	kg. 21:10-01:00 arası						

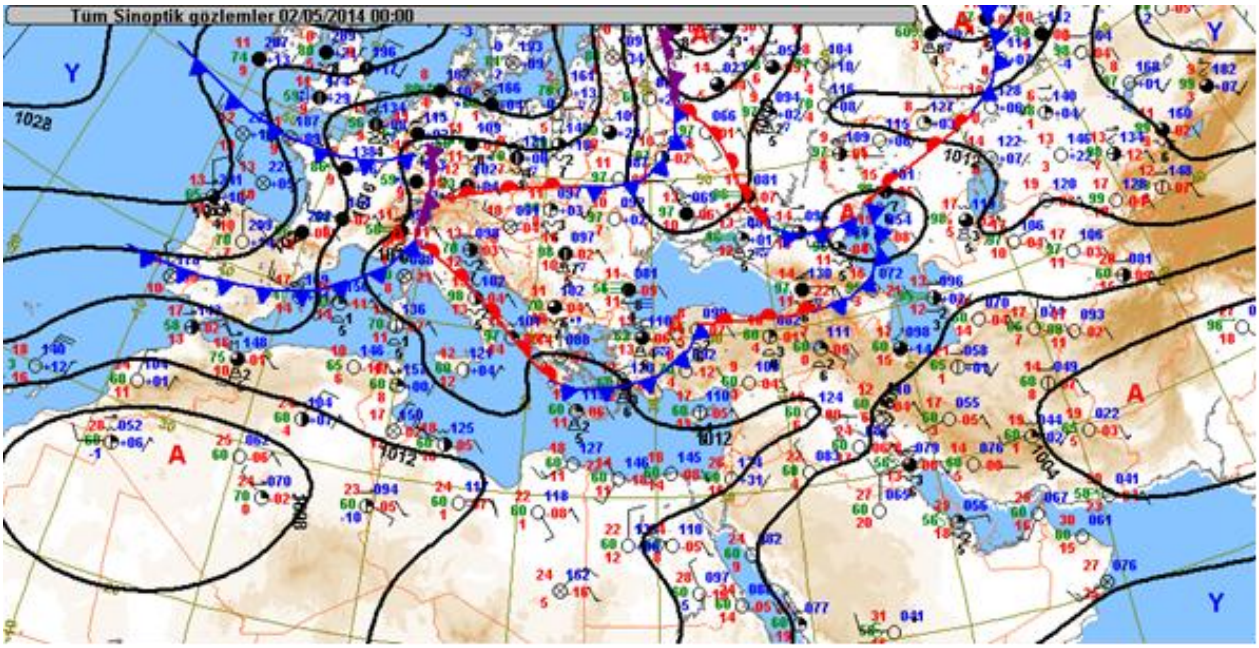
Şekil 2: Gökçeada'da meydana gelen yağışın 10'ar dakikalık gösterim cetveli

2.1 Sinoptik Haritaların İncelenmesi

2.1.1 Yer Kartları



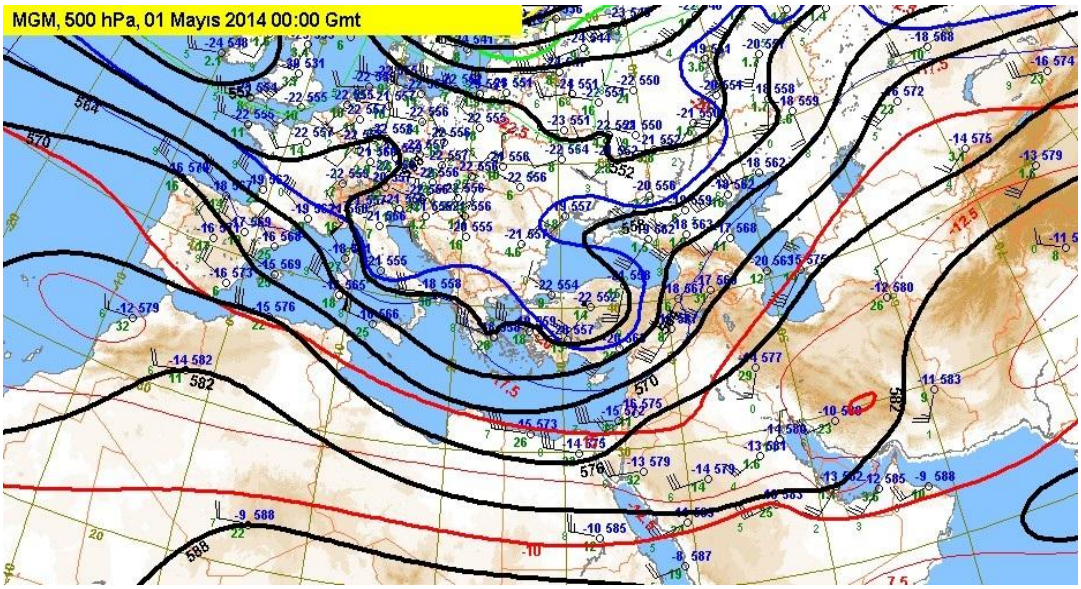
Şekil 3: 1 Mayıs 00 UTC'ye ait yer kartı



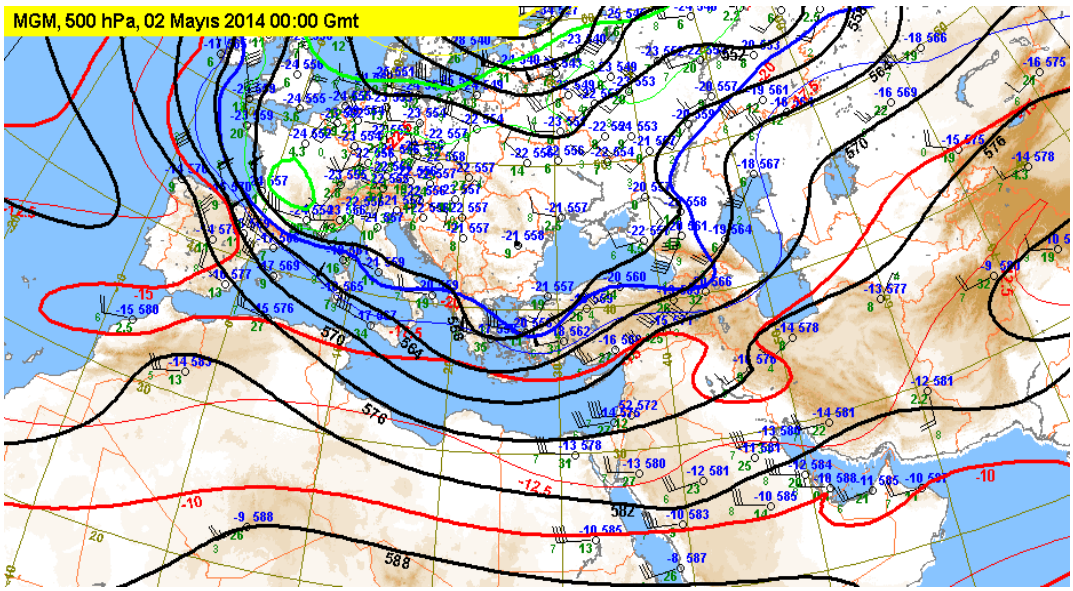
Şekil 4: 2 Mayıs 00 UTC'ye ait yer kartı

1 Mayıs ve 2 Mayıs 00 UTC yer kartlarını incelediğimizde şekil 3'teki 1 Mayıs yer kartında 1008 mb.'lık izobar değeri kuzeybatı kesimlerde bulunurken şekil 4'teki 2 Mayıs haritasında izobar değerinin aynı bölge için 1010 mb. civarına yükseldiğini yani sistemin nispeten zayıfladığını görüyoruz. Ancak dikkat çeken bir nokta; soğuk cephenin bir önceki güne göre; yeni oluşan soğuk cephenin Çanakkale'ye daha yakın bir mesafede olduğunu görüyoruz. Yer kartlarının bize çok fazla ipucu vermediğini görüyoruz.

2.1.2 500 mb. Kartları



Şekil 5: 1 Mayıs 00 UTC'ye ait 500 mb. kartı



Şekil 6: 2 Mayıs 00 UTC'ye ait 500 mb. kartı

500 mb. kartlarını karşılaştırdığımızda bir önceki gün negatif yönlü trofun, bir gün sonrasında pozitif yönlü olduğunu görüyoruz. Dikkat edilirse Orta Avrupa'da kuzeyden inen bir soğuk havanın varlığı göze çarpıyor. Ayrıca Çanakkale üzerinde bir önceki gün kuzeybatılı olan rüzgar akışlarının bir sonraki gün olan 2 Mayıs'ta batıya döndüğünü yani sistemin kuzeyden gelen soğuk hava ile kendini tazelediğini söyleyebiliriz.

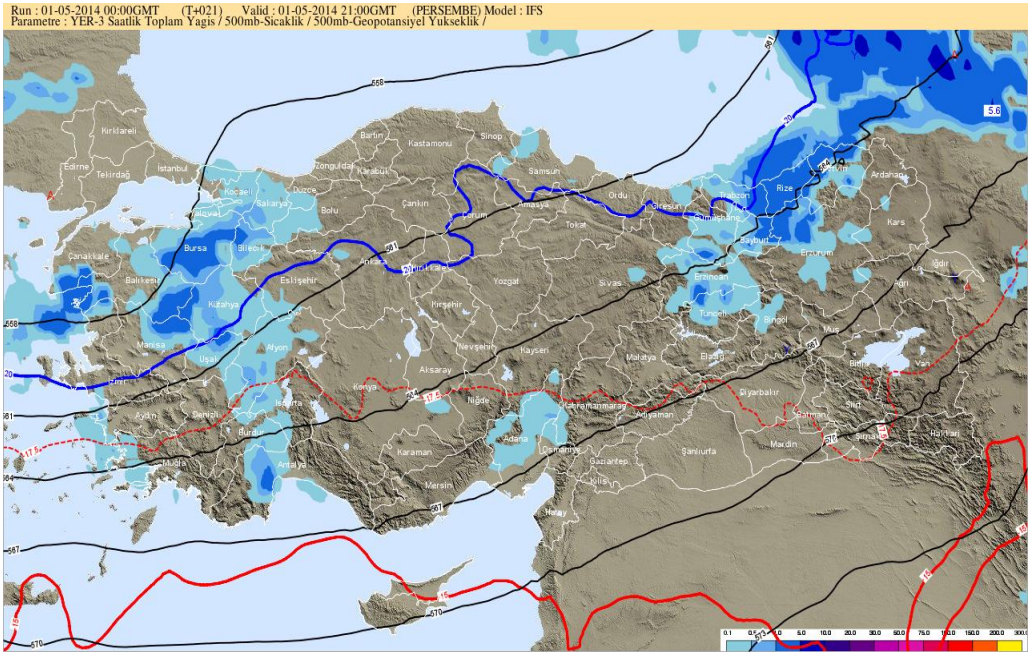
Ancak bütün bunlar; kısa sürede oluşan kuvvetli yağış ve sonucunda meydana gelen sel olayının aydınlatılmasında yeterli deliller sunmamaktadır. Evet, konvektif gelişmeye uygun şartlar var ancak yağış toplamlarına baktığımızda, o bölgeye yakın yerlerde ölçülen yağış miktarlarının Gökçeada'daki miktarlarla kıyaslanamayacak kadar az olduğunu görüyoruz. Aşağıda şekil 7 'de verilen yağış toplamlarında Gökçeada'da meydana gelen yağış, sisteme girmediği için maalesef gösterilememiştir. Ancak şekil 2'de 10'ar dakikalık yağışlar verilmiş olup toplamda 144.4 kg. yağış ölçülmüştür.



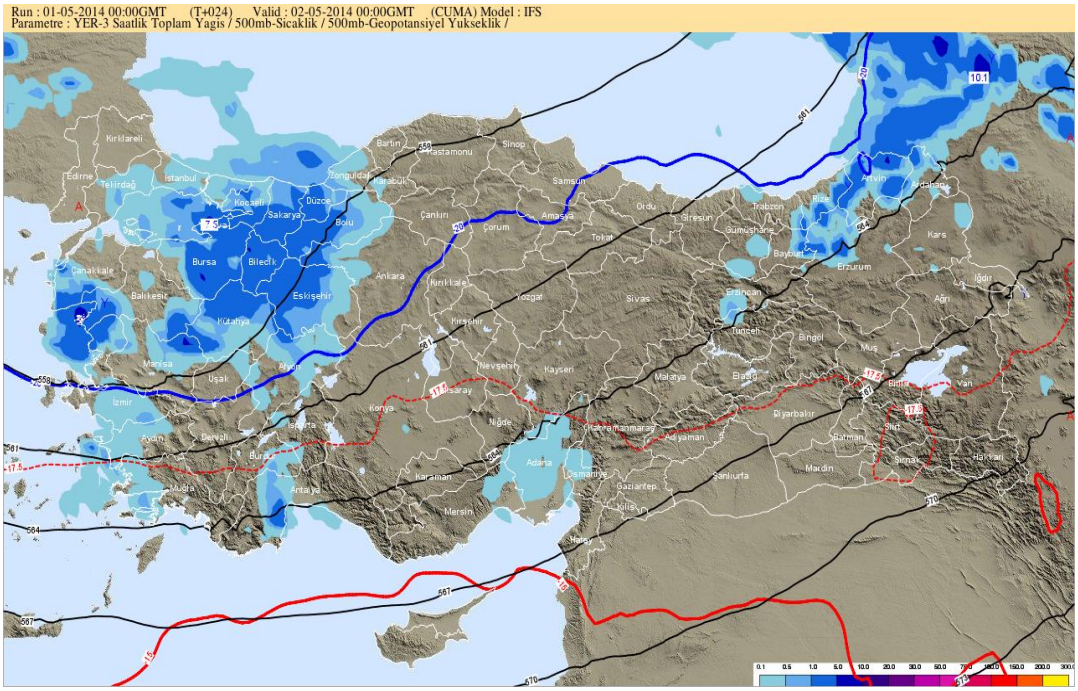
Şekil 7: 1 Mayıs 06:00 UTC ile 2 Mayıs 06:00 UTC'ye kadar olan toplam yağış miktarları

2.1.3 Model Çıktıları

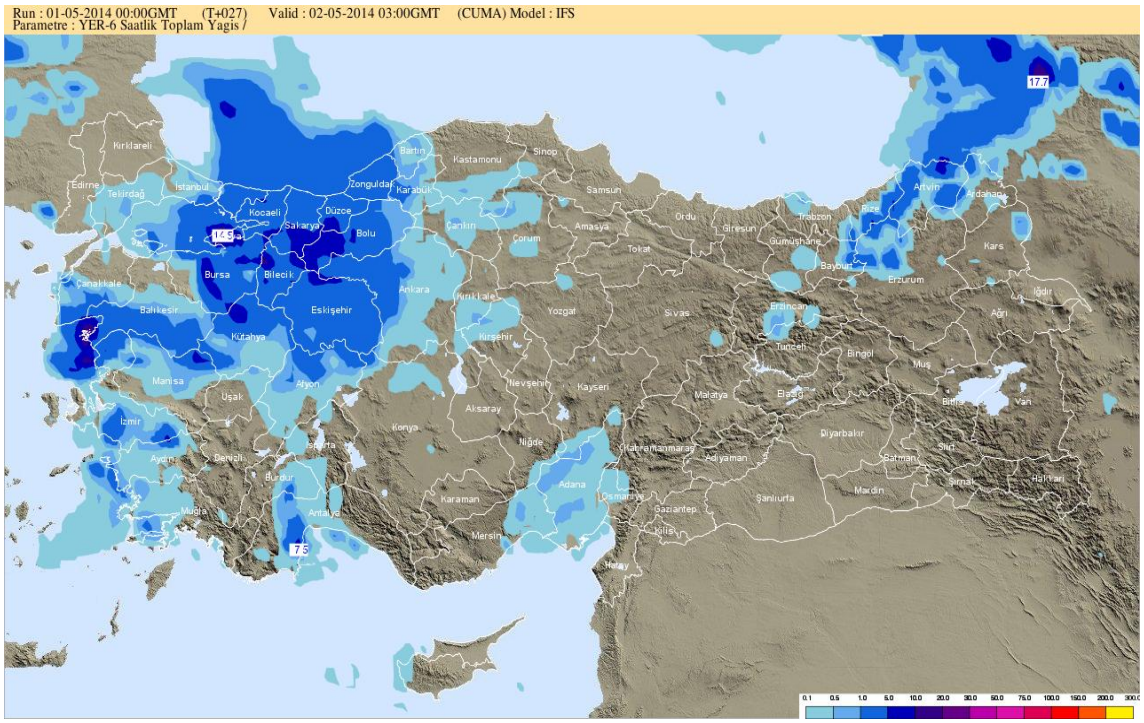
Meydana gelen sel; sinoptik ölçekte incelendiğinde yer ve 500 mb. kartlarının yeterince aydınlatıcı olmadığını görüyoruz. Model çıktılarında da o bölge için kuvvetli bir yağış beklentisinin olmadığı görülmektedir. Ecmwf modelinin yağış ve 500 mb. kartı üstüste bindirilmiş çıktısında Edremit Körfezi için 6 saatlik yağış topamında yaklaşık 20-25 kg. yağış öngörülmüştür. Ancak tecrübelerimize dayanarak söyleyebilirim ki beklenen yağış; denizden gelen nemli havanın körfezde yığılması sonucu oluşan yağış beklentisidir. Lokasyon tahmini yanlış diye düşünmemek gerek. Çünkü şartları düşündüğümüzde beklenti yanlış değildir ancak Gökçeada'da gerçekleşen yağışı izah etmekten uzaktır.



