I. METEOROLOJİK UZAKTAN ALGILAMA ÇALIŞTAYI

UZALMET 2013

BİLDİRİ KİTAPÇIĞI



uzalmet.mgm.gov.tr

İÇİNDEKİLER

BİLDİRİ BAŞLIĞI	YAZARLAR	Sayfa No
1-2 Ekim 2013 Tarihlerinde Güney Ege'de Yaşanan Kuvvetli Meteorolojik Hadiselerin Analizi	Oğuzhan KOLAY, Metehan BÜYÜKKAYA	1
7-8 Ağustos 2013'te Atakum (Samsun) İlçesinde Yaşanan Ani Sel ve Su Baskını Afetlerinin Yönetiminde Meteorolojik Radar Görüntülerinin Kullanımı	Aytek ERSAN, Kıvanç ÇALIŞKAN	33
18 Temmuz 2013 tarihinde Hatay'ın Dörtyol İlçesinde Meydana Gelen Sel Felaketinin Uydu ve Radar Görüntüleri ile RAOB ve Sayısal Model Çıktılarını Kullanarak Teknik Analizi	Ümit TURGUT	48
Nowcasting Uyarılarının Zamanlamasında Radar Gözlemlerinin Önemi	Barış ÖZGÜN, M. Uğur YILDIRIM	68
Radar Görüntülerinde Oraj Hücrelerinin Analizi ve İzlenmesi	Cüneyt GEÇER, Mert ULUYAZI	83
16 Haziran 2011 Tarihinde Ankara ve Çevresinde Gerçekleşen Dolu Yağışının Radar ve Uydu Görüntüleriyle Meteorolojik Analizi	Serkan TEPE, Ayhan KAPTAN	92
Kar Yağışı Anında Oluşan Gök Gürültüsünün Uydu ve Radar Ürünleri ile Analizi	Öznur ÇANLI, Destan KURNAZ, Metehan BÜYÜKKAYA	111
"Tc-Sas Kazası"nın Uzaktan Algılama Ürünleri Kullanılarak İncelemesi	Levent YALÇIN, Hüseyin Yüksel ÖZALP, Melik Ahmet TAŞTAN	118
Antalya (Orta Akdeniz Suları) Havzasında Karla Kaplı Alanların Değişimlerinin İncelenmesi	Ömer Faruk KAYA, Murat GÜLER	130
Türkiye İçin Kar Örtüsü Trend Analizinin IMS (Interaktif Çok Sensörlü Kar ve Buz Haritalama Sistemi) Verisi ile Yapılması	Ahmet Emre TEKELİ, İbrahim SÖNMEZ, Erdem ERDİ	150
Meteoroloji Radarları Veri Kalitesinin Yükseltilmesi	Kurtuluş ÖZTÜRK, Mehmet ZEYBEK	160
Uydu Verisi ile Üretilen Yağışların Değerlendirilmesi ve Hidrolojik Tahmin Amaçlı Kullanımları	İsmail YÜCEL, Alper Önen	177
Bitki Gelişiminin Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Belirlenmesi ve Analizi	Sezel KARAYUSUFOĞLU UYSAL, Levent ŞAYLAN, Barış ÇALDAĞ	189
Türkiye'deki Yer Gözlemleri Kullanılarak MSG Yangın Gözlem Ürününün Validasyonu	Murat ARSLAN, Fatih DEMİR, Erdem ERDİ, İbrahim SÖNMEZ, Ahmet Emre TEKELİ	198

Anadolu Yarımadasında MODIS Verisi ile Toz Fırtınası Gözlemi	Hakkı BALTACI, E. Günseli ÖZGÜL	210
İstanbul'da BLSA (Savrulan Kum)'un ve Epizodik PM_{10} Konsantrasyonlarının Sinoptik Analizi	E. Tuncay ÖZDEMİR, İsmail SEZEN, Bahtiyar EFE, Ali DENİZ	220
Uzaktan Algılamada Toz Taşınımı Analizi	Kahraman OĞUZ, Cihan DÜNDAR, Muhammet Ali PEKİN	238
Ankara, İzmir, Burdur ve Adıyaman Üzerinde Toplam Ozon Değişkenliğinin Uydu Verilerinden Belirlenmesi ve Ankara İçin Uydu Verisi ile Yersel Verinin Karşılaştırılması	Nihal AKTAŞ, Ahmet ÖZTOPAL, Erdem ERDİ, Yılmaz AÇAR, Mithat EKİCİ, Serpil YAĞAN	249
Deniz Etkisiyle Oluşan Kar Yağışlarının Uzaktan Algılama Ürünleri Kullanılarak İncelenmesi	Melik Ahmet TAŞTAN, Ayhan ERDOĞAN	262
Uydu Ve Yer Kaynaklı Meteorolojik Değişkenlerle Kısa Vadeli Yağış Modellemesi İçin Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı	Ahmet ÖZTOPAL, Zekai ŞEN	275
Erzurum Havaalanında Sis Oluşum Nedenleri ve Bu Soruna Çözüm Aranması	Gülru MADAN	290
Sis Tahmininde Uydu Görüntülerinin Kullanımı	Mehmet ÜNLÜER, Abdullah MACİT, İlker KOÇ	312
Yüksek Frekanslı (HF) Deniz Radarları ve Türkiye Kıyılarında Kullanımı	Cem DALGÜN	329
EUMETSAT Verilerinin İşletim Sistemi Bağımsız Yorumlanması ve Görüntülenmesi	Mohammad SHAMEONI NIAEI, Yücel KILIÇ	347
METCAP+: Gözlem, Uydu Verisi, SAF Ürünleri, Sayısal Hava Tahminlerinin Aynı Ekranda Analiz Edilmesinin Önemi	Kemal DOKUYUCU	356
Yağışın Dağılımında Şehir Etkisi: Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yöntemleri ile Bir Araştırma Ankara Örneği	Mesut DEMİRCAN, İhsan ÇİÇEK, Murat ARSLAN, Volkan C. DARENDE	364

1-2 EKİM 2013 TARİHLERİNDE GÜNEY EGE'DE YAŞANAN KUVVETLİ METEOROLOJİK HADİSELERİN 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

Eylül ve Ekim ayları Orta Akdeniz Siklonlarının faaliyetlerine başlaması açısından yüksek önem arz etmektedir. Bu çalışmada 1 ve 2 Ekim 2013 tarihlerinde İzmir – Antalya arasında kalan bölgede yaşanan kuvvetli meteorolojik hadiselerin uydu ve radar ürünleri yardımı ile analizi yapılmıştır. Çalışmanın ilk kısmında, yaşanan hadiseler otomatik istasyon verileri kullanılarak incelenmiş, aktüel kartlar, temp diyagramları, sıcaklık ve basınç parametreleri yardımı ile hadiselerin analizi yapılmıştır. İkinci kısımda, uydu görüntüleri ve RGB ürünleri incelenmiştir. Üçüncü ve son kısımda ise İzmir ve Muğla radarlarından elde edilen ürünler kullanılarak hadiseler analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler — fırtına; kuvvetli yağış; uydu ve radar ürünleri.

1. GİRİŞ

Orta Akdeniz Siklonları, genel olarak, Eylül ayının ikinci haftasından itibaren Cenova Körfezi, Adriyatik ve Ege Denizi üzerinde oluşmaya başlamaktadır. Bu siklonlar, deniz yüzey sıcaklığının kuzey enlemlere oranla yüksek olması ve yoğun su içermeleri sebebiyle fazlasıyla kararsız

durumdadır. Rotaları genel olarak güneybatı-kuzeydoğu, batı-doğu, kuzeybatı-güneydoğu şeklindedir. Bu sebeple yurdumuza ilk temas ettiği noktalar, çoğunlukla Güney Ege ve Batı Akdeniz Bölümleridir. İlk karşılaşma tarihlerinde bölgenin ortalama sıcaklıkları 23-26°, azami sıcaklıları 35-40°, 500 hPa sıcaklıkları ise (-7°)- (-12°) civarındadır. Bu sıcaklık farklılıkları zaten kararsız olan siklonların daha da kararsız hale geçmelerine ve kuvvetli hücrelerin oluşumu için mükemmel hale gelmelerine sebep olmaktadır.