Şekil 8: 1 Mayıs 2015 18:00-21:00 UTC arası toplam yağış miktarları

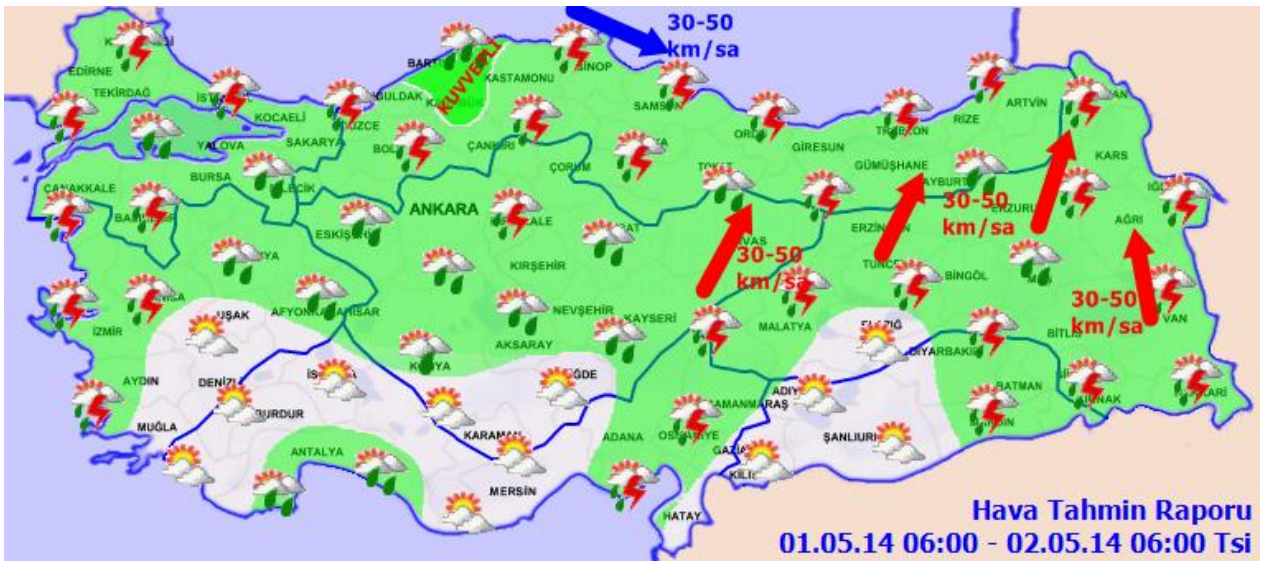


Şekil 9: 1 Mayıs 2015 21:00 ile 02 Mayıs 2015 00:00 UTC arası toplam yağış miktarları



Şekil 10: 2 Mayıs 2015 00:00-03:00 UTC arası toplam yağış miktarları

Sinoptik ölçekte yağışı tam olarak izah edemediğimize göre lokal şartları değerlendirmek gerekir. Yapılan günlük tahminde de o bölge için kuvvetli yağış uyarısı verilmemiş, orta kuvvette sağanak ve gök gürültülü sağanak yağışlar beklenmiştir. Şekil 11'de tahmin haritası gösterilmiştir.



Şekil 11: 1 Mayıs 2015 06:00-2 Mayıs 2015 06:00 TSİ arası hava tahmin raporu

İstasyonda ölçülen başta rüzgar olmak üzere meteorolojik parametreleri, uydu ve radar görüntülerini incelemek Gökçeada selinin meydana gelişine ışık tutacaktır.

2.2 İstasyon Ölçümleri, Radar ve Uydu Görüntülerinin Değerlendirilmesi

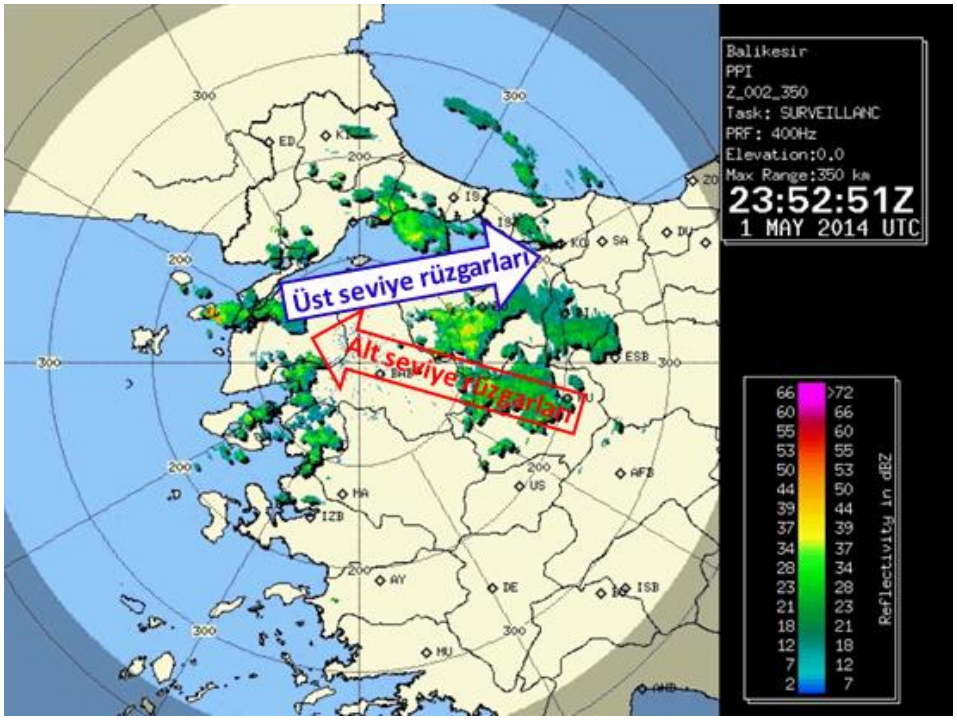
Şekil 12'de Gökçeada'da ölçülen meteorolojik parametrelerin 10'ar dakikalık gösterimleri verilmiştir. Sıcaklıklara baktığımızda yağış başlamadan önce 15 ˚C civarında olan sıcaklığın yağışın bitişi ile birlikte 9 ˚C'ler civarına düştüğünü görmekteyiz. Ancak burada en çok dikkat çeken nokta rüzgar yönleri olmuştur. Rüzgarın; sistemin hareket yönünde değil zıt yönde estiği göze çarpmaktadır. Bilindiği gibi trof önünde, soğuk cephe öncesi güney-güneydoğu yönlü akışlar; soğuk cephe geçişi sırasında batıya, geçişinden sonra da kuzeybatı- kuzey yönlerine doğru dönüş gösterir. Ancak Gökçeada İstasyon ölçümlerinde soğuk cephe ve cepheye bağlı olarak oluşan yağışlı kütle geçtikten sonra rüzgarın kuzeye dönmediği, güney ve batı yönlü akışların devam ettiği görülmektedir. Bu da bize Gökçeada'da meydana gelen yağışın; asıl kütleler geçtikten sonra, arka tarafında oluşan ve backbuilding-thundermstorm ya da backward-propagating olarak adlandırılan bir oraj hücresi tarafından oluşturulduğu anlaşılmaktadır.

Bu tip yapılar genel olarak uzaktan algılama aletlerinin yani uydu ve radar görüntülerinin incelenmesi ile ortaya çıkmaktadır.

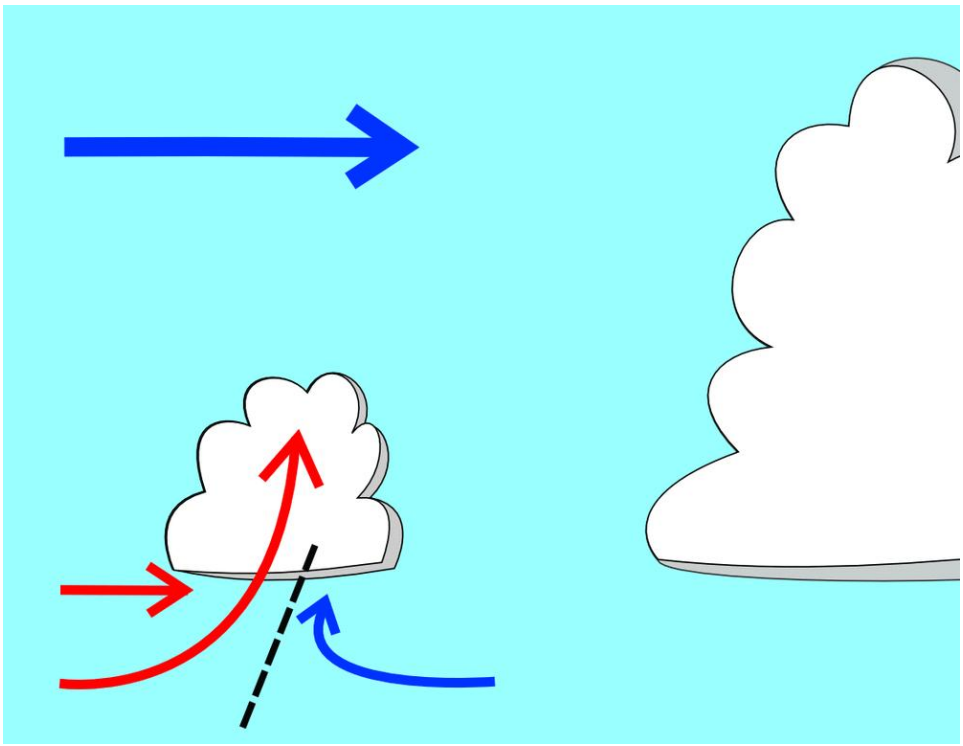
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
ron	Tarih	Zaman	Hava Sicakligi (ºC)	Yagis Miktari	Ort. Ruzgar Yonu	Ort. Ruzgar Hizi (m/sec	)			
17110	02.05.2014	01:30	10,1	0	263,4	0,1				
17110	02.05.2014	01:20	9,7	0	341,9	0				
17110	02.05.2014	01:10	9,9	0	135,1	3,1				
17110	02.05.2014	01:00	9,4	0,2	151,3	2,7				
17110	02.05.2014	00:50	9,7	0,8	171,8	3				
17110	02.05.2014	00:40	9,9	3,2	181	3,5				
17110	02.05.2014	00:30	10,1	3,4	127,8	5,1				
17110	02.05.2014	00:20	9,9	16	156,7	5,7		126,6	kg. 23:00-00:20 aras	
17110	02.05.2014	00:10	9,2	6	149,5	4,1				
17110	02.05.2014	00:00	9,4	13	125,4	6,9				
17110	01.05.2014	23:50	10	15,8	98,3	6,5				
17110	01.05.2014	23:40	12,2	16	13	3,6				
17110	01.05.2014	23:30	12,4	16,8	162,7	5,6				
17110	01.05.2014	23:20	13,2	7	166,4	3,6				
17110	01.05.2014	23:10	13,2	15	102,6	4,2				
17110	01.05.2014	23:00	12,6	14,4	55,3	4				
17110	01.05.2014	22:50	13,5	1,4	68,4	1,8				
17110	01.05.2014	22:40	13,8	0	99,8	0,9				
17110	01.05.2014	22:30	14,2	0	36,5	0,2				
17110	01.05.2014	22:20	13,6	0	103,1	0,3				
17110	01.05.2014	22:10	13,6	0,2	20,7	1,1				
17110	01.05.2014	22:00	14	8,2	27,4	2,7				
17110	01.05.2014	21:50	14,9	0,2	67,5	0,1				
17110	01.05.2014	21:40	15	2	63,4	0,7				
17110	01.05.2014	21:30	15,2	2,2	155,5	0,1				
17110	01.05.2014	21:20	15,3	1,8	139,1	0				
17110	01.05.2014	21:10	15,5	0,8	152,3	1,1				
17110	01.05.2014	21:00	15,1	0	136,5	1				
17110	01.05.2014	20:50	14,6	0	145,5	0,7				
17110	01.05.2014	20:40	14,7	0	141,4	2,7				
17110	01.05.2014	20:30	14,8	0	162,6	4				
17110	01.05.2014	20:20	15,7	0	176,2	5,5				
17110	01.05.2014	20:10	16,1	0	165,9	3,7				
17110	01.05.2014	20:00	16,1	0	162,7	3,4				
				144,4	kg. 21:10-01:00 arası					

Şekil 12: Gökçeada'da meydana gelen yağışın 10'ar dakikalık gösterim cetveli

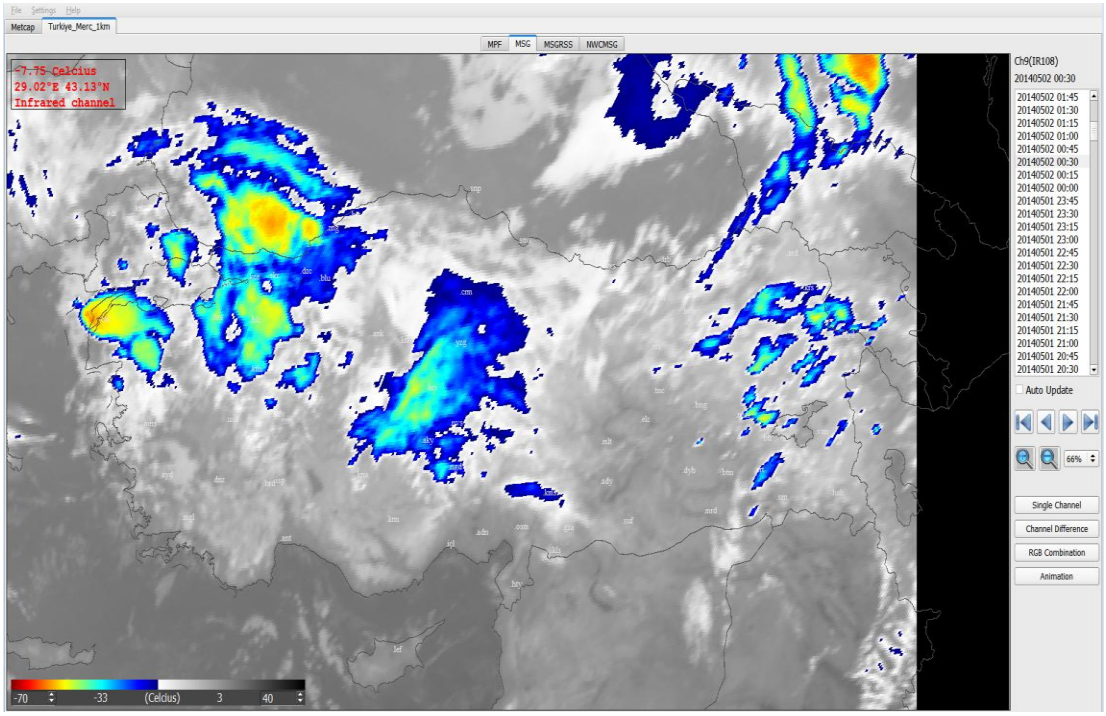
Aşağıda şekil 13'te radar görüntülerinde Gökçeada'da oluşan oraj hücresi ile üst ve alt seviye rüzgar akışları gösterilmiştir. Backbuilding thunderstormların en belirgin özelliği durağan olmasıdır. Gökçeada üzerinde oluşan hücre aynı yerde sürekli yağışa sebep olmuş ve neticesinde sel meydana gelmiştir.



Şekil 13: *Gökçeada'da oluşan backbuilding thunderstormun radar görüntüsü*



Şekil 14: Backbuilding thunderstormun oluşum şeması



Şekil 15: *Gökçeada'da oluşan backbuilding thunderstormun uydu görüntüsü*

3. SONUÇLAR

Sinoptik ölçekli haritaların ve global modellerin, backbuilding thunderstorm gibi lokal yapıların tahmin edilmesinde yetersiz kaldığı görülmüştür. Uydu ve radar gibi nowcasting amaçlı kullanılan cihazların, bu tip yapıların tespit edilmesinde, takibinde ve gerekli uyarıların yapılmasında ne denli önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Günümüzde uzaktan algılama cihazları; meteorolojik olayların tespitinde gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır. Meydana gelebilecek olumsuzlukların tahmininde, gerekli uyarıların yapılarak can ve mal güvenliğinin sağlanmasında uydu ve radarlar artık vazgeçilmez unsurlardır.

KAYNAKLAR

[1] **Gayretli Salman,** *Meteorolojik Arşivler*.

[2] **Meteoroloji Genel Müdürlüğü,** *Uzaktan Algılama Birimi, MSG verileri*.

[3] **Meteoroloji Genel Müdürlüğü,** *Bülten Arşiv*.

[4] **Eumetsat Eğitim Sayfası,** *www.eumetrain.org*

[5] **Wikimedia Commons,** *www.commons.wikimedia.org*

25 Mayıs 2015 Tarihinde Ankara'da Meydana Gelen Kuvvetli Dolu Yağışının Uzaktan Algılama Ürünleri İle Belirlenmesi

Yusuf ULUPINAR
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü
Ankara
yulupinar@mgm.gov.tr

Seyfullah ÇELİK
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü
Ankara
scelik@mgm.gov.tr

Alaattin UĞURLU
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü
Ankara
augurlu@mgm.gov.tr

ÖZET

25 Mayıs 2015 günü öğle saatlerinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü kampüs alanına çok yakın mesafede yaklaşık yarım saat devam eden çok kuvvetli dolu hadisesi meydana gelmiş, yüzlerce araç zarar görmüş ve büyük miktarda maddi hasara neden olmuştur.

Kuvvetli konvektif gelişme sonunda, nemli ve sıcak havanın desteği ile görülen gerçekleşen dolu hadisesi, genellikle çok lokal olarak oluşmaktadır. Ancak bu olayda dolunun büyüklüğü, şiddeti ve geniş bir alanda devam etmesi, olayın etkisini arttırmıştır. Yüzlerce araç sahibi araçlarını tamire götürmek zorunda kalmıştır.

Ankara geneline en fazla 23 mm. yağışın düştüğü bu tarihte meydana gelen dolunun büyüklüğü ve etkisi, ekstrem bir olay olarak görülmektedir. Başta radar ve uydu görüntüleri ile konvektif bulutlar takip edilmiştir. Dolu olayının lokal olması, doğal olarak uzaktan algılama sistemleri ile takibini gerekli kılmaktadır. Olay yerlerinin, Ankara merkezde, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne yakın gerçekleşmesi ise yer ve yüksek seviye gözlemlerinin desteği açısından da ayrıca önemli olmaktadır.

Anahtar Kelimer - Dolu, konvektif gelişme, Ankara, Radar

1.GİRİŞ

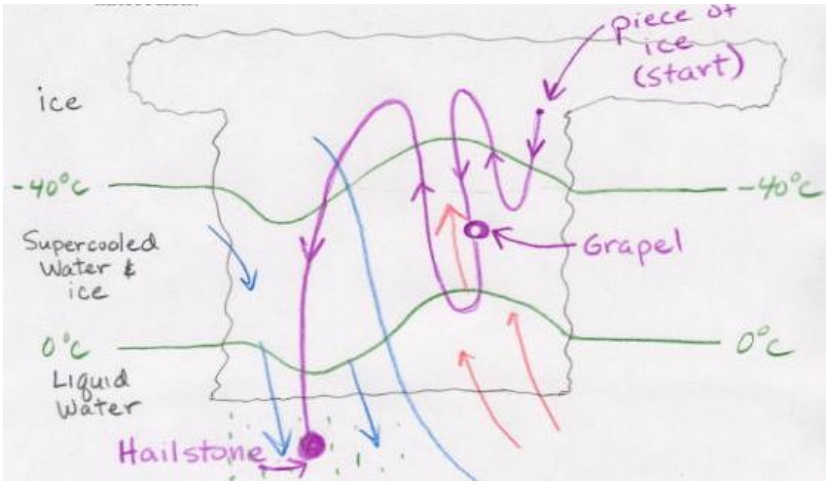
25 Mayıs 2015 günü öğle saatlerinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü kampüs alanına çok yakın mesafede yaklaşık yarım saat devam eden çok kuvvetli dolu yağışı görülmüş ve büyük hasara neden olmuştur. Ankara'da ekstrem olduğu düşünülen dolu büyüklüğü nedeni ile binlerce araç kaportası tamir edilmek zorunda kalınmıştır.



Şekil-1 25 Mayıs 2015 tarihinde Ankara'da meydana gelen dolu

Dolu bölgesel olarak bulut (Cb) içerisindeki (termodinamik) gelişmeye bağlı olarak oluşan, büyüklüğü anlık değişebilen ve tahmini en zor olan hidrometeorlardan birisidir. Uzaktan algılama ürünleri ile özellikle radar ve Yıldırım Tespit Sistemi ürünleri ile çok kısa süreli tahminlerinin ve takibinin yapılması mümkün olabilmektedir.

Dolu çapının büyük olması için Cb ortamında, geniş alandan yukarı seviyelere hızlı hareket, Donma seviyesinin üzerine nem taşımımı ve fırtınanın ömrünün uzunluğu en önemli şartlardandır (Knight and Knight 2001).

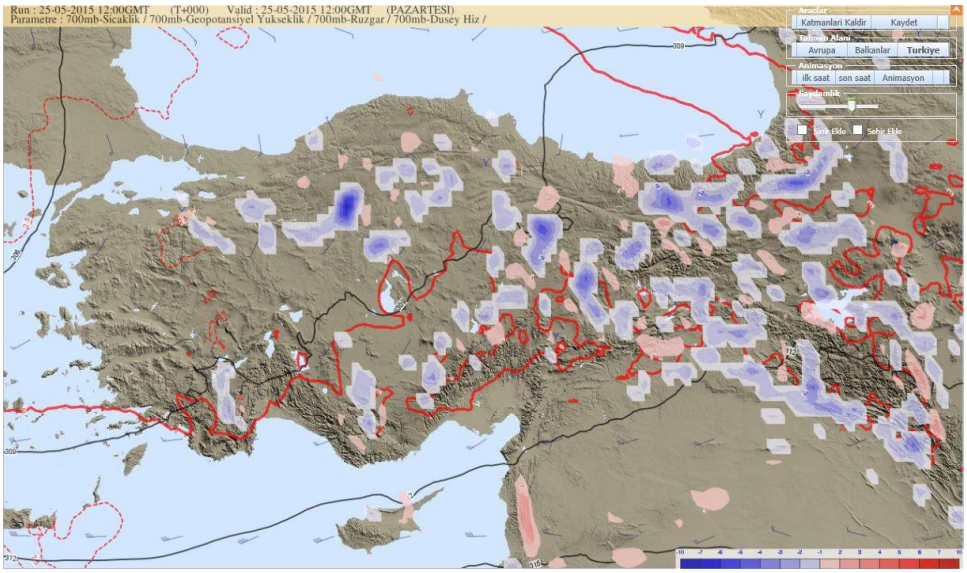


Şekil-2 Cb bulutunun içerisinde dolu oluşumu (Arizona üniversitesi ders notları [1])

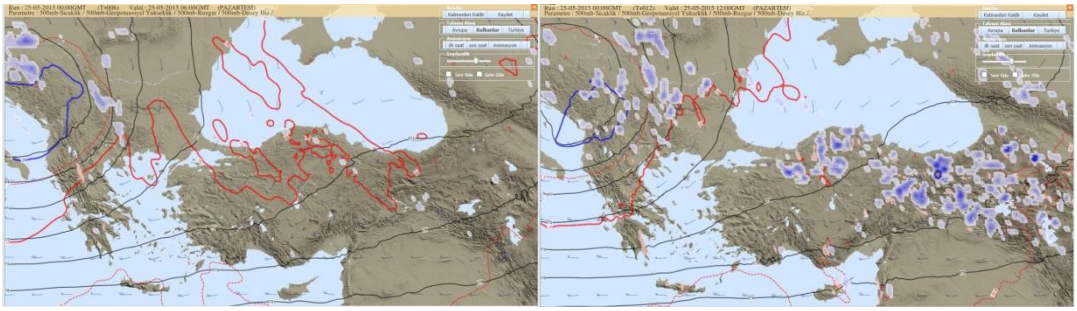
Orta enlemlerde Cb bulutunun yapısı içerisinde dolunun oluşumu 0 ile -40 ^{0}C derece arasında alanda değişmektedir (1). Son yıllarda dolu artışlarındaki etmenlerden birisinin de (insanlar tarafından atmosfer verilen kirleticiler) partikül miktarlarındaki artışlar olarak değerlendirilmektedir.(2)

2. GENEL SİNOPTİK DURUM

Mayıs ayı genel olarak Ankara'da serin aylardan birisidir. Hava sıcaklığı 10/22 derece arasında ortalama değişim göstermektedir. 25 Mayıs günü 00:00 UTC haritalarına göre; Balkanlar üzerinde bulunan serin hava ve trof etkisi Türkiye'nin batı kesimlerine kadar uzanmaktadır. Trof önündeki konturlar arasındaki genişlik, sistemin bu istikamette yani Ülkemiz üzerinde aktif olacağının ipuçlarını vermektedir. Konvektif faaliyetin belirgin özelliği ise 700 hPa seviyesindeki değişimdir. Tüm haritalar kararsızlık belirtileri göstermektedir, ancak bunlardan en fazla sinyal veren dolu anındaki temp analizi ve 700 hpa haritasıdır.

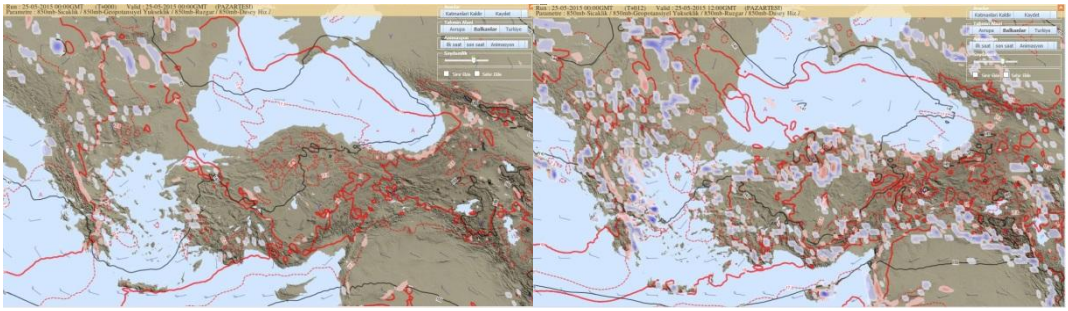


Şekil-3 700 hPa analiz 12:00 UTC (ECMWF)



Şekil-4 500 hPa analiz haritaları 00:00 ve 12:00 UTC

500 hPa 00:00 ve 12:00 UTC analizinde Balkanlar üzerindeki soğuk hava yurdun batı kesimlerini etkiliyor. Şartlar bu seviyeye göre yağış ve konvektif faaliyet oluşumu için oldukça uygun görünüyor. – 15^0C derecelik bir soğuk hava ve trof önünü diverjans alanı düşey hız yükselmesinin sıcak yüzey alanlarında olduğu göstermektedir. Aynı alanların öğle saatlerinden sonra şimşek ve yıldırımlı alanlar olarak Yıldırım Tespit Sistemi ürünlerinde de net olarak gözlenmektedir.



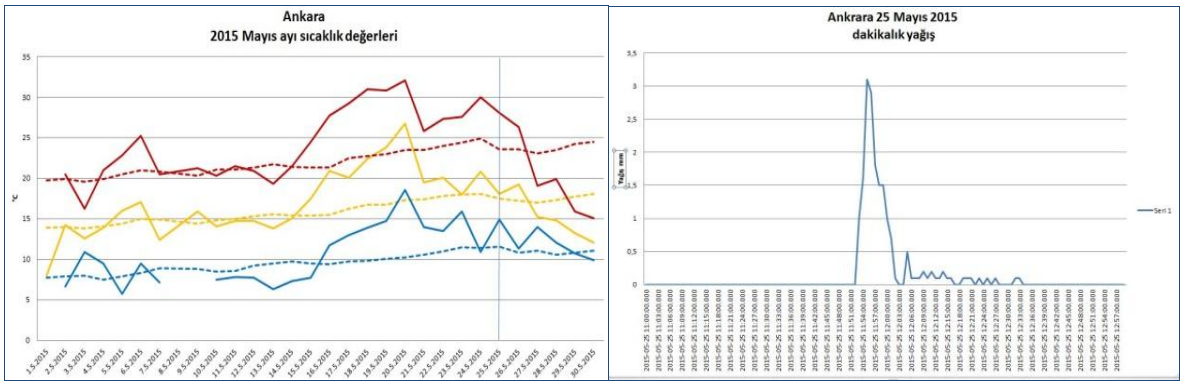
Şekil-5 850 hPa analiz haritaları 00:00 ve 12:00 UTC

850 hPa seviyesinde, yaklaşık 18-20 ^{0}C derece arasındaki sıcaklık değerlerinin Ankara üzerinde bulunduğu görülmektedir, normallerine göre 5 ^{0}C derece dolayında fazladır. Diğer seviye haritalarında olduğu gibi batı bölgelerinden İç Anadolu bölgesine sokulan yayvan bir alçak merkez, güneyli ve sakin hava akımı, kararsızlık şartlarını desteklemektedir. Bu seviyede işba sıcaklığı 7 ^{0}C derece, nispi nem oranı ise yaklaşık % 50 civarındadır.