2. AKTÜEL HARİTA VE VERİLERİN ANALİZİ

30 Eylül'de Fransa ve İtalya üzerinden Adriyatik Denizi'ne inen 1002 hPa'lık alçak basınç 1 Ekim'de derinleşerek Ege Denizi üzerinde 999 hPa değerine ulaşmış ve günün ilk saatleri ile birlikte İzmir'in kuzey kesimlerinden itibaren etkili olmaya başlamıştır. İnceleme bölgesinde ilk yağışlar sabah saatlerinden itibaren görülmüş, etkili yağışlar ise öğle saatlerinde başlayarak 2 Ekim sabah saatlerinde kadar devam etmiştir.

2.1. Otomatik İstasyon Verileri

2.1.1. Söke

Tablo 1: Otomatik İstasyon Verileri (Söke)

Tarih	Zaman	Hava Sıcaklığı (ºC)	Aktüel H. Basıncı (hPa)	Yağış Miktarı (mm)	Ort. Rüzgar Yönü (º)	Ort. Rüzgar Hızı (knots)	Maks. Rüzgar Yönü (º)	Maks. Rüzgar Hızı (knots)
01.10.2013	08:00	24,7	1003,5	0,0	212	7,6	195	8,2
01.10.2013	08:10	24,7	1003,1	0,0	226	4,7	198	9,3
01.10.2013	08:20	25,2	1003,1	0,0	204	4,9	196	8,9
01.10.2013	08:30	25,4	1002,6	0,0	207	5,2	211	11,7
01.10.2013	08:40	26,1	1002,5	0,0	205	4,9	219	9,7
01.10.2013	08:50	26,2	1002,5	0,0	197	7,2	219	9,7
01.10.2013	09:00	26,0	1002,6	0,0	185	5,2	198	9,9
01.10.2013	09:10	25,6	1002,2	0,0	174	5,8	220	9,3
01.10.2013	09:20	25,4	1002,0	0,0	176	5,2	135	8,6
01.10.2013	09:30	25,5	1001,7	0,0	171	4,5	162	8,9
01.10.2013	09:40	25,4	1001,2	0,0	170	3,9	113	13,4
01.10.2013	09:50	25,4	1000,7	0,0	171	5,8	175	29,5
01.10.2013	10:00	25,3	1001,6	0,0	182	8,4	242	29,4
01.10.2013	10:10	23,9	1005,2	1,6	226	9,5	238	17,7
01.10.2013	10:20	17,7	1003,8	10,6	199	13,4	198	11,3
01.10.2013	10:30	17,0	1002,5	2,8	233	8,2	243	11,3
01.10.2013	10:40	17,0	1002,3	0,8	179	6,2	162	7,6
01.10.2013	10:50	16,9	1002,9	0,0	170	4,9	161	1,9
01.10.2013	11:00	17,2	1002,7	0,0	253	3,9	241	1,9

2.1.2. Didim

Tablo 2: Otomatik İstasyon Verileri (Didim)

Tarih	Zaman	Hava Sıcaklığı (ºC)	Aktüel H. Basıncı (hPa)	Yağış Miktarı (mm)	Ort. Rüzgar Yönü (º)	Ort. Rüzgar Hızı (knots)	Maks. Rüzgar Yönü (º)	Maks. Rüzgar Hızı (knots)
01.10.2013	10:00	24,8	998,7	0,0	177	12,4	169	17,7
01.10.2013	10:10	24,3	999,3	0,0	188	10,1	191	16,7
01.10.2013	10:20	20,4	1000,8	6,0	286	9,7	309	17,9
01.10.2013	10:30	18,2	1000,0	15,0	273	11,3	286	21,2
01.10.2013	10:40	18,0	1000,1	11,2	228	6,2	163	9,7
01.10.2013	10:50	18,1	1000,1	2,4	167	6,2	186	11,1
01.10.2013	11:00	18,5	999,4	0,6	159	7,0	176	13,2
01.10.2013	11:10	18,7	999,1	0,0	152	3,9	142	5,4
01.10.2013	11:20	18,9	999,0	0,0	158	3,5	182	7,8
01.10.2013	11:30	19,0	998,8	0,0	287	1,6	310	2,7
01.10.2013	11:40	19,2	998,9	0,0	335	1,0	194	1,6
01.10.2013	11:50	19,7	999,0	0,0	131	3,3	104	5,6
01.10.2013	12:00	19,7	999,0	0,0	94	4,3	101	7,6
01.10.2013	12:10	19,9	999,2	0,0	97	4,1	103	5,2
01.10.2013	12:20	20,0	999,1	0,0	105	4,3	101	6,4
01.10.2013	12:30	20,1	998,9	0,0	110	3,5	120	5,2
01.10.2013	12:40	20,3	998,8	0,0	155	3,9	149	6,2
01.10.2013	12:50	20,7	998,6	0,0	172	3,3	179	4,7
01.10.2013	13:00	20,9	998,8	0,0	176	5,8	187	8,4
01.10.2013	13:10	21,2	998,5	0,0	184	5,8	191	8,7
01.10.2013	13:20	21,8	998,6	0,0	193	6,2	176	10,1
01.10.2013	13:30	22,3	998,6	0,0	199	5,2	210	9,3
01.10.2013	13:40	22,4	998,5	0,0	196	6,4	200	10,7
01.10.2013	13:50	22,2	998,5	0,0	188	6,6	197	10,3
01.10.2013	14:00	22,3	998,4	0,0	183	5,4	180	7,6
01.10.2013	14:10	22,4	998,4	0,0	172	4,7	173	7,2
01.10.2013	14:20	22,3	998,3	0,0	170	4,7	209	6,8
01.10.2013	14:30	22,3	998,6	0,0	175	4,9	163	7,2
01.10.2013	14:40	22,3	998,8	0,0	178	3,1	182	5,1
01.10.2013	14:50	22,4	998,7	0,0	153	2,9	173	4,5
01.10.2013	15:00	22,4	998,6	0,0	168	3,5	170	5,4
01.10.2013	15:10	22,4	998,4	0,4	142	2,5	167	5,4
01.10.2013	15:20	22,1	998,3	0,6	50	1,4	52	2,1
01.10.2013	15:30	22,0	998,9	0,8	4	1,9	299	4,1
01.10.2013	15:40	21,6	998,9	8,6	263	2,7	321	4,1
01.10.2013	15:50	20,6	998,2	1,8	129	6,6	107	11,1
01.10.2013	16:00	20,5	998,7	0,0	336	4,5	127	8,4
01.10.2013	16:10	20,4	999,0	0,4	149	5,2	149	9,5
01.10.2013	16:20	19,8	999,1	1,4	202	4,3	205	7,0

2.1.3. Milas

Tablo 3: Otomatik İstasyon Verileri (Milas)