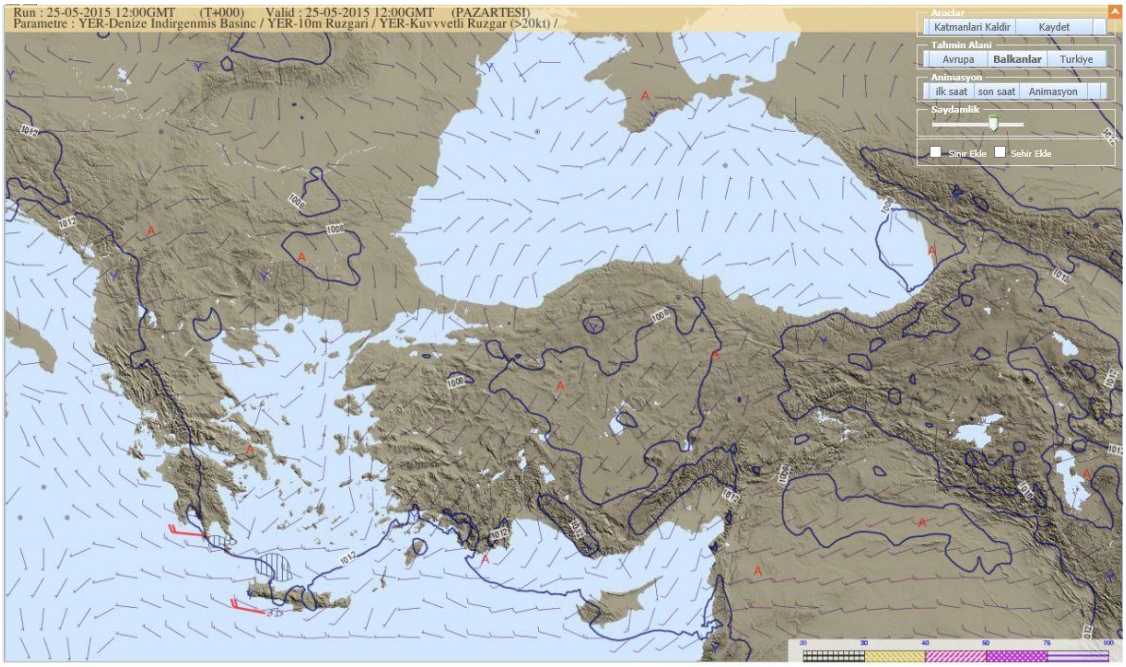
Tablo-1 Önemli karasızlık değerlerinin son günlerdeki değişimi Ankara Mayıs ayı 2015

	20 Mayıs	21 Mayıs	22 Mayıs	23 Mayıs	24 Mayıs	**25 Mayıs**	26 Mayıs
K	26,9 25,5	19,9 29,7	26,7 33,3	23,7 36,6	24,7 30,1	**30,9 38,0**	30,9 35,5
TT	51,2 50,0	44,4 52,6	50,6 54,2	49,8 50,6	46,8 52,0	**52,0 53,2**	50,6 55,6
PW	16,8 14,4	11,2 16,7	19,8 18,5	20,2 26,6	16,9 16,3	**19,9 31,6**	19,5 17,3
Tmaks	32,2	25,9	27,3	27,7	30,1	**28,2**	26,3

K indeksi başta olmak üzere atmosferdeki genel durumu en iyi özetleyen değerlerin değişimi Tablo-1 de görülmektedir. 25 Mayıs 2015 tarihi için değerlerde genel bir yükseliş olduğu görülmektedir.



Şekil-6 Ankara Mayıs ayı sıcaklık değişimleri ile dakikalık yağış mikarı

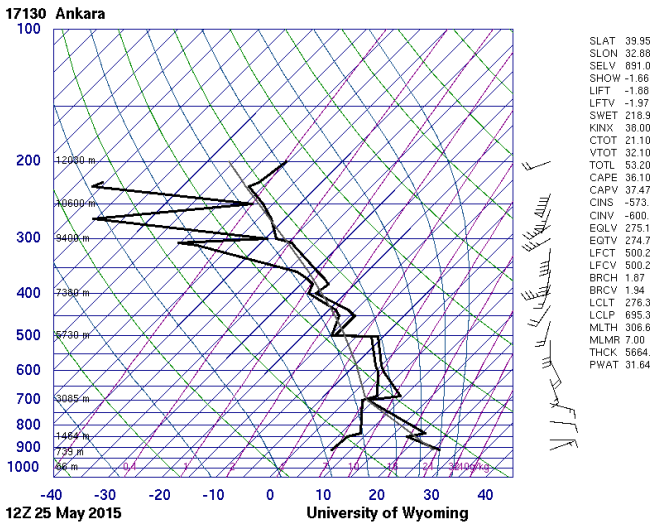


Şekil-7 Yer basınç analiz haritası 25 Mayıs 2015 12:00 UTC

Yer basınç haritasında ise 1008 hPa değerindeki alçak basınç merkezi Ankara dahil olmak üzere İç Anadolu bölgesinde Katof olarak yer almaktadır. Yer seviyesinde rüzgâr değerleri sakin ve kararsızlık şartlarına uygun olarak görülmektedir.

25 Mayıs 2015 tarihi 00:00 UTC Ankara Temp diyagramında, yer seviyesinde 409 m lik ve 1,2 derecelik radyasyon enverziyonu bulunmaktadır. Bu da kararsızlık olayını arttıran faktörlerden birisidir. Ankara'da bir gün öncesinde 30 ^{0}C derecelik azami sıcaklık kaydedildi, asgari sıcaklık ise 16^{0}C derece civarındadır. Hava sıcaklığı normallerinin 3-5 derece üzerindedir. Her kuvvetli meteoroloji olayı tetikleyen birkaç önemli etken vardır. Bu olayda da en önemlileri yer enverziyonu, yukarı seviyelere yeterli nem taşınımı ve olay süresinin uzun olmasıdır.

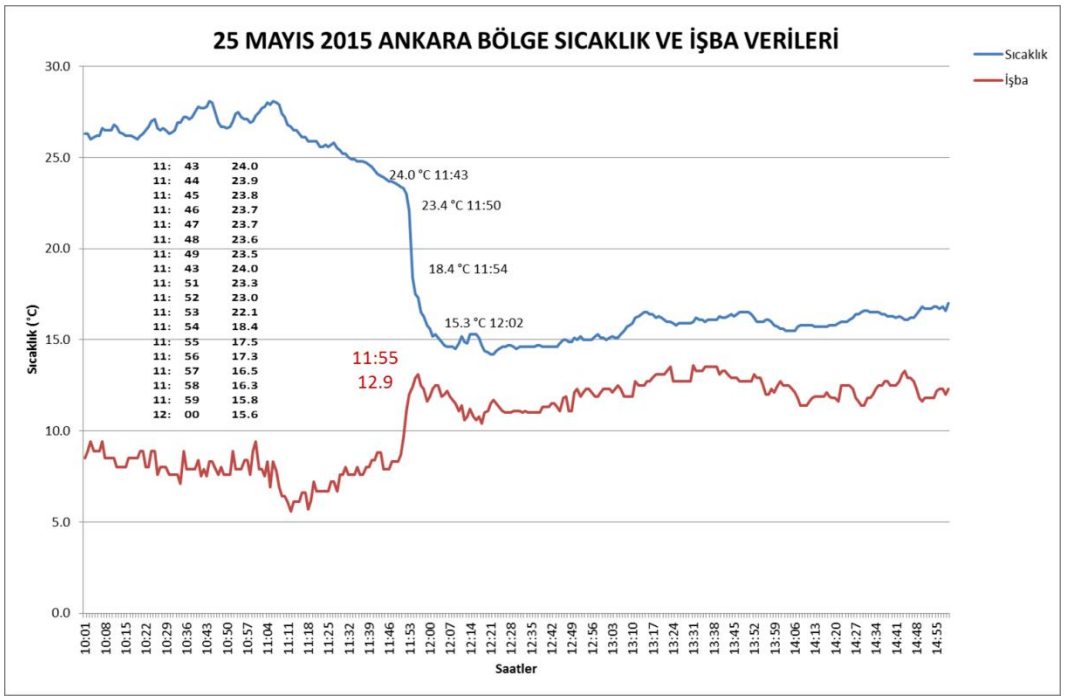
Hpa	h(m)	T	Td	RH	dd	ff
909	890	16,2	13,5	84	50	6,0
850	1464	17,9	7,0	49	85	8,7
700	3085	4,1	3,0	93	233	3,6
658	3586	0,0	-,6	96	245	5,0
500	5725	-14,1	-14,7	95	242	8,8
400	7385	-25,4	-26,8	87	255	17,3
312	9131	-40,1	-41,9	82	252	13,1
250	10603	-51,8	-53,7	80	267	2,5
200	12027	-55,5	-57,4	78	251	10,1
150	13868	-54,8	-85,4	1	226	9,8
100	16460	-55,8	-84,7	1	263	12,0



Şekil-8 17130 Ankara temp analizi 12:00 UTC

25 Mayıs 2015 12:00 UTC Temp diyagramı analizinde 0 derece izotermi 658 hPa, -40 derece ise 312 hPa seviyesinde bulunmaktadır.

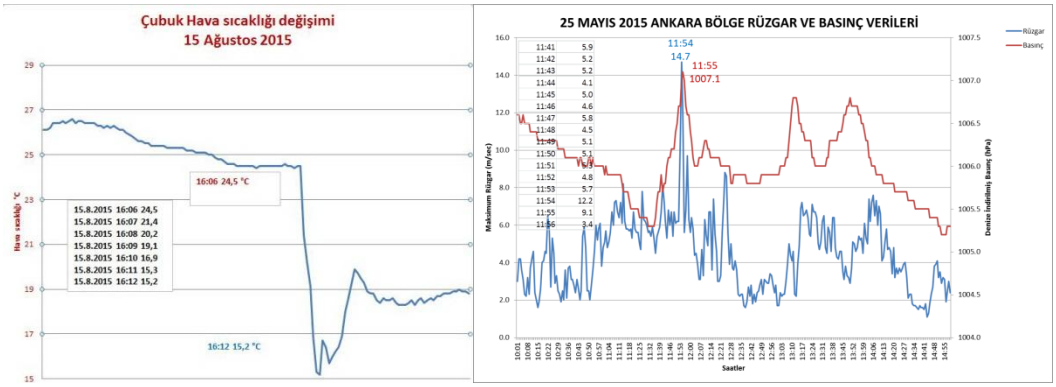
Ankara'da dolu yağışından 1 saat öncesinde 28,1 ^{0}C derece sıcaklık, dolu anında ise 13,1 ^{0}C derecelik işba sıcaklığı bulunmaktadır. Dolu'nu en kuvvetli ve büyük yağdığı anlarda hava sıcaklığı 23-24 ^{0}C derece civarındadır (11:40 25,5 °C-11:52 23,0 °C dir.)



Şekil-9 17130 Ankara OMGİ'den alınan dakikalık sıcaklık ve işba sıcaklığı

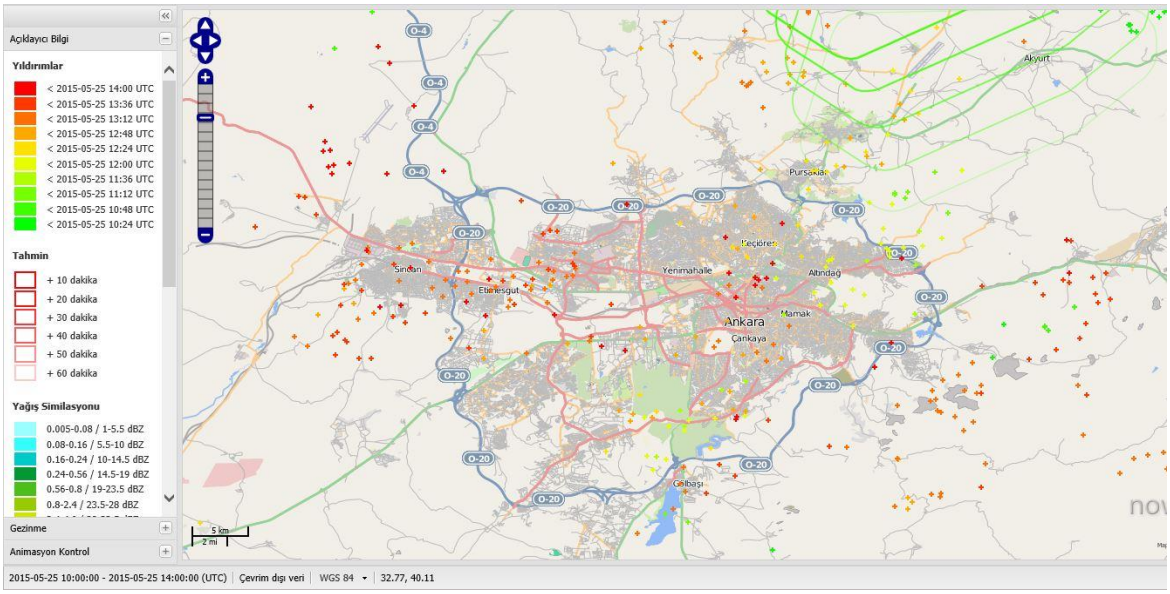
0 derece ile -40 derece arasında, yaklaşık 5,-5,5 km Cb bulutu içerisinde dolu oluşumu devam ederken bu mekanizmayı destekleyen faktörlerden en önemlisi yer sıcaklığıdır. Yer sıcaklığı yaklaşık yarım saatte minimum değere ulaşmıştır.

Çubuk'ta meydana gelen minarenin yıkılmasına neden olan Cb bulutunun geçişi esnasında yer sıcaklığı 6 dakikada en düşük değere ulaşmıştır.



Şekil-10 15 Ağustos 2015 Çubuk ve 25 Mayıs 2015 Ankara dakikalık değişimler

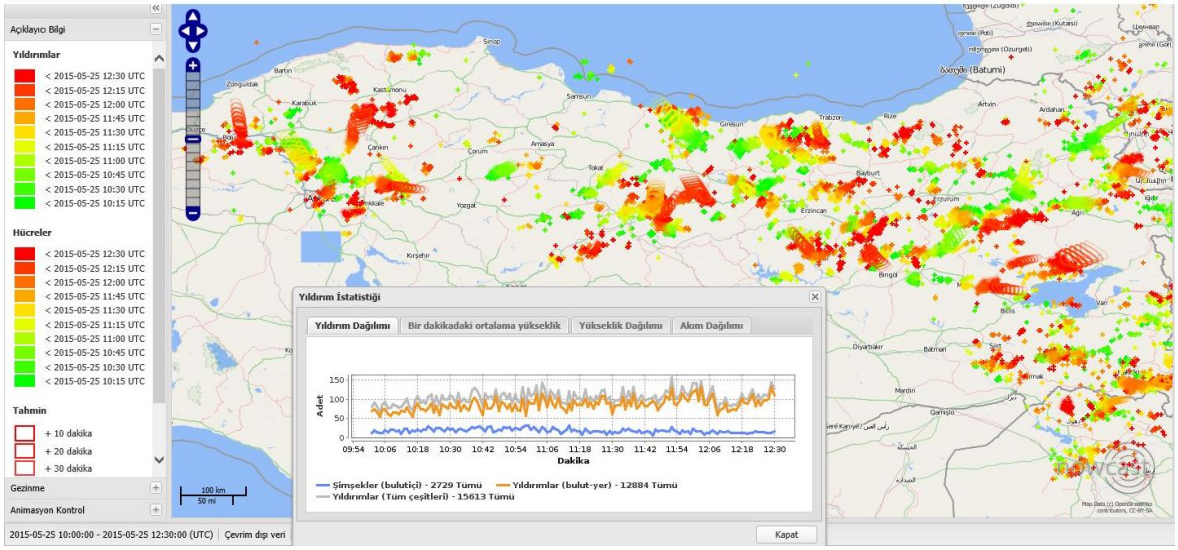
3.YILDIRIM TESPİT SİSTEMİ ÜRÜNLERİ



Şekil-11 Şimşek ve yıldırım noktaları (10:00-14:00 UTC)

Saat 10:00-14:00 UTC arasında Ankara'nın birçok bölgesinde konvektif faaliyete bağlı olarak, yıldırım ve şimşek gözlemlerine rastlanmaktadır, şimşek ve yıldırım yoğunluğunun yağışının

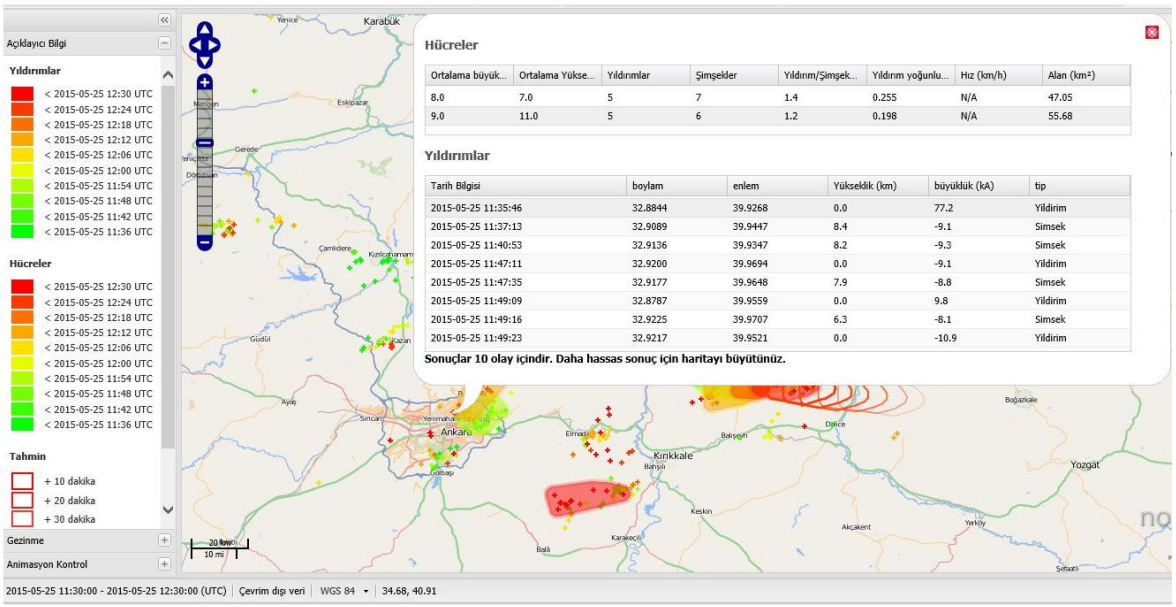
görüldüğü Ankara'nın kuzey kesimleri olduğu görülmektedir (Şekil-11).



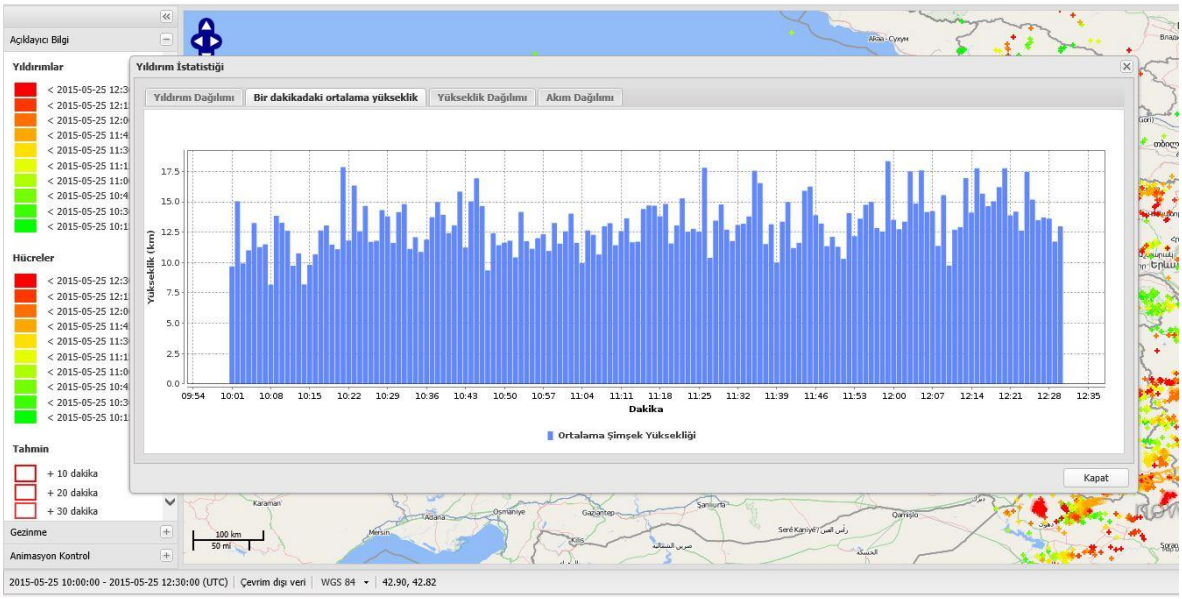
Şekil-12 Türkiye geneli yıldırım alanları ve hücre hareketleri (10:00-12:30UTC)

Sadece Ankara'da değil aynı saatlerde, sıcak hava yüzeylerinin bulunduğu alanlarda, yurdun kuzey ve doğu kesimlerinde kuvvetli konvektif gelişmeler ve buna bağlı meteorolojik olaylar devam etmektedir (Şekil-12).

Yıldırım yüksekliğinin 8-10 km arasında değiştiği görülmektedir.

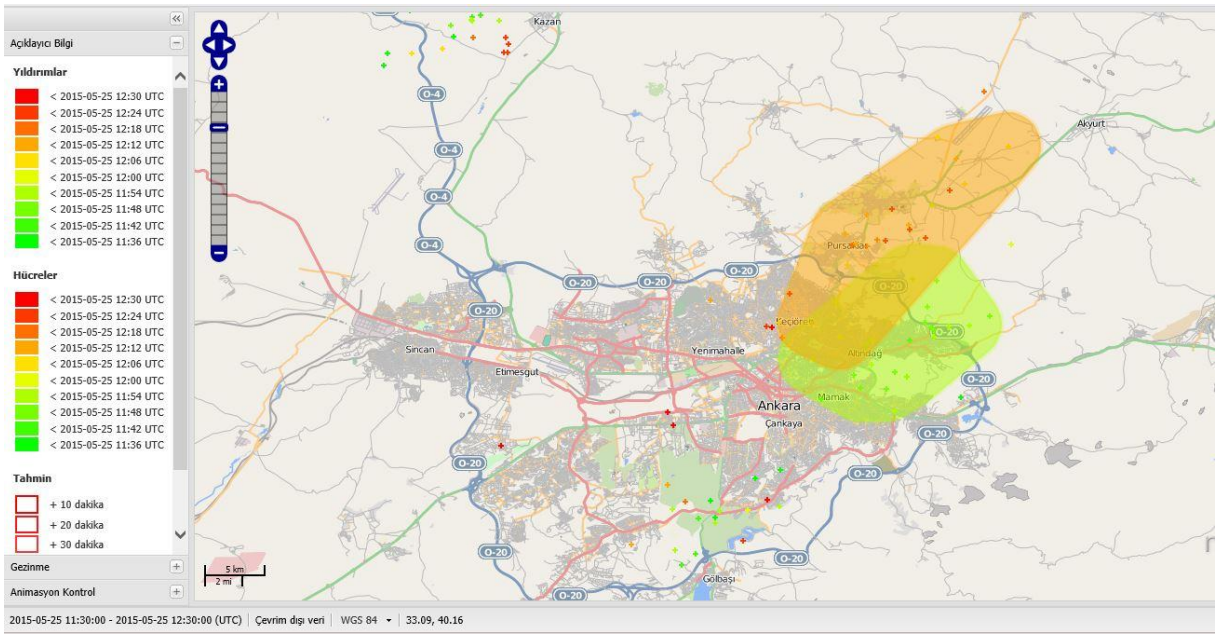


Şekil-13 Türkiye geneli yıldırım alanları ve hücre hareketleri (11:30-12:30UTC)



Şekil-14 Türkiye geneli yıldırım alanları ve hücre hareketleri (10:00-12:30UTC)

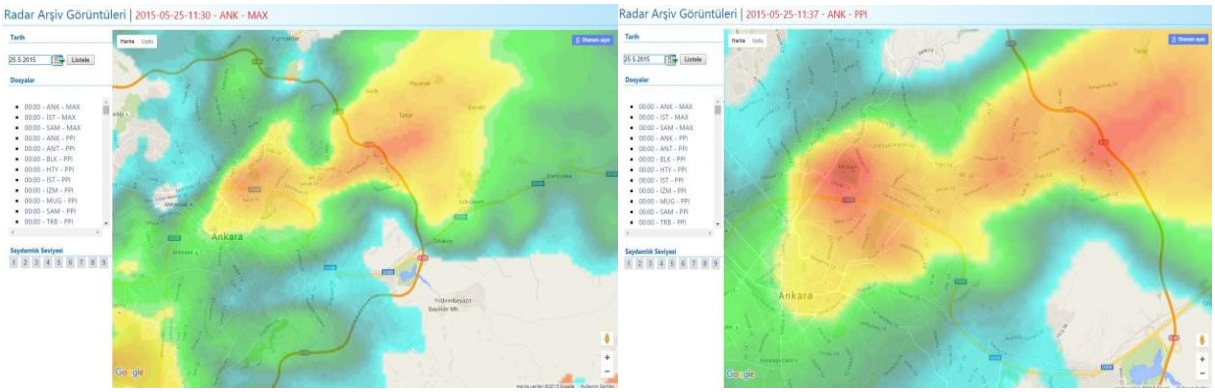
Dakikalık yıldırım yüksekliği analiz edildiğinde dolu esnasındaki (11:40-12:10) değerlerin 12 km civarında olduğu görülmektedir, zaman zaman 17 km'yi geçen değerler kaydedilmiştir(Şekil-14).



Şekil-15 Türkiye geneli yıldırım alanları ve hücre hareketleri (11:30-12:30UTC)

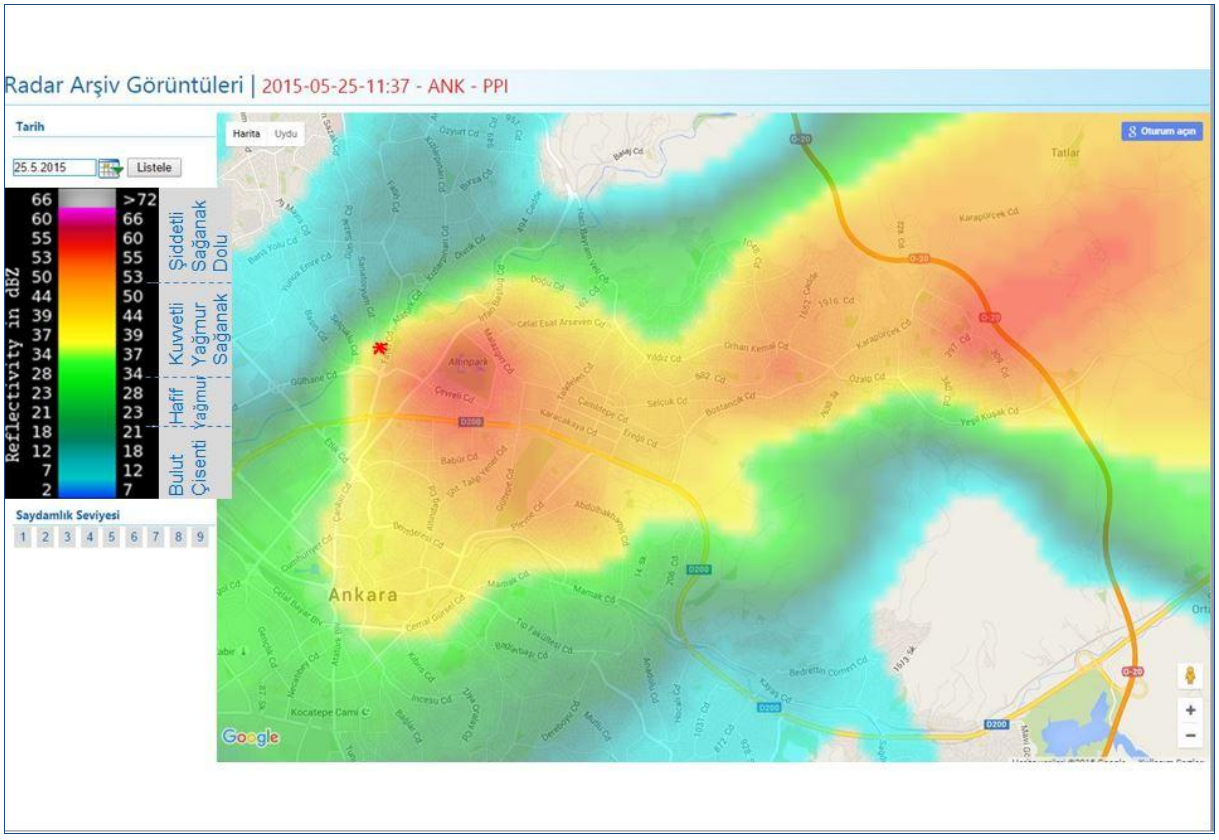
11:30-12:30 saatleri arasında yıldırım ve şimşek hücrelerini bulunduğu alanlar dolu yağışının görüldüğü alanlardır(Şekil-15).

4. RADAR ÜRÜNLERİ

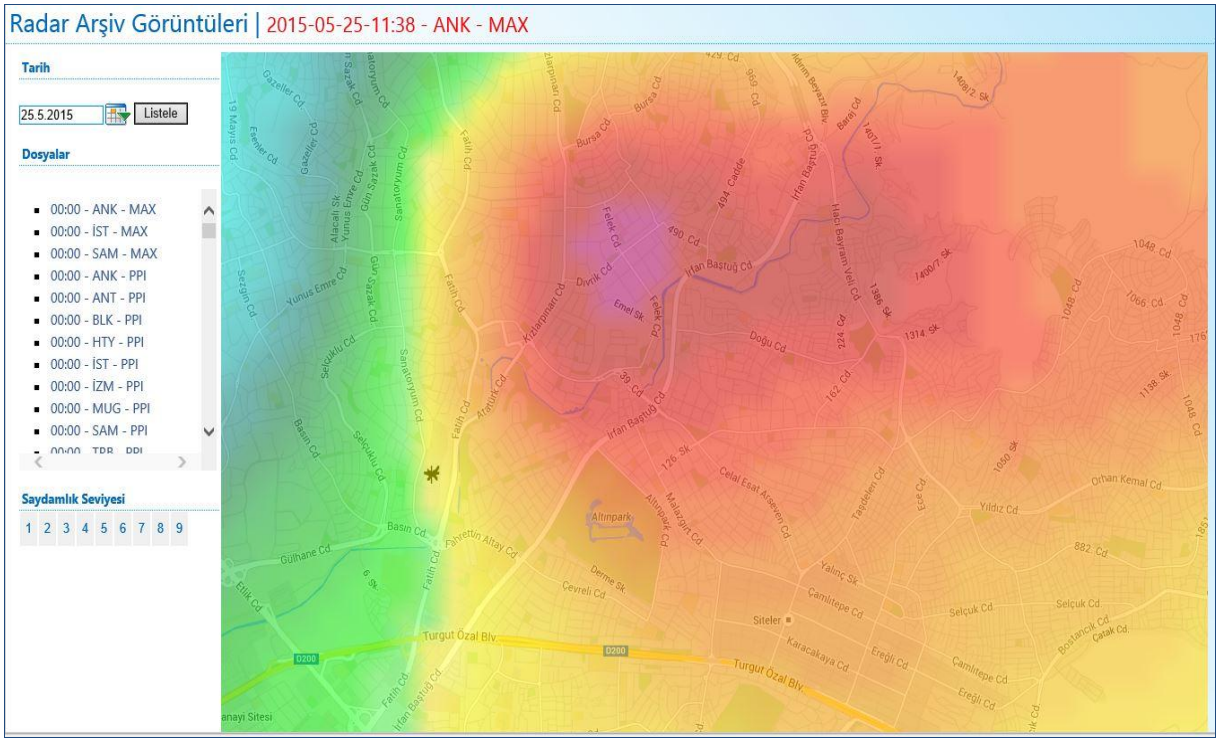


Şekil-16 Radar görüntüleri (11:30 maks, 11:37 ppı)