Tarih	Zaman	Hava Sıcaklığı (ºC)	Aktüel H. Basıncı (hPa)	Yağış Miktarı (mm)	Ort. Rüzgar Yönü (º)	Ort. Rüzgar Hızı (knots)	Maks. Rüzgar Yönü (º)	Maks. Rüzgar Hızı (knots)
01.10.2013	11:00	25,3	995,7	0,0	180	7,4	184	14,6
01.10.2013	11:10	24,8	995,8	0,0	172	6,2	146	16,5
01.10.2013	11:20	24,6	995,8	0,0	320	3,3	209	9,7
01.10.2013	11:30	20,0	998,9	16,2	323	8,6	327	24,3
01.10.2013	11:40	18,6	998,4	15,0	279	5,1	256	14,2
01.10.2013	11:50	18,5	997,7	6,8	159	3,1	234	6,6
01.10.2013	12:00	18,5	997,4	5,2	141	3,3	200	7,2
01.10.2013	12:10	17,9	997,4	0,8	42	2,9	122	8,9
01.10.2013	12:20	18,0	997,4	1,0	334	2,1	28	5,4
01.10.2013	12:30	18,2	997,0	1,2	19	2,7	35	5,8
01.10.2013	12:40	18,7	996,2	0,4	192	2,1	143	4,7
01.10.2013	12:50	19,0	996,5	0,0	293	1,9	254	5,4
01.10.2013	13:00	19,1	997,8	0,0	304	2,5	310	5,2
01.10.2013	13:10	19,1	997,3	0,0	46	1,9	123	4,1
01.10.2013	13:20	19,1	996,9	0,0	297	1,6	293	3,1
01.10.2013	13:30	19,3	996,6	0,0	353	1,2	307	2,9
01.10.2013	13:40	19,6	996,5	0,0	44	1,6	67	3,9
01.10.2013	13:50	19,6	996,7	0,0	58	2,3	68	4,7
01.10.2013	14:00	19,8	996,8	0,0	353	1,4	45	3,9
01.10.2013	14:10	19,8	996,8	0,0	340	1,6	321	3,5
01.10.2013	14:20	19,8	996,9	0,0	337	1,6	316	3,1
01.10.2013	14:30	19,8	996,7	0,0	330	1,2	312	2,3
01.10.2013	14:40	20,0	996,5	0,0	107	1,4	90	3,7
01.10.2013	14:50	20,2	996,5	0,0	153	1,6	97	3,9
01.10.2013	15:00	20,0	996,9	0,0	278	1,4	224	2,3
01.10.2013	15:10	20,0	996,5	0,0	8	1,2	32	2,1
01.10.2013	15:20	20,1	996,3	0,0	6	1,2	28	2,3
01.10.2013	15:30	20,2	996,1	0,0	357	1,4	52	2,7
01.10.2013	15:40	20,3	996,2	0,0	315	1,6	38	3,1
01.10.2013	15:50	20,1	996,2	0,0	205	1,7	165	3,7
01.10.2013	16:00	19,9	996,5	0,0	209	1,7	217	4,9
01.10.2013	16:10	19,9	996,7	1,4	228	1,7	189	3,5
01.10.2013	16:20	19,9	996,6	6,0	179	2,5	164	5,2
01.10.2013	16:30	17,6	996,6	20,0	228	7,6	1	19,8
01.10.2013	16:40	17,9	997,0	5,4	284	2,1	273	8,4
01.10.2013	16:50	18,3	997,7	0,4	339	2,5	330	7,6
01.10.2013	17:00	17,5	996,9	9,0	232	3,5	1	8,9
01.10.2013	17:10	17,5	996,9	1,4	198	2,7	152	4,7
01.10.2013	17:20	17,6	997,0	0,4	204	2,9	204	5,6
01.10.2013	17:30	17,6	996,8	0,2	233	2,3	258	4,1
01.10.2013	17:40	17,6	996,8	0,0	213	1,2	234	2,3
01.10.2013	17:50	17,7	996,6	0,0	188	1,7	139	2,7
01.10.2013	18:00	17,6	996,5	0,2	209	1,6	233	3,1

2.1.4. Bodrum

Tablo 4: Otomatik İstasyon Verileri (Bodrum)

Tarih	Zaman	Hava Sıcaklığı (ºC)	Aktüel H. Basıncı (hPa)	Yağış Miktarı (mm)	Ort. Rüzgar Yönü (º)	Ort. Rüzgar Hızı (knots)	Maks. Rüzgar Yönü (º)	Maks. Rüzgar Hızı (knots)
01.10.2013	11:20	23,7	1000,9	4,0	193	12,2	187	23,3
01.10.2013	11:30	21,2	1001,1	14,2	202	12,8	206	33,6
01.10.2013	11:40	20,5	1001,1	0,4	327	4,3	231	9,3
01.10.2013	11:50	20,4	1001,0	0,0	28	2,7	2	5,2
01.10.2013	12:00	20,2	1001,4	0,6	339	2,1	176	8,9
01.10.2013	12:10	20,2	1001,2	1,0	179	6,6	161	12,4
01.10.2013	12:20	20,6	1001,3	0,0	195	8,4	178	21,4
01.10.2013	12:30	20,0	1001,1	0,2	179	14,2	188	24,5

2.1.5. Datça

Tablo 5: Otomatik İstasyon Verileri (Datça)

Tarih	Zaman	Hava Sıcaklığı (ºC)	Aktüel H. Basıncı (hPa)	Yağış Miktarı (mm)	Ort. Rüzgar Yönü (º)	Ort. Rüzgar Hızı (knots)	Maks. Rüzgar Yönü (º)	Maks. Rüzgar Hızı (knots)
02.10.2013	02:00	20,5	1000,4	0,0	248	2,1	246	2,7
02.10.2013	02:10	20,7	1000,6	0,0	285	1,9	287	3,1
02.10.2013	02:20	20,5	1000,7	0,0	281	1,7	279	3,3
02.10.2013	02:30	20,7	1000,7	1,6	303	4,3	328	5,4
02.10.2013	02:40	19,7	1000,4	4,2	315	6,4	322	8,6
02.10.2013	02:50	18,9	1000,7	15,0	302	10,9	273	19,6
02.10.2013	03:00	18,5	1000,4	3,8	44	9,1	60	17,1
02.10.2013	03:10	18,9	1000,5	0,0	53	3,3	67	6,0
02.10.2013	03:20	19,1	1000,5	0,2	273	3,1	238	5,6
02.10.2013	03:30	19,0	1000,7	0,0	297	2,9	276	4,3
02.10.2013	03:40	19,0	1000,7	0,0	310	4,3	325	5,4
02.10.2013	03:50	19,3	1000,5	0,0	301	2,7	317	4,3
02.10.2013	04:00	19,1	1000,7	0,0	277	1,7	271	2,9
02.10.2013	04:10	19,0	1000,8	0,0	277	1,6	274	2,1
02.10.2013	04:20	19,0	1000,9	0,0	295	1,9	301	2,5
02.10.2013	04:30	19,4	1000,9	0,0	17	1,7	49	5,6
02.10.2013	04:40	20,5	1000,9	0,0	92	8,7	98	14,2
02.10.2013	04:50	21,0	1001,1	0,0	96	12,8	94	15,7
02.10.2013	05:00	21,1	1001,5	0,0	91	12,6	95	15,6
02.10.2013	05:10	20,9	1001,7	0,0	56	8,4	63	11,5
02.10.2013	05:20	20,6	1001,9	0,0	9	6,0	347	11,3
02.10.2013	05:30	18,8	1002,3	2,2	333	8,6	309	15,7
02.10.2013	05:40	18,1	1002,7	9,2	330	15,7	315	26,8
02.10.2013	05:50	17,8	1002,7	3,2	357	7,8	13	17,7
02.10.2013	06:00	17,8	1002,9	1,8	12	6,2	1	12,8
02.10.2013	06:10	17,8	1003,2	0,0	4	5,4	341	9,5

2.1.6. Köyceğiz

Tablo 6: Otomatik İstasyon Verileri (Köyceğiz)

Tarih	Zaman	Hava Sıcaklığı (ºC)	Aktüel H. Basıncı (hPa)	Yağış Miktarı (mm)	Ort. Rüzgar Yönü (º)	Ort. Rüzgar Hızı (knots)	Maks. Rüzgar Yönü (º)	Maks. Rüzgar Hızı (knots)
01.10.2013	13:00	25,1	1001,6	0,0	149	8,9	167	15,7
01.10.2013	13:10	25,1	1001,6	0,0	141	11,9	128	20,6
01.10.2013	13:20	25	1004,1	0,0	160	10,5	145	19,6
01.10.2013	13:30	19	1005,1	10,0	324	10,7	301	30,7
01.10.2013	13:40	17,5	1004,8	17,2	40	7,8	54	23,3
01.10.2013	13:50	17,2	1005,2	12,2	19	12,2	5	28,4
01.10.2013	14:00	17,2	1003,2	19,4	348	8,7	30	18,9
01.10.2013	14:10	17,1	1002,9	17,4	4	8,2	297	21,8
01.10.2013	14:20	17,3	1003,2	1,8	73	5,1	99	11,5
01.10.2013	14:30	17,4	1002,8	1,4	47	2,9	47	5,8
01.10.2013	14:40	17,4	1002,5	2,2	33	5,2	36	10,3
01.10.2013	14:50	17,4	1002,5	0,8	38	5,4	33	9,1
01.10.2013	15:00	17,6	1002,1	0,2	55	3,7	18	7,2
01.10.2013	15:10	17,9	1001,6	1,2	97	3,5	95	6,2
01.10.2013	15:20	18,3	1000,7	2,6	36	6,6	34	10,9
01.10.2013	15:30	18,1	1001,6	0,4	322	7,8	317	19,6
01.10.2013	15:40	18,1	1000,7	3,4	359	7,2	30	18,7
01.10.2013	15:50	18,1	1002,2	7,4	277	4,7	262	11,1
01.10.2013	16:00	17,9	1001,4	15,0	1	8,2	23	17,1
01.10.2013	16:10	17,8	999,9	1,6	31	9,3	20	18,1
01.10.2013	16:20	18	1000,1	1,2	6	7,6	30	19,2
01.10.2013	16:30	18,3	1000,3	1,4	41	4,7	30	10,7
01.10.2013	16:40	18,3	1000,1	1,8	15	6,2	350	11,3
01.10.2013	16:50	18,4	1000,1	6,4	22	4,9	26	11,1
01.10.2013	17:00	18,5	999,7	0,4	56	3,3	71	8,7
01.10.2013	17:10	18,6	999,9	2,2	337	3,9	305	8,4
01.10.2013	17:20	18,8	1000,3	0,0	145	3,3	130	6,4
01.10.2013	17:30	18,8	1000	0,6	83	2,9	153	5,6
01.10.2013	17:40	18,9	1000,9	3,8	23	3,3	312	10,9
01.10.2013	17:50	19	1001,6	9,0	326	4,7	311	9,9
01.10.2013	18:00	18,4	1001,6	11,4	356	7,8	309	17,1
01.10.2013	18:10	18,3	1002,5	4,6	140	4,9	125	10,1
01.10.2013	18:20	17,6	1001,4	2,4	115	4,7	99	8,6
01.10.2013	18:30	17,3	1001,5	2,4	88	4,1	62	6,6
01.10.2013	18:40	17,4	1001,7	0,2	77	4,3	77	10,1
01.10.2013	18:50	17,5	1001,6	0,0	140	3,5	135	5,4
01.10.2013	19:00	17,6	1001,8	0,0	140	4,9	142	10,5
01.10.2013	19:10	17	1001,8	0,0	155	5,8	120	12,8
01.10.2013	19:20	16,8	1002	0,0	136	4,1	122	7,6
01.10.2013	19:30	16,6	1002,3	0,0	122	5,1	142	8,7

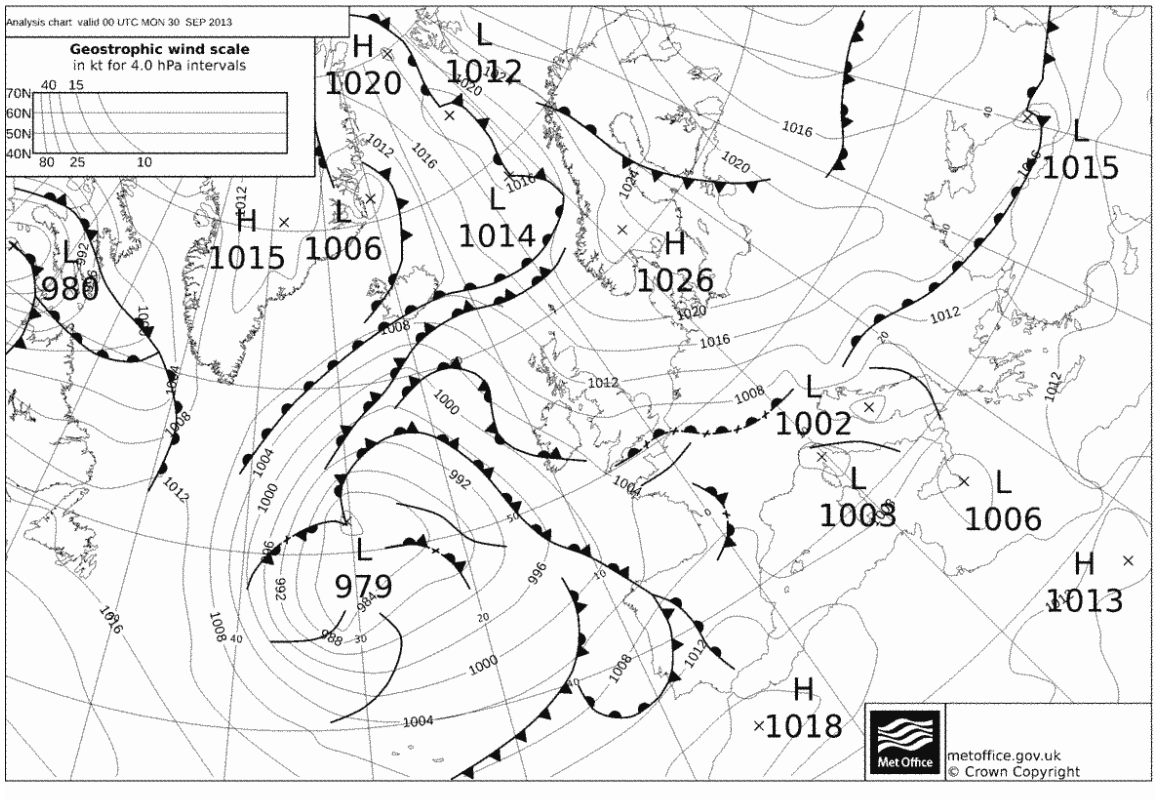
2.1.7. Marmaris

Tablo 7: Otomatik İstasyon Verileri (Marmaris)

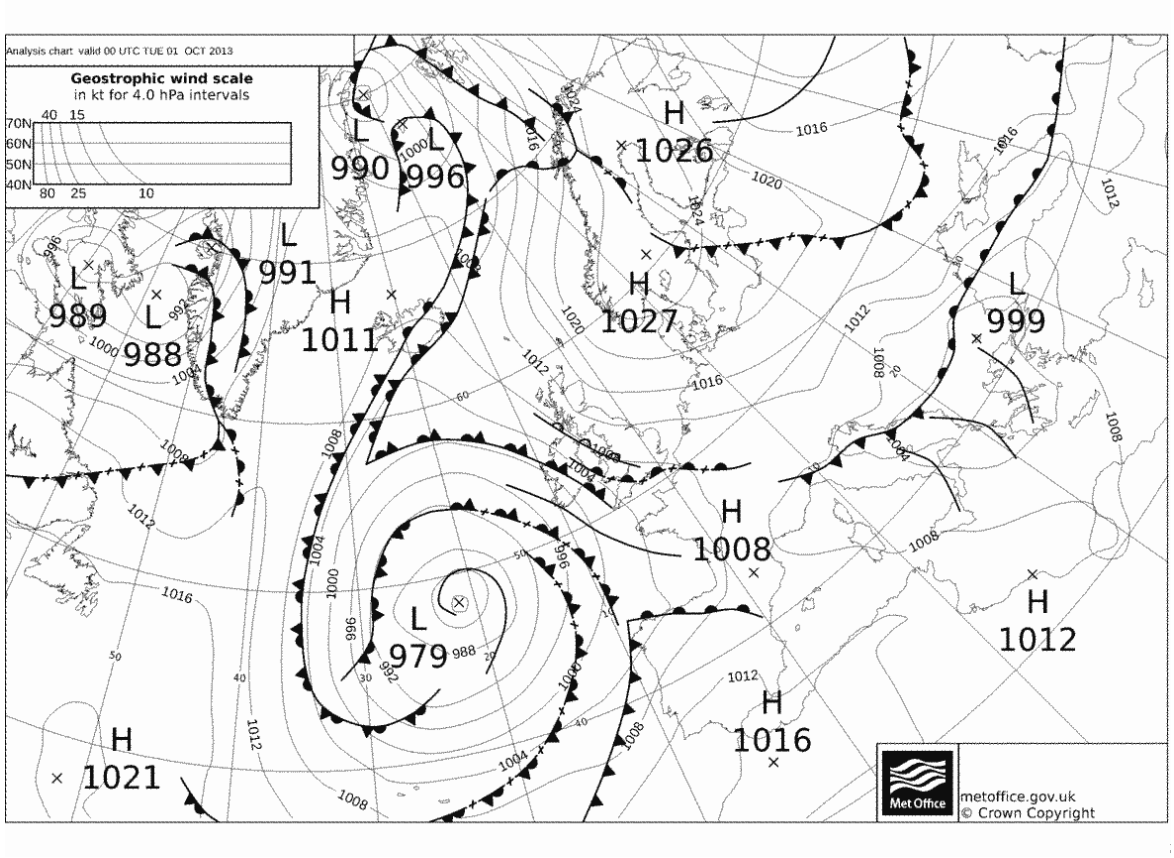
Tarih	Zaman	Hava Sıcaklığı (ºC)	Aktüel H. Basıncı (hPa)	Yağış Miktarı (mm)	Ort. Rüzgar Yönü (º)	Ort. Rüzgar Hızı (knots)	Maks. Rüzgar Yönü (º)	Maks. Rüzgar Hızı (knots)
01.10.2013	12:30	23,7	1001,5	0,0	194	6,6	183	16,5
01.10.2013	12:40	23,9	1001,1	0,2	186	7,8	171	20,0
01.10.2013	12:50	23,7	1003,6	1,2	221	7,2	172	21,6
01.10.2013	13:00	20,1	1002,9	14,4	304	7,8	295	22,9
01.10.2013	13:10	18,9	1001,9	3,0	295	3,9	283	10,5
01.10.2013	13:20	18,9	1001,4	0,0	307	3,7	276	7,6