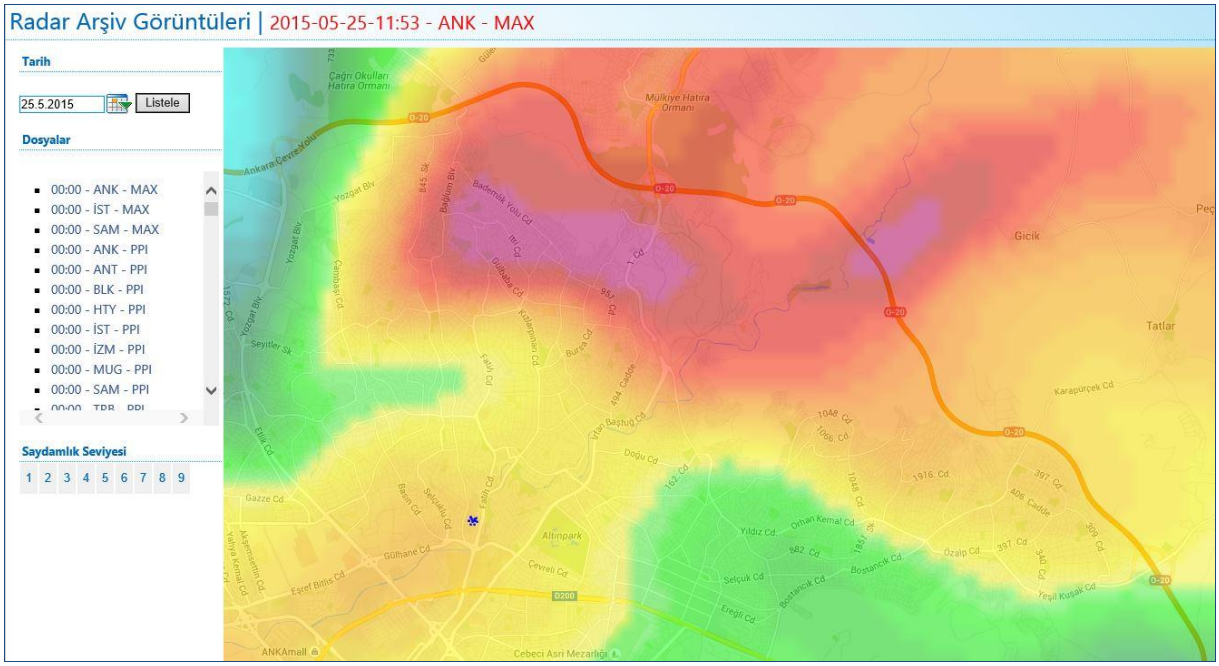
11:23 UTC'de Ankara'nın güneydoğu kesimlerinde başlayan kuvvetli konvektif faaliyet ve Cb oluşumu 11:30 maks ve 11:37 PPI radar ürünlerinde görüldüğü gibi dolu alanlarında gelişmeye devam ediyor. Esenboğa yolu ile Keçiören- Kızlarpınarı (şose) Caddesi arasındaki Felek Sokak üzerinde maksimum değere ulaştı. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün güneydoğusunda oluşan gelişmiş Cb kuzey istikameti yönünde hareket ederek yarım saatlik süre içerisinde maksimum reflektivite (65 dBz) değerine ulaşmıştır.



Şekil-17 Radar görüntüleri (11:37 ppı)



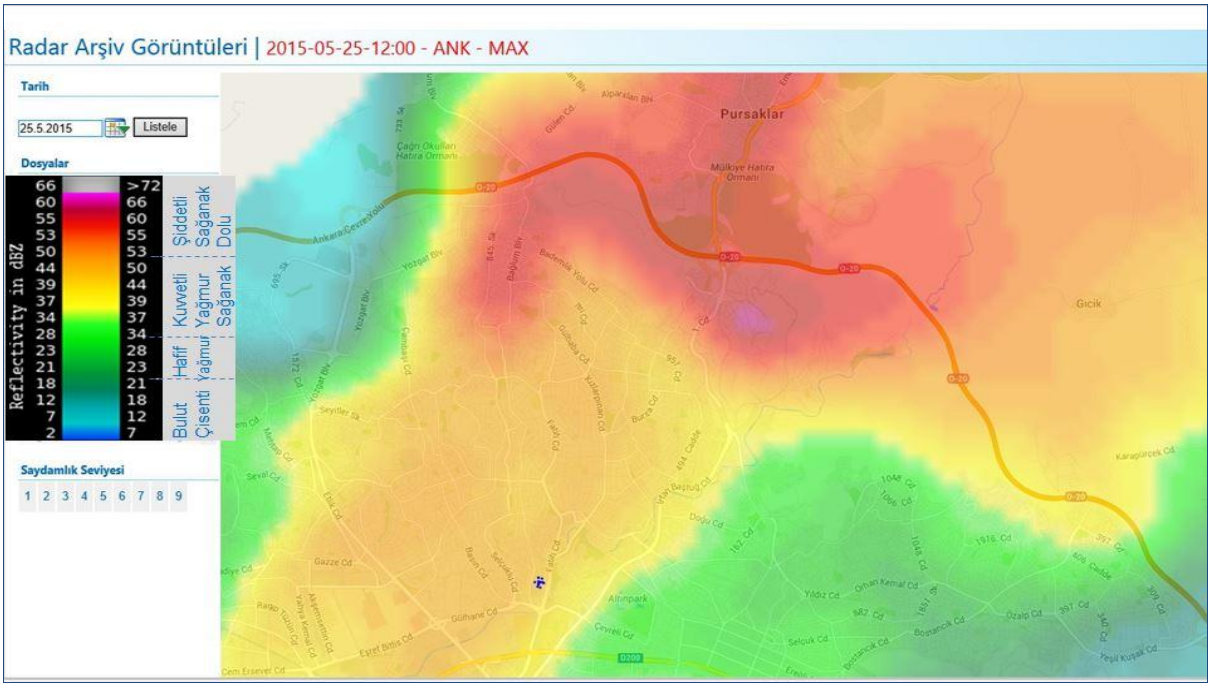
Şekil-18 Radar görüntüleri (11:38 maks)



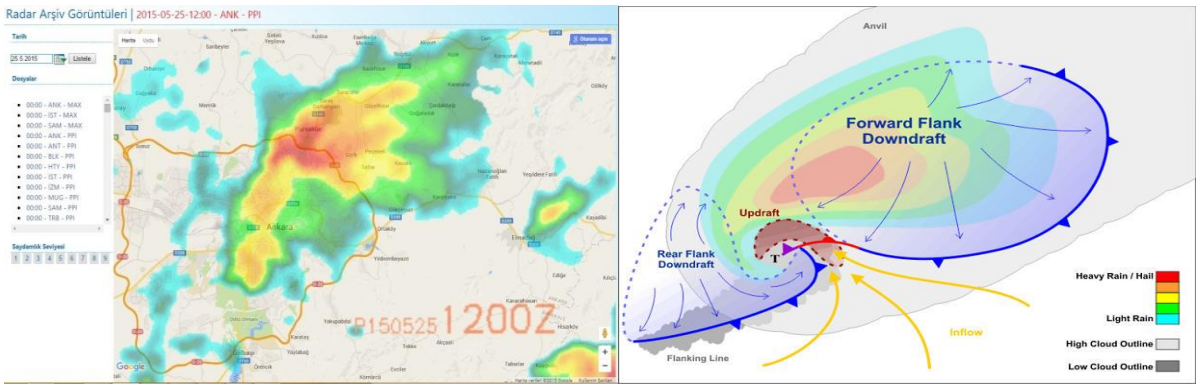
Şekil-19 Radar görüntüleri (11:53 maks)

11:53 ve 12:00 radar görüntülerinde kütle hızla Pursaklar üzerine hareket ettiği görülmektedir. Ancak MGM civarındaki bir alandan kütlenin bağlantılı olduğu görülmektedir. 11:50 ila 11:55

arası (video çekiminden anlaşılmaktadır.) dolu yağışının en şiddetli ve büyüklüğünün en fazla olduğu saatlerdir. 12:00 dan sonra da Ankara'nın çeşitli bölgelerinde yağış, dolu görülmüş ancak bu kadar etkili olanları görülmemiştir.



Şekil-20 Radar görüntüleri (12:00 maks,)



Şekil-21 Radar görüntüsü (12:00 maks ve Gelişmiş Cb yapısı)

Radar ecolarında 45 dBz ten daha yüksek değerlerin, iyi gelişmiş bir Cb yapısı işe benzerlik gösterdiği görülmektedir.



Şekil-22 Ankara'da kaydedilen dolu görüntüleri/Yaşar Türker

25 Mayıs 2015 tarihinde Ankara'da meydana gelen dolunun büyüklüğü 3-5 mm çapındadır. Bu büyüklükteki dolu özellikle araçlara büyük hasarlar vermiştir. Doludan dolayı kaporta düzeltmesi yapan firmalar yaklaşık 5 aydır sürekli çalışmaktadır. Dolu için bazı sigorta şirketleri resmi meteoroloji rapor isterken, çoğunluk sigorta şirketleri rapor almadan düzeltme işlemlerini gerçekleştirmektedir.

5 SONUÇLAR

Ankara'da 25 Mayıs 2015 tarihinde meydana gelen dolu, boyut ve hasar açısından ekstremdir. Çok kısa sürede (11:49-11:55) gerçekleşmiştir ve tahmini oldukça zordur. Ancak dakikalar içerisinde Radar ve YTS ürünleri ile takip edilip tahmin edilebilir. Radar ürünlerinin bu gibi durumlarda anlık takibi çok önemlidir. Atmosfere verilen kirleticilerin artması, küresel deniz suyu ve yüzey sıcaklıklarındaki artışlar bundan sonra da ekstrem yağış ve benzere olayları beraberinde getirecektir. Uzaktan algılama uzmanları ve tahminciler bu olaylar için daha fazla çalışma yapacaklardır.

Benzer dolu yağışı 28.6.2006 tahinde Almanya'da meydana gelmiş, Bu konu da yapılan modelleme çalışmalarında, bulut yoğunlaşma çekirdeklerindeki (CCN) ve yer sıcaklığındaki (1 derecelik) artışın dolu büyüklüğünü önemli miktarlarda arttırdığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] www.mgm.gov.tr

[2] www. ecmwf.int

[3] http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html

[4] http://www.estofex.org/guide/2_4.html

[5] http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks

[6] http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.457.6017&rep=rep1&type=pdf

24 Ağustos 2015 Tarihinde Hopa'da Meydana Gelen Şiddetli Yağışın Meteorolojik ve Hidrometeorolojik Analizi

Yusuf ULUPINAR, Seyfullah ÇELİK, Ekrem GÜLSOY, Ali İhsan AKBAŞ, Serhan KÖSE

Meteoroloji Genel Müdürlüğü

Araştırma Dairesi Başkanlığı

Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü

yulupinar@mgm.gov.tr, scelik@mgm.gov.tr, egulsoy@mgm.gov.tr, aiakbas@mgm.gov.tr, skose@mgm.gov.tr

ÖZET

24 Ağustos 2014 tarihinde Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan Artvin ilinin Hopa ilçesinde bir sel afeti meydana geldi. Şiddetli yağışlar sonucunda meydana gelen seller nedeniyle Hopa'da 8 vatandaşımız hayatını kaybetti ve milyonlarca liralık hasar oluştu.

24 Ağustos 2015 günü bölgedeki yoğun yağışlı dönemde, hava sıcaklığı 18-20 derece arasında değişmektedir. Bölgenin batısı ile doğusu arasındaki sıcaklık farkı ve rüzgar yönlerindeki farklılık konvektif oluşumun etkisini arttıran ve yağış merkezini belirleyen en önemli mekanizma olarak ortaya çıkmaktadır. Yüksek seviyelerdeki trof ve soğuk hava da şiddetli yağış sistemini destekleyen faktör olmuştur.

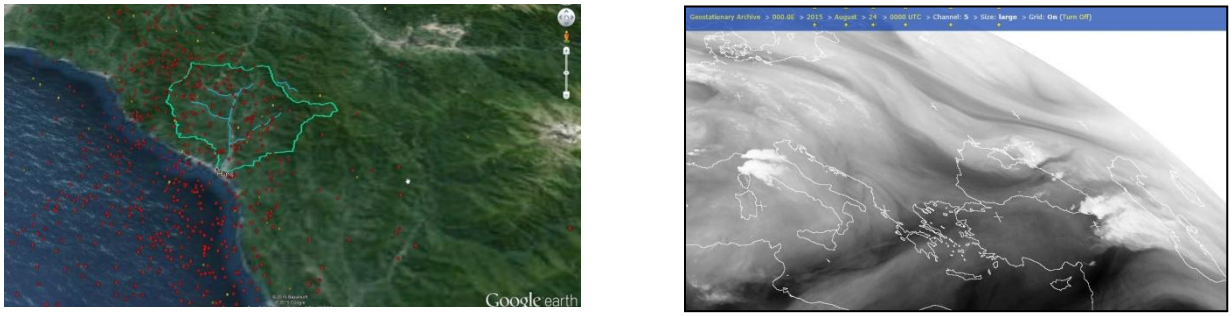
1. GİRİŞ

Türkiye gibi Akdeniz iklim kuşağında yer alan ülkeler için, ani seller insan yaşamını, çevreyi ve altyapıyı harap eden en önemli felaketlerden biridir (Gruntfest ve Handmer, 1999). Fırtına sonucu oluşan ani seller, 25 km^2'den 200 km^2 ye kadar doğal bir havza alanında, 6 saatten az bir sürede, 200 mm.den daha fazla yağış düşmesi sonucu meydana gelir. Aynı şekilde, şehirlerde 1 km^2'den 100 km^2 ye kadar alanda ise, 1 saatte 50 mm.den fazla yağış düşmesi sonucunda ani seller meydana gelmektedir (Creutin ve Borga, 2003; Collier, 2007).

Ani su baskınlarına yol açan meteorolojik koşullar, çoğunlukla, çok yerel tetik mekanizmalarının serbest bırakmasıyla, tipik olarak, potansiyel kararsız şartlar altında gelişen kuvvetli konvektif sistemlerdir. Orografik yükselmeyle, konvektif fırtına oluşumunu tetikleyen en önemli etken, dağ

eğimi boyunca olan (uygun) akışlardır (Maddox ve ark.1988). Ancak burada dağın yüksekliği temel etken olmayıp, hava içerisindeki nem miktarı ile seli oluşturabilecek diğer meteorolojik şartların uygun olması daha önemlidir (Schroeder ve diğerleri, 1987). ABD'de yapılan benzer birçok örnek çalışmalarda, yüksek seviye haritalarında soğuk hava ve trof uzantısı ile sıcak hava ve sırt arasında kalan alanlarda, şiddetli hava olaylarının meydana geldiği görülmüştür (Pontrelli ve ark. 1999).

24 Ağustos 2015 tarihinde, Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan Artvin ilinin Hopa ilçesinde büyük bir afet meydana gelmiştir. Şiddetli yağışlar sonucunda meydana gelen seller nedeniyle, 8 vatandaşımız hayatını kaybetmiş ve milyonlarca liralık hasar meydana gelmiştir. (Şekil 1).



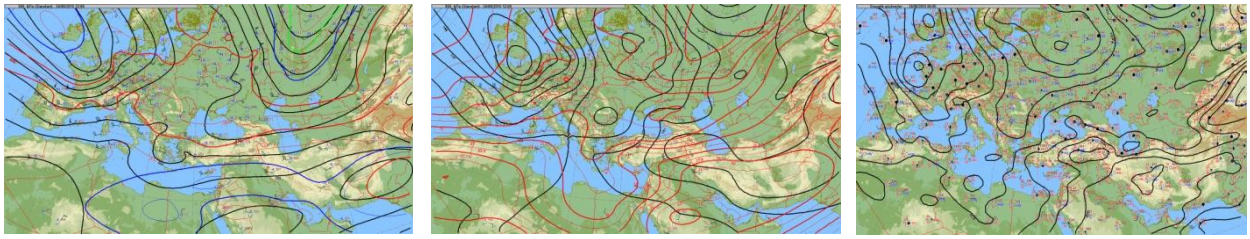
Şekil 1. Afet bölgesi havza alanı, 24 Ağustos 2015 gününe ait 06:00 UTC uydu görüntüsü.