2.2. Aktüel Haritalar

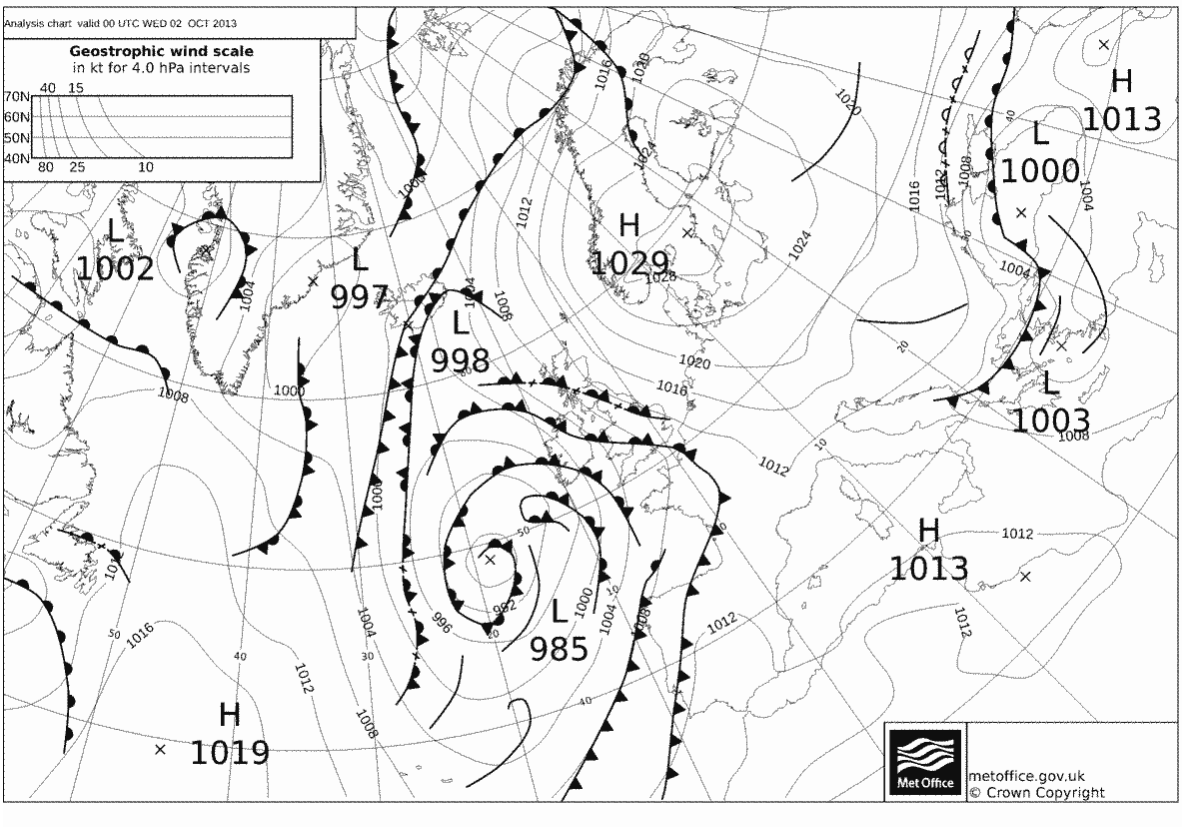
2.2.1. Yer Kartları



Şekil 1: *30 Eylül 2013 00Z Yer Kartı*.

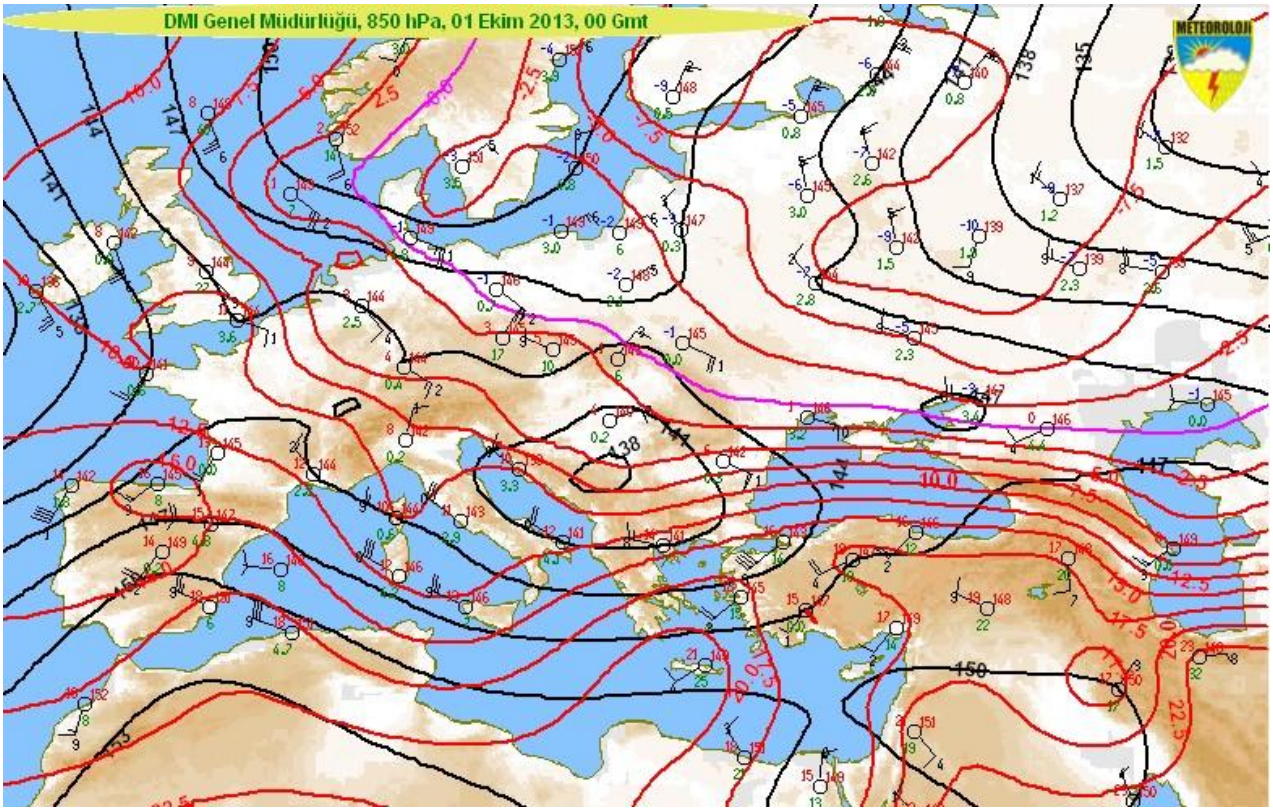


Şekil 2: *01 Ekim 2013 00Z Yer Kartı*.

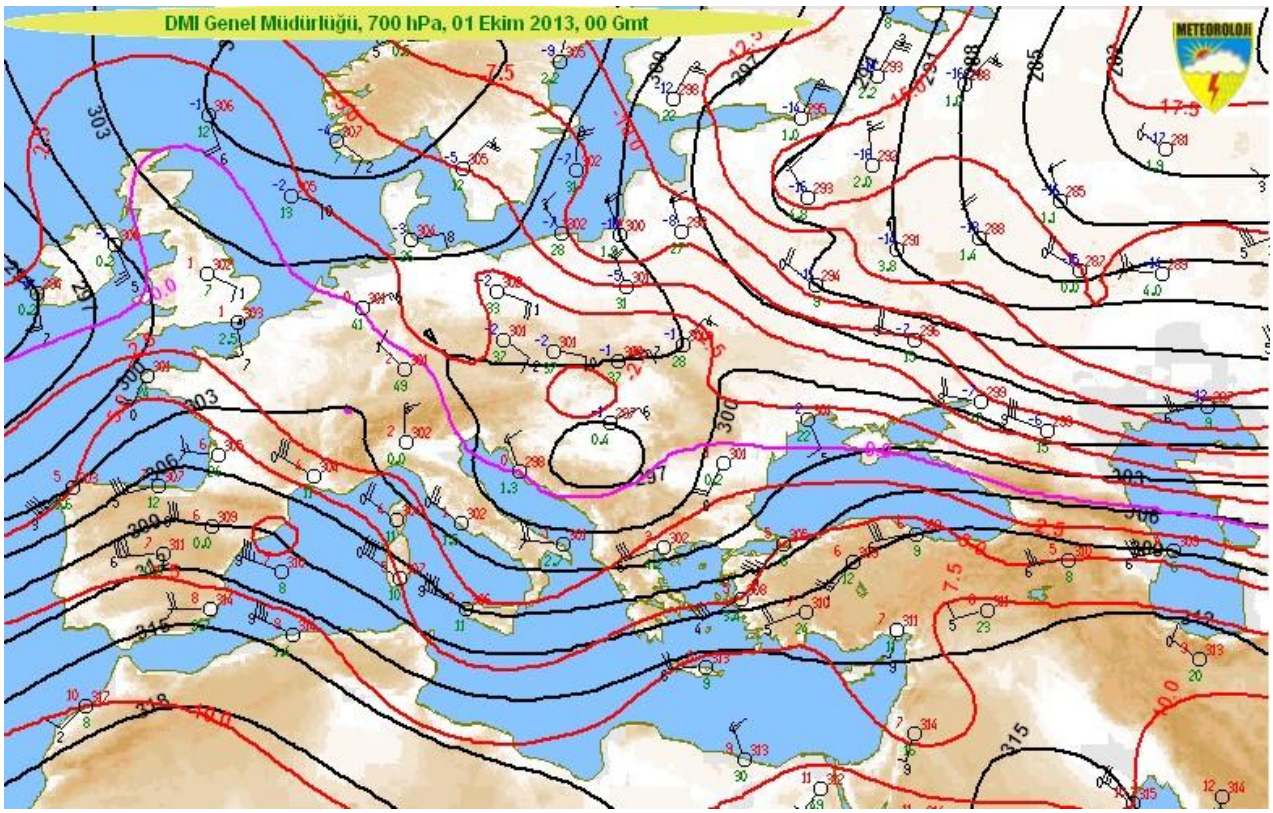


Şekil 3: *02 Ekim 2013 00Z Yer Kartı*.

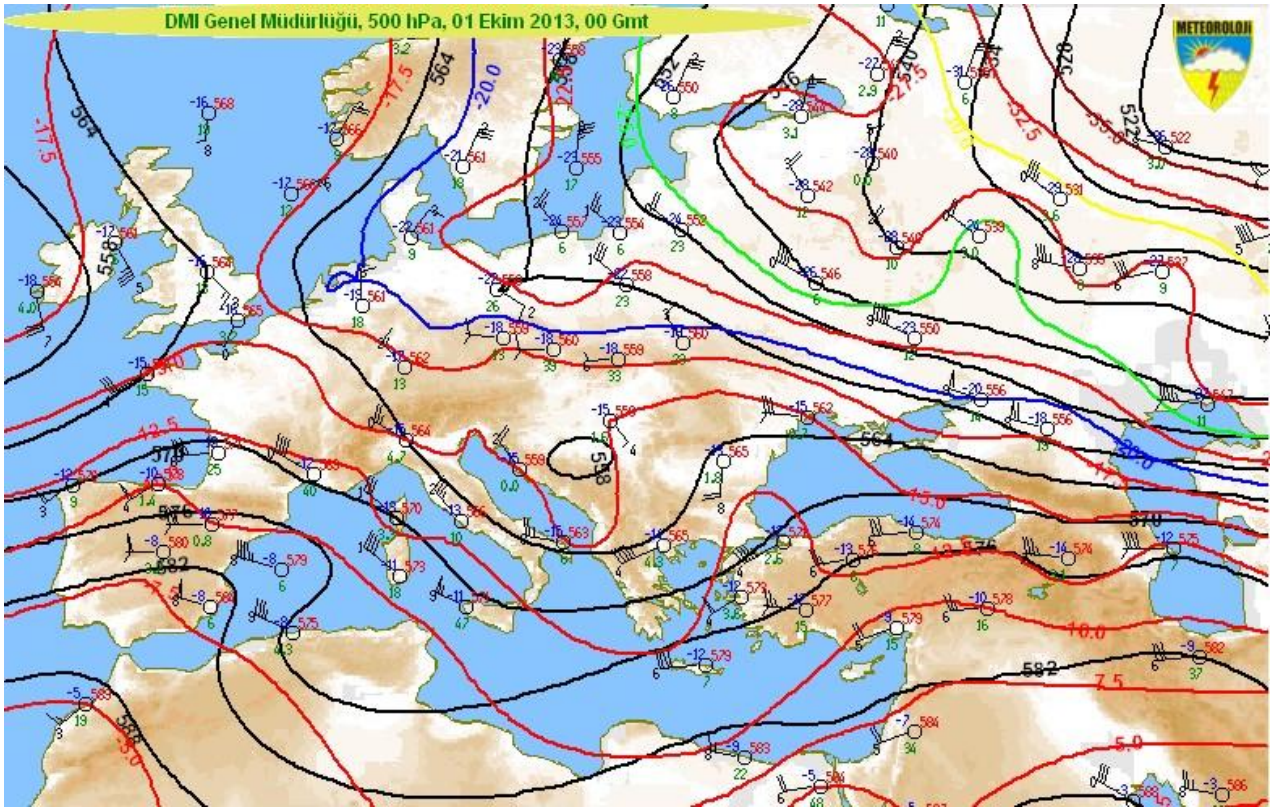
2.2.2. Yüksek Seviye Kartları



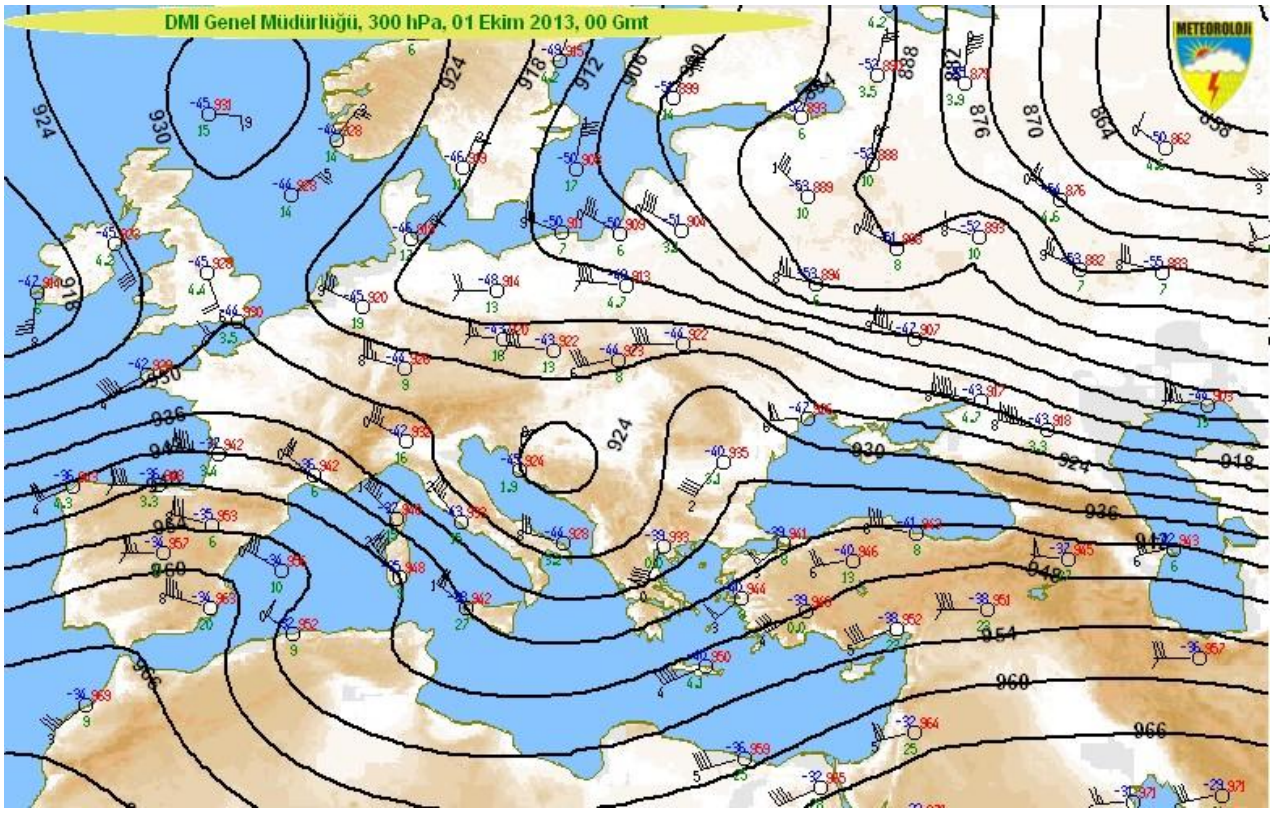
Şekil 4: 01 Ekim 2013 00Z 850 hPa.