Doğu Karadeniz bölgesi Türkiye'nin en fazla yağış alan bölgesidir. Yıllık yağış miktarı 2350 mm. ye kadar yükselmektedir. Özellikte Hopa ilçesi, Türkiye'nin 5,10, 15 ve 30 (standart sürelerdeki) dakikalık yağış (50.5, 60.6, 70.7, 90.9 mm) ekstremine sahiptir.

Yağışlar, 24 Ağustos 2015 tarihinde Doğu Karadeniz' in kuzeyinde başlamış ve ve gün içinde zamanla afet bölgesini de içine alacak şekilde alanını genişletmiştir. 24 Ağustos 2015 tarihinde, sabah saatlerinden itibaren etkisini arttırmaya başlayan yağışlar öğleye kadar devam etmiş ve bölgede büyük bir afete neden olmuştur. Bu alanda kaydedilen 24 saatlik yağış miktarı **287,2** mm gibi oldukça büyük değere ulaşmıştır. Yağışların büyük bölümünün gündüz saatlerinde olması, erken uyarıların zamanında yapılması özellikle can kayıplarını asgari seviyeye indirmiştir. Yağışların 4 saatten 18 saate kadar olan miktarları Hopa için ekstremdir. Türkiye'nin ekstrem yağışlarına sahip merkezde ekstrem yağışların ölçülmesi normal olmayan sistemlerin ya da hava şartlarının sık gözlemlenmesi ile açıklanabilir.

2.SİNOPTİK ANALİZ

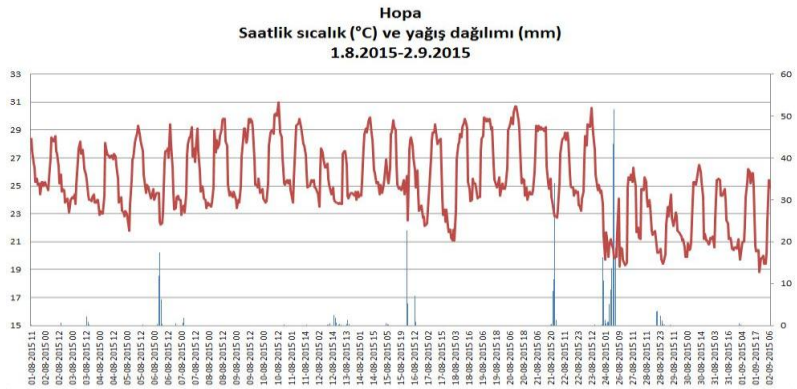
Yağışın sadece Hopa, Arhavi ve Borçka ve köylerinde, yani Türkiye'nin en kuzeydoğu kesimlerinde gerçekleşmesi, çok lokal olması sinoptik analizlerle izahını güçleştirmektedir. Hem sistemin yavaş hareketi hem orografik havzanın desteği hem de iç kesimlerden gelen konvektif yağışların oluşumu ile bu şiddetli yağışlar meydana gelmiştir. Yüksek seviye haritaları analizinde, 500 hPa haritasında soğuk damla ve katofun, Marmara'nın güneyi merkez olmak üzere, Batı Anadolu bölgesi üzerine yerleştiği görülüyor. Bu seviyedeki sıcaklık -13 derece, rüzgâr ise orta kuvvettedir.



Şekil 2. 24 Ağustos 2015 tarihinde 12UTC 500 hPa (solda), 850 hPa (ortada) ve 00UTC yer haritası (sağda).

850 hPa seviyesinde ise, Doğu Karadeniz üzerinde 15 derecelik soğuk hava girişi uzanmaktadır. Bu seviyede akışlar yer haritasına paralel olarak batılı kuzeybatılı yönlerden orta kuvvette esmektedir. Türkiye'nin güneydoğusunda 147 dam'lık alçak merkez bulunmaktadır (Şekil 2).

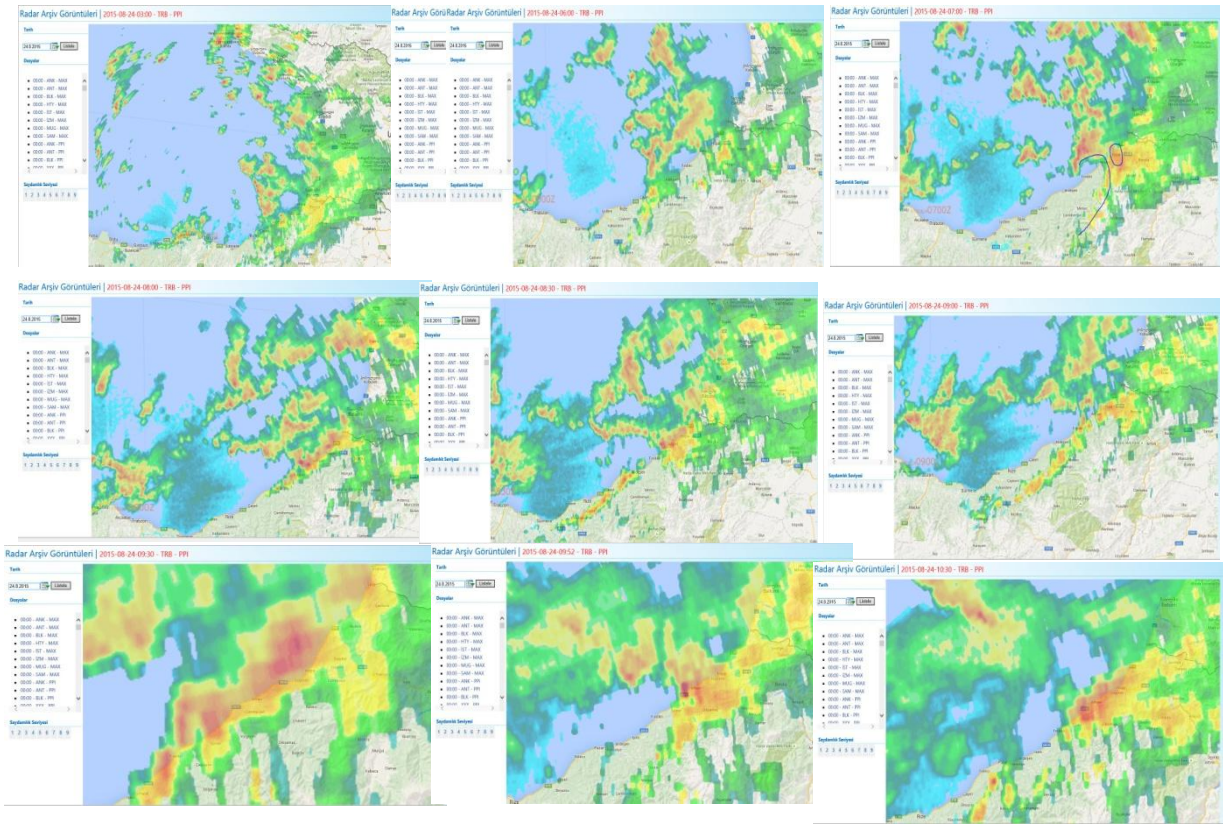
Yer haritasında ise, Türkiye'nin Güney Doğu kesimlerinde, 1000 hPa'lık alçak basınç merkezi yer almaktadır. Doğu Karadeniz bölgesi üzerinde 1004 hPa'lık izobar değerleri hâkim durumdadır. Bölgede yer sıcaklığı güney güneybatılı rüzgârlarla 18–20 derece dolayında seyretmektedir (Şekil 2). Yer ve yüksek seviye haritaları yağış için uygun görülmektedir. Ancak bölgede meydana gelen yağış afetine etki eden en önemli olay nemli toprak ve iki gün önce 70 mm'ye yakın yağışın üzerine bu miktarın düşmesidir. Ağustos ayında düşen toplam yağış miktarı 535 mm civarındadır. Aylık yer sıcaklığı 23-30 derece arasında değişmektedir, bu ise yaklaşık ay boyunca normallerden 4-5 derece yüksek bir sıcaklık seyri anlamına gelmektedir.



Şekil-3 Aylık sıcaklık ve yağışın saatlik değişimi

3.RADAR GÖRÜNTÜLERİ

Radar görüntüleri incelendiğinde; 24 Ağustos 2015 0300 UTC'de Doğu Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesimlerinde yoğun bulut kütlesi görülmektedir (Şekil 5). Bu yoğun kütle, atmosferin yukarı seviyelerindeki akışa bağlı olarak, 24 Ağustos 2015 09:30 UTC'de afet bölgesi üzerinde birleşmiştir. Bölge üzerinde birleşen yoğun kütle, afet bölgesi üzerinde etkili olduktan sonra kuzeye hareket ederek bölgeyi terk etmiştir.

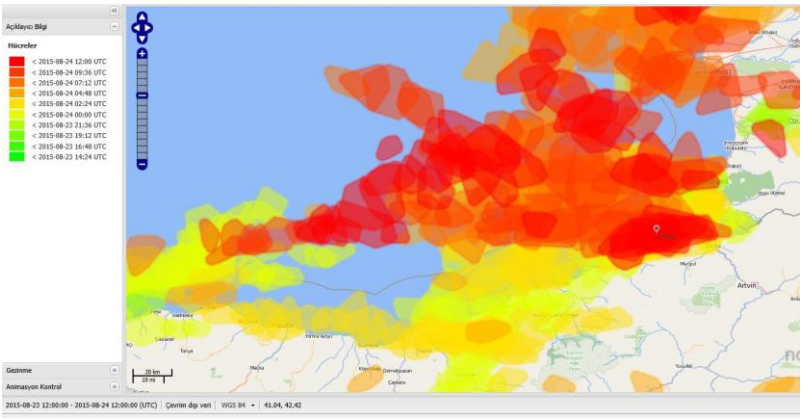


Şekil-4 PPI Radar görüntüsü (24/08/2015 0300, 0600, 0700- 0800, 0830, 0900- 0930, 0952, 1030, UTC)

03:00 Radar görüntüsünde merkezi Trabzon'un kuzeyinde, deniz üzerinde bir alçak basınç merkezi etrafında bulut kütlesinin döndüğü görülmektedir. Doğu Karadeniz Bölgesi deniz üzerinde üç tarafı yüksek dağlarla çevrili kapalı bir havza özelliği taşımaktadır. Onun için Türkiye'nin en fazla yağış alan bölgesidir. Enlem olarak en kuzeydoğuda bulunması, kuzeyden geçen sistemlerden etkilenmesi ve topoğrafik yapısının kuzeyli yağışları tutması, bölgeyi yağış açısından en riskli hale getirmektedir. Yağış miktarının bu kadar yüksek olmasını sağlayan etkilerden en önemlisi de sistemin yukarı seviyelerdeki soğuk hava trofunun yavaş hareket etmesidir. Bu durum çok nemli sıcak alan üzerindeki bulut oluşumunu ve gelişimini uzun süre tazelemiştir (Şekil-5).

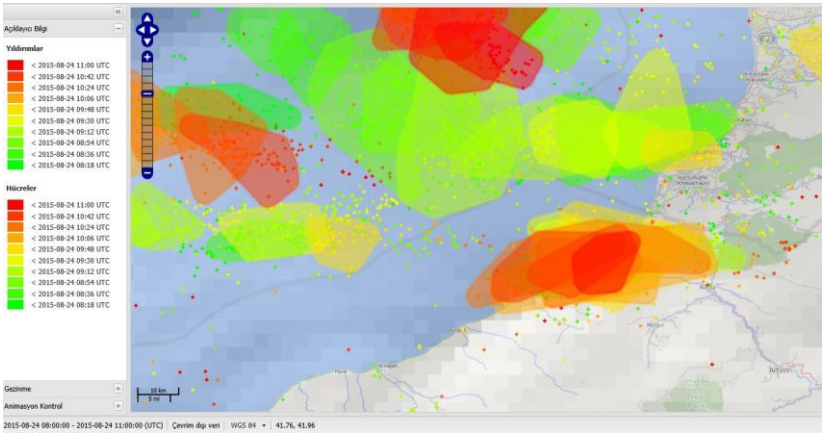
Radar görüntüleri analiz edildiğinde deniz üzerinden ve kara üzerinden doğu-kuzeydoğu yönünde hareket eden gelişmiş konvektif bulutların, yağışların en yoğun olduğu 08:30-10:30 UTC saatlerinde Hopa üzerinde birleştiği görülmektedir.

4.YILDIRIM TESPİT SİSTEMİ ÜRÜNLERİ



Şekil-5 Son 24 saatlik birleştirilmiş hücresel görüntüler 24.08.2015 12:30 UTC

Yıldırım Tespit Sistemi ürünleri, sistemin izlediği yolu göstermesi açısından son derece faydalı ürünler sağlamaktadır. 24 saatlik birleştirilmiş hücre görüntülerinden Doğu Karadeniz sahillerinde sadece Hopa ve civarının yağışlardan ve bu sistemden en fazla etkilenen alan olduğu görülmektedir.



Şekil-6 Son 24 saatlik birleştirilmiş hücresel görüntüler 24.08.2015 12:30 UTC

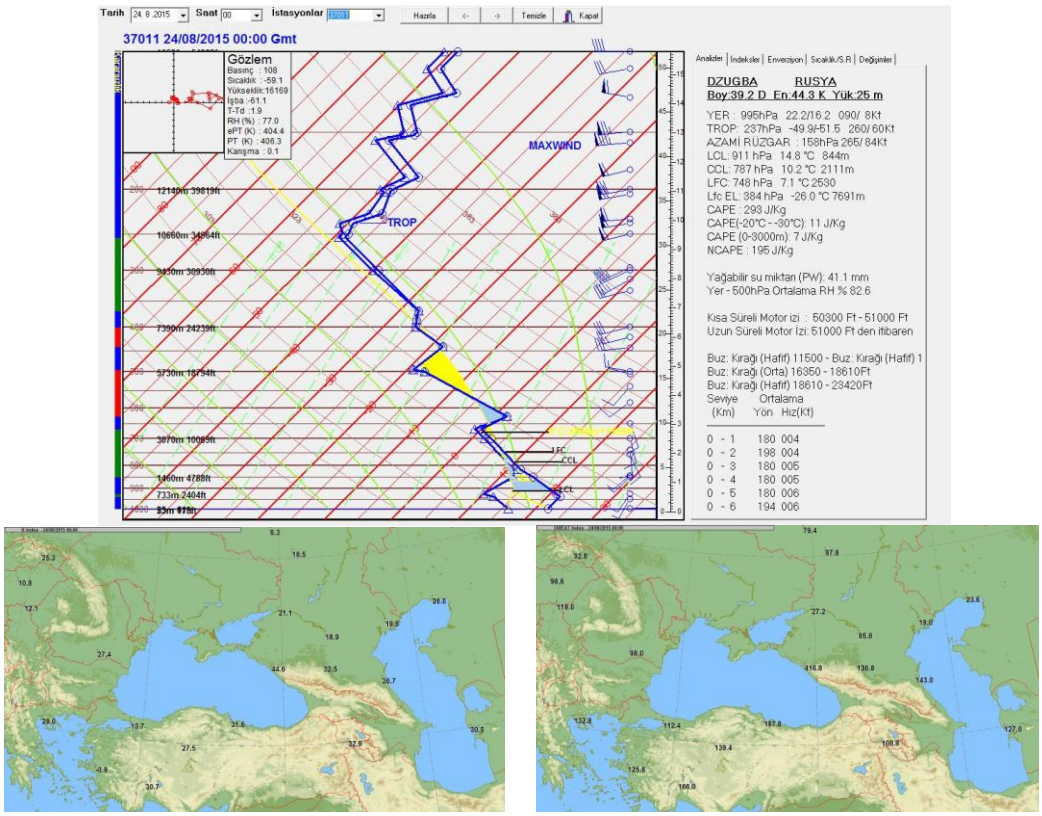
Yağışların en yoğun olduğu 08:00-11:00 UTC saatlerde ise konvektif faaliyet sonucu oluşan yıldırım ve şimşeklerin bulunduğu alan daha net olarak ortaya çıkmaktadır. Hopa ve yakın yerleşim merkezlerinde yağışların devam ettiği (yaklaşık 12 saat) sürede gökgürültülü sağanak yağışlar kayıt edilmiştir, dolayısıyla YTS sisteminde olay daha somut olarak görülebilmektedir (Şekil-6).