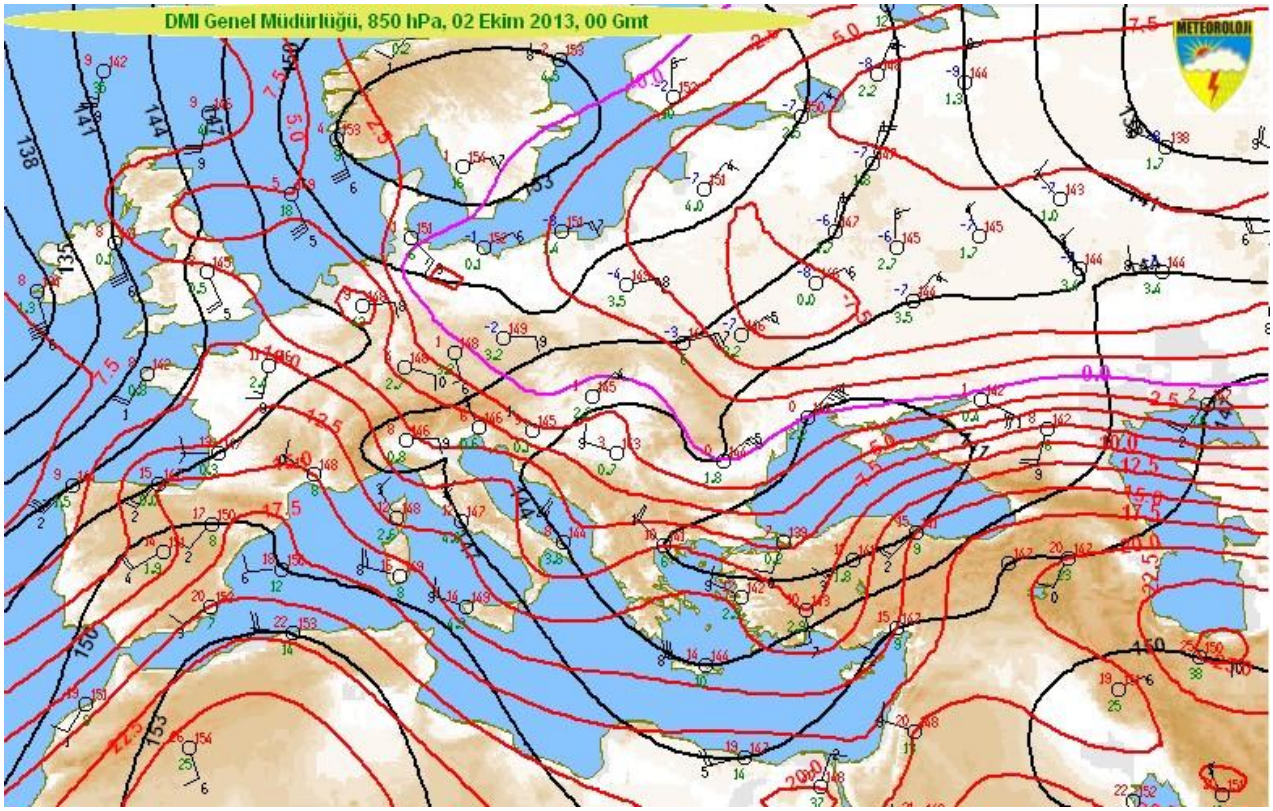
Şekil 5: 01 Ekim 2013 00Z 700 hPa.



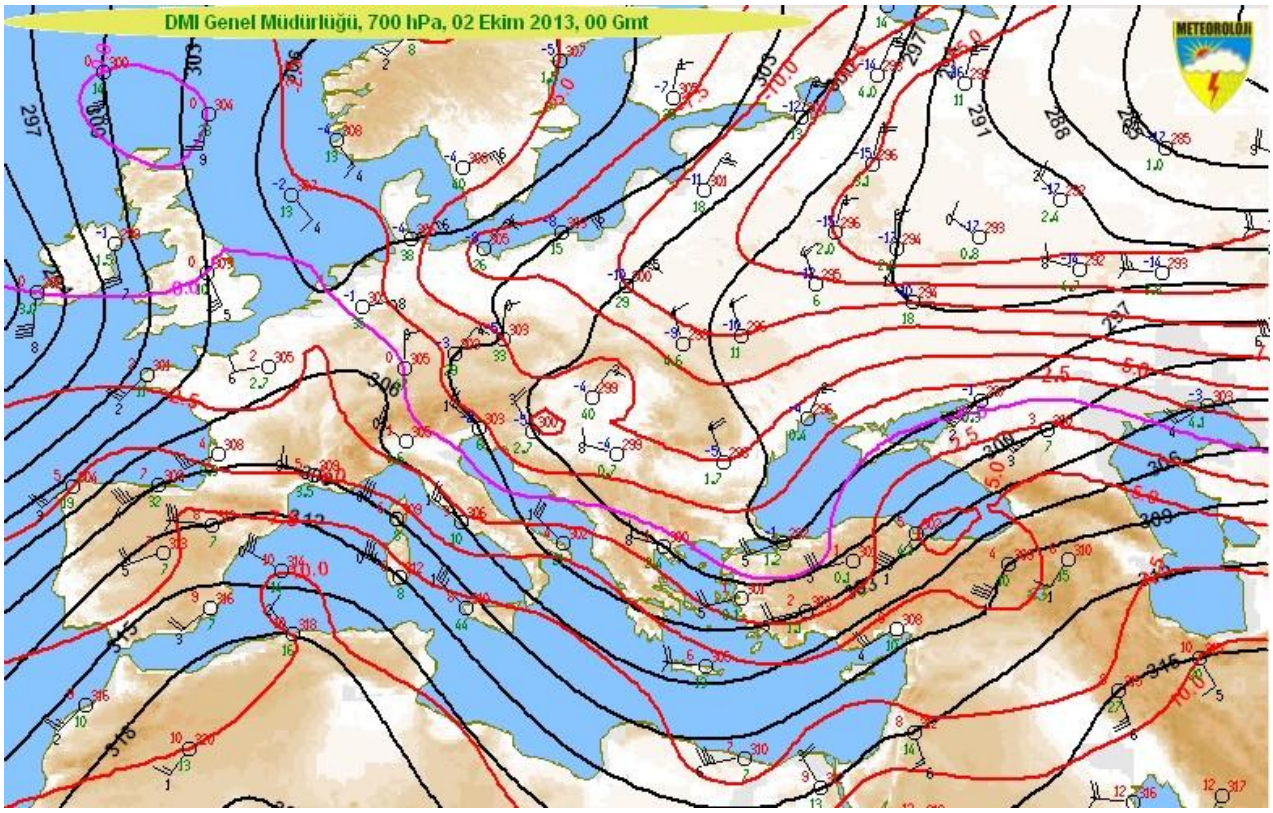
Şekil 6: *01 Ekim 2013 00Z 500 hPa*.