5. KARARSIZLIK ANALİZİ

Sinoptik ölçekte şiddetli yağışların oluşumunu sağlayan en önemli etkenler; nem, kararsızlık, rüzgâr shaeri ve diğer parametrelerdir. Diğer parametreler içerinde, K indeksi, PW (Precipitable Water), bulutsuz alandaki nispi nem, yer–500 hPa seviyesi arasında nispi nem ve theta-e (Equivalent Potential Temperature) en önemli olanlardır. Bu parametrelerdeki değerlerin yükselmesi, yağış miktarının artmasını sağlamaktadır (Paddock 2008).

24 Ağustos 2015 tarihinde, Doğu Karadeniz bölgesinde kuvvetli yağış oluşumunu destekleyen kararsızlık parametreleri arasında sıcaklık, nem ve rüzgârın öne çıktığı görülmektedir. Kararsızlık indekslerinin çoğunda temel değişkenler sıcaklık ve nemdir.

Bölge genelinde en yakın radisonde merkezleri, Samsun (17030) ve Dzugba (37011) dır. Samsun'da yağış miktarı az olduğu için doğal olarak değerler düşük çıkmaktadır. Dzugba merkez değerleri ise son derece yüksektir. Bu merkeze ait ayrıntılı yağış bilgileri elde edilemedi, ancak radar görüntülerinden bu bölgenin de şiddetli yağış aldığı söylenebilir.

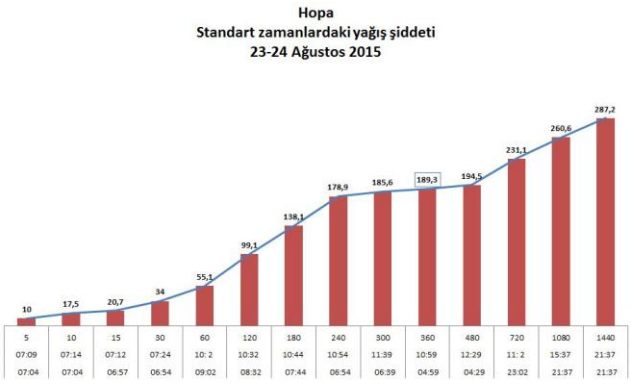


Şekil-7 Temp diyagramı analiz (37011) ile K ve Sweat indeksi değerleri

6. YAĞIŞ ANALİZİ

24 Ağustos 2015 günü, son 24 saat içerisinde Hopa ilçesinde kaydedilen saatlik yağış miktarları; saat 07:00 ila 11:00 UTC arasında 37-55 mm arasında değişmekte, en yüksek yağış miktarları ise, saat 09:00-10:00 aralığında 55,1 mm olarak ölçülmüştür (Şekil-9).

Süre (dk)	Miktar (mm)	Yer	Tarih
5 DK	50,5	HOPA	07.07.1988
10 DK.	60.6	HOPA	08.07.1988
15 DK.	70.7	HOPA	09.07.1988
30 DK.	90.9	HOPA	10.07.1988
1 SA.	131.0	ANTALYA	03.11.1995
2 SA.	180.5	ANTALYA	04.11.1995
3 SA.	230.9	MARMARİS	11.12.1992
4 SA.	332.3	ANTALYA	04.11.1995
5 SA.	374.3	ANTALYA	04.11.1995
6 SA.	390.3	ANTALYA	05.11.1995
8 SA.	410.4	ANTALYA	06.11.1995
12 SA.	428.1	ANTALYA	07.11.1995
18 SA.	464.8	MARMARİS	10-11.12.1992
24 SA.	466.3	MARMARİS	10-11.12.1992



Şekil-8 Türkiye uzun yıllar ekstrem ve Hopa'da 24.08.2015 tarihinde standart zamanlarda ölçülen yağış miktarı

Yağış şiddet tekerrür analizlere göre, bölgede meydana gelen bu yağışların, 10 ila 100 yılda bir görülebilecek şiddette yağışlar olduğu görülmektedir. Afet bölgesine düşen yağış, (4 saatten 18 saate kadar olanları) ekstrem bir yağıştır ve daha önce bu kadar büyüklükte bir yağış kaydedilmemiştir.

Hopa, Marmaris ve Antalya Türkiye'nin ekstrem yağışlarına sahip bölgelerdir. Hopa'da özellikle kısa süreli yağışlar (5 dakikadan yarım saate kadar süreli) ekstremdir. 24 Ağustos 2015 Tarihinde bölge üzerindeki yağış uzun süreli olmuş ve bu afetin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu çalışmada topoğrafik şartlar, toprak yapısı ve yapılaşma gibi bu afete doğrudan etki eden olaylar çalışmaya dahil edilmemiştir.



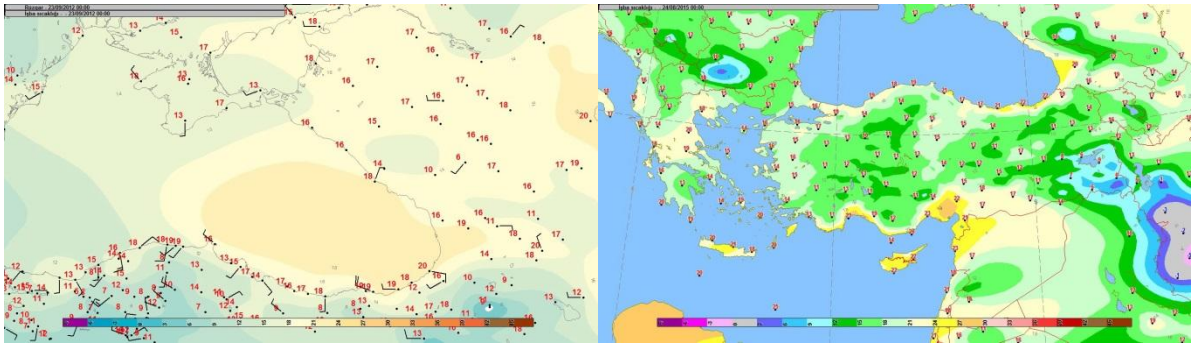
Şekil-9 Türkiye ve Hopa'da görülen ekstrem yağışlar ekstrem yağışlar

7 Temmuz 1988 tarihinde Hopa'ya 24 saatte 170,4 mm yağış düştü, bu tarihte kaydedilen Hopa'ya ait 5 dakikadan 30 dakikaya kadar standart zamanlardaki yağış miktarı ise halen Türkiye'nin ekstrem yağış rekorudur.

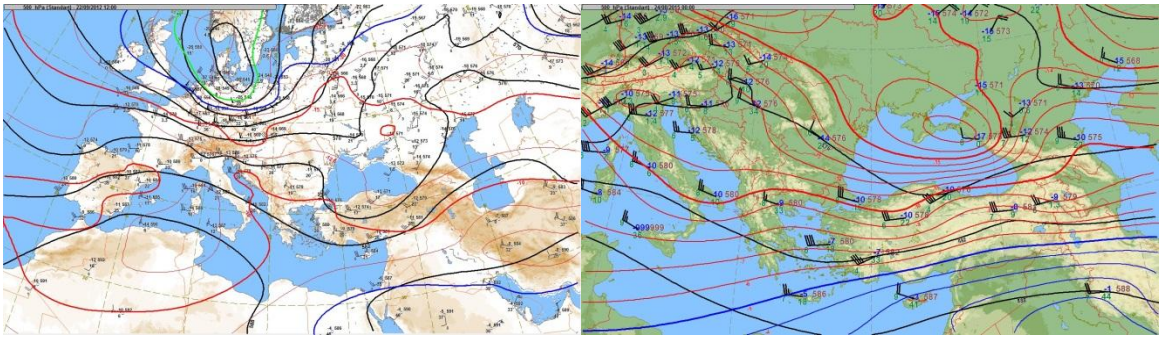
23 Eylül 2012 tarihinde ise Hopa'ya 24 saatte 340,5 mm yağış düştü. Bu yağışların 8 saatten 24 saate kadar standart sürelerdeki yağış miktarı ekstremdi. Bu tarihteki 24 saatlik yağış miktarı daha fazla olmasına rağmen can kaybı olmamış ve daha az maddi hasar meydana gelmiştir. Bunun en önemli nedeni yağışın gün içerisinde düzenli dağılması ve son 13 günde bölge genelinde yağış olmamasıdır.

23 Eylül 2012 ile 24 Ağustos 2015 tarihlerinde bölge üzerinde benzer sinoptik şartlar vardır. Ancak en büyük benzerlik her iki sistem içinde işba sıcaklığı değerinin yüksek olmasıdır. İşba

sıcaklıkları 20-22 derece arasında değişmektedir. Yağışı oluşturan ve devamını destekleyen en önemli parametrelerden birisi yeterli nemin olmasıdır (Şekil 11-12)



Şekil-10 İşba sıcaklığı, 23 Eylül 2012 00:00 UTC(sol), 24 Ağustos 2015 00:00 (sağ)



Şekil-11 500 Hpa analiz, 23 Eylül 2012 00:00 UTC(sol), 24 Ağustos 2015 00:00 (sağ)

7.METEOROLOJİK UYARI VE MEDYA YANSIMASI

Tarih : 23.08.2015	Saat : 12:00	Uyarı No : 0238	Uyarı Kodu: Normal
Uyarı Yapan Merkez	Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü		
Genel Başlık	Doğu Karadeniz Kıyıları ve Artvin'de Kuvvetli Yağış Bekleniyor!		
Beklenen Hadise	Sağanak Yağış		
Hadisenin Şiddeti	Kuvvetli Yağış		
Beklendiği Yer	Bu gece ve yarın (24.08.2015 Pazartesi Günü), Doğu Karadeniz'de görülecek olan sağanak ve gök gürültülü sağanak yağışların; Giresun ve Trabzon'un batı ilçelerinde kuvvetli (21-50 kg/m2), Trabzon'un doğusu, Rize ve Artvin çevrelerinde çok kuvvetli ve şiddetli (51-100 kg/m2) olması beklendiğinden meydana gelebilecek olumsuzluklara (ani sel, su baskını, yıldırım, heyelan riski v.b.) karşı vatandaşların ve ilgililerin dikkatli ve tedbirli olmaları gerekmektedir.		
Geçerlilik Periyodu	24.08.2015 00.00 - 23.59 TSİ		

Şekil-12 Meteorolojik uyarı

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uyarı Merkezi tarafından, olaydan yaklaşık 12 saat önce son derece önemli ve tutarlı bir uyarı yayınlanmış, günlük raporlarda tekrar edilmiştir.





Şekil-13 Hopa'da görülen sel felaketinde 11 vatandaşımız hayatını kaybetti, büyük oranda maddi hasar meydana gelmiştir.

8 SONUÇLAR

24 Ağustos 2015 tarihinde, Hopa'da ekstrem yağışlar kaydedilmiştir. Afet hem sel hem de toprak ve kaya parçalarının sürüklenmesiyle meydana geldi. 8 Vatandaşımız hayatını kaybetti, 3 vatandaşımız ise kayboldu.

Hopa'nın aylık yağış miktarı Ağustos 2015' de 535.2 mm olarak ölçülmüştür, bu yağış 1988 yılında aylık 588,9 mm olarak ölçülmüş yağıştan sonra ikinci en yüksek yağıştır. Yapılan ölçümlere göre Hopa'da 24 Ağustos 2015 tarihinde kaydedilen 24 saatlik yağış miktarı 287.2 mm' dir.

Doğu Karadeniz Bölgesi sürekli olarak batılı akışların etkisine maruz kalmıştır. Bu alanın orografik koşulları düşünüldüğü zaman, Türkiye'nin yağış potansiyeli en yüksek bölgesidir.

Etkili yağış nedeniyle Hopa'da 71 kilometrekarelik bir havzada yağışın denize ulaşamaması ve dere yataklarının taşması nedeniyle sel ve toprak kayması oluşmuştur. Yapılan meteorolojik uyarılar ve yağışın gündüz olması can ve mal kayıplarını en aza indirdi. Hopa'da oluşan afet sonucunda 6 bina yıkıldı. 17'si ağır, 11'i orta derecede olmak üzere toplamda 28 bina hasar gördü. 24 bina için tahliye kararı çıkartıldı. 8 vatandaşımız hayatını kaybetti, 3 kişi kayıp ve 27 kişi yaralandı.

Taşkın ve sellerin oluşumunu sağlayan birinci etken şiddetli yağışlardır. Can ve mal kaybının en aza indirilebilmesi için şiddetli yağışların önceden tahmin edilebilmesi çok önemlidir. Bunun için erken uyarı sistemlerinin, yerel ekstrem yağışları tespit edecek ölçüde havzalar dikkate alınarak geliştirilmesi gerekmektedir. Çünkü, sele yol açabilecek şiddetli yağışlar çok lokal alanlar da ve ekstrem değerlerde görülmektedir.

Ülkemizde şiddetli yağışlara neden olabilecek hava modellerinin iyi bilinmesi ve takibi çok önemlidir. Yer ve yüksek seviye harita analizlerinin periyodik ve alansal olarak, uydu, radar ve YTS ile destekli olarak yapılması gerekmektedir. Ayrıca, kesit analizleri (cross-section), meteogramlarda olduğu gibi rutin hale getirilmelidir.

KAYNAKLAR

[1] J. Younis, S. Anquetin, and J. Thielen, 2008, The benefit of high-resolution operational weather forecasts for flash flood warning, Papers published in *Hydrology and Earth System*

[2] Examining preconvective heavy rainfall environments utilizing observational and model analysis proximity soundings**,** Michael J. Paddock and Charles E. Graves Saint Louis University, St. Louis, Missouri -Jason T. Martinelli Creighton University, Omaha, Nebraska, 2008.

[3] Kömüşçü, A. Umran, Erkan, Ayhan, Çelik, Seyfullah., Analysis of Meteorological and Terrain Features Leading to the İzmir Flash Flood. Natural Hazards 18: 1–25, 1988.

[4] Çelik, S., Bacanlı, H., Görgeç, H., Yayvan M., Deniz A. "1–2 Kasım 2006 tarihlerinde Güneydoğu Anadolu'da meydana gelen taşkın ve sel afetinin meteorolojik açıdan incelenmesi". IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu,25-28 mart 2008, İstanbul.

[5] Çelik, S., Bacanlı, H., Görgeç, H., Yayvan M., Deniz, A. “16–18 Kasım 2007 tarihlerinde Tekirdağ ve Marmaris’de meydana gelen şiddetli yağışların sinoptik analizi”.IV.Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 25-28 mart 2008, İstanbul.

[6] Bacanlı, H., Çelik, S., Görgeç, H., Deniz A. “21-22 İle 27-28 Temmuz 2009 Tarihleri arasında Giresun ilinde meydana gelen sel felaketinin sinoptik açından incelenmesi”. II. Ulusal Taşkın Sempozyumu Afyonkarahisar, 22-24 Mart 2010

[7] mgm.gov.tr

[8] artvin.gov.tr

[9] weather.uwyo.edu

[10] arl.noaa.gov

[11] ecmwf.int

[12] eumetsat.int