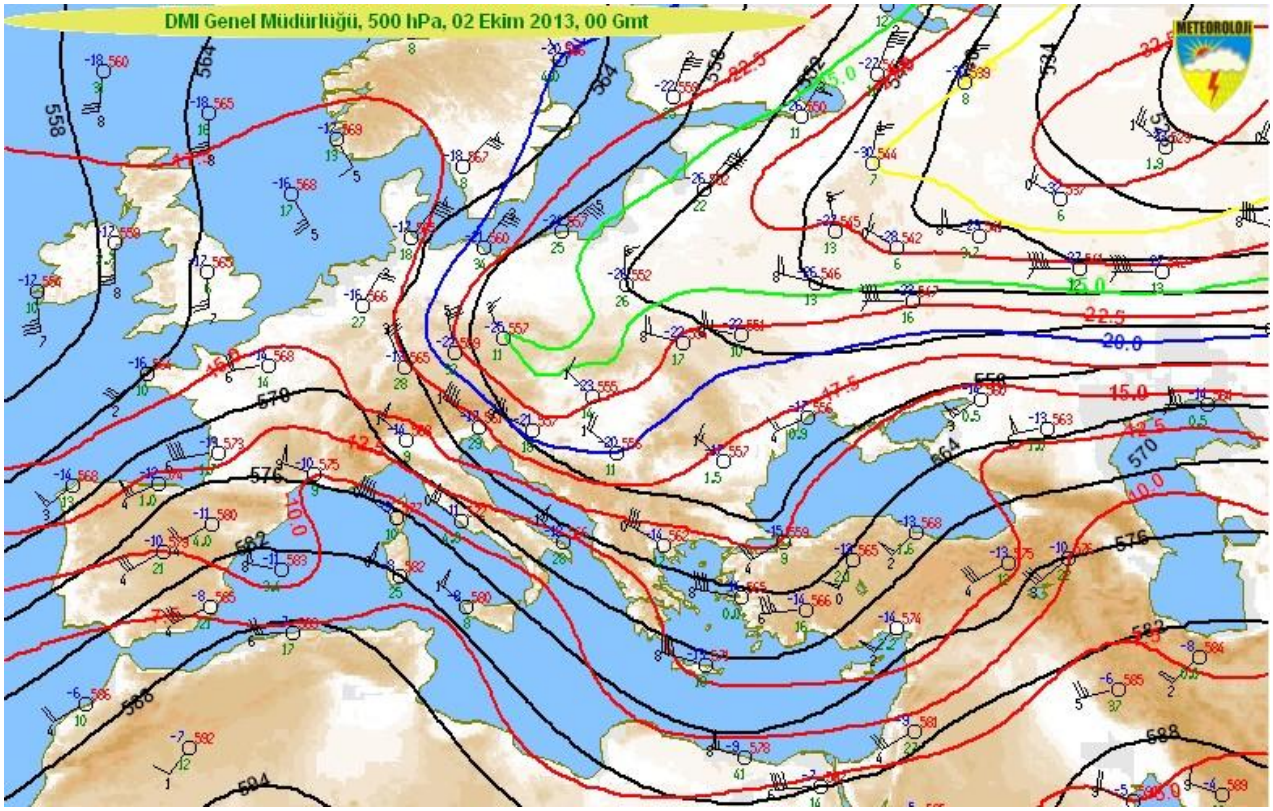
Şekil 7: *01 Ekim 2013 00Z 300 hPa*.



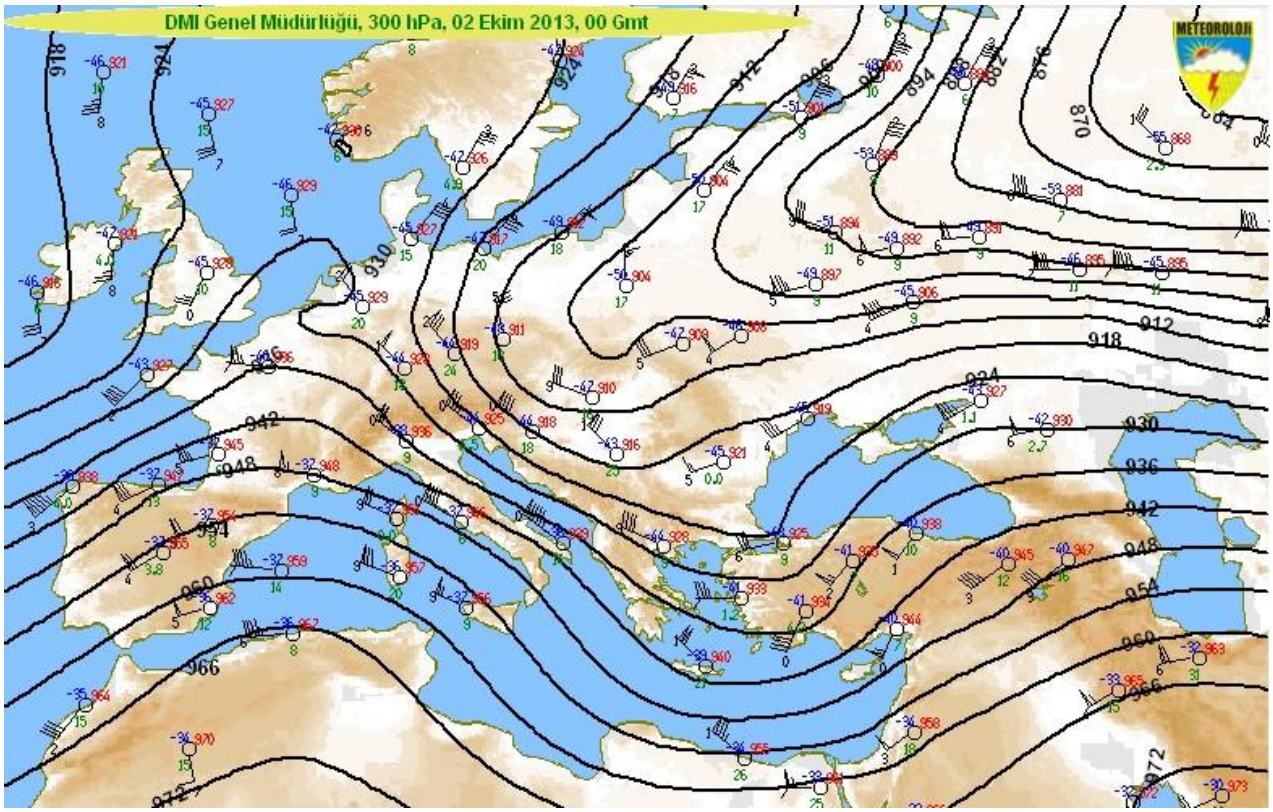
Şekil 8: *02 Ekim 2013 00Z 850 hPa*.



Şekil 9: *02 Ekim 2013 00Z 700 hPa*.

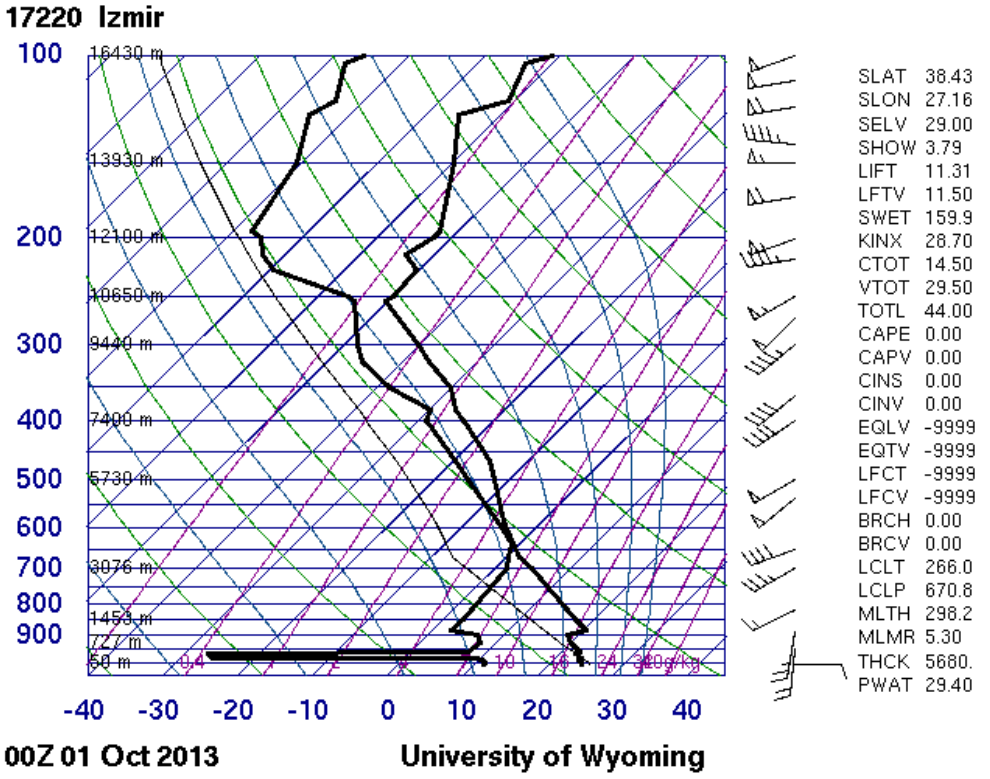


Şekil 10: *02 Ekim 2013 00Z 500 hPa.*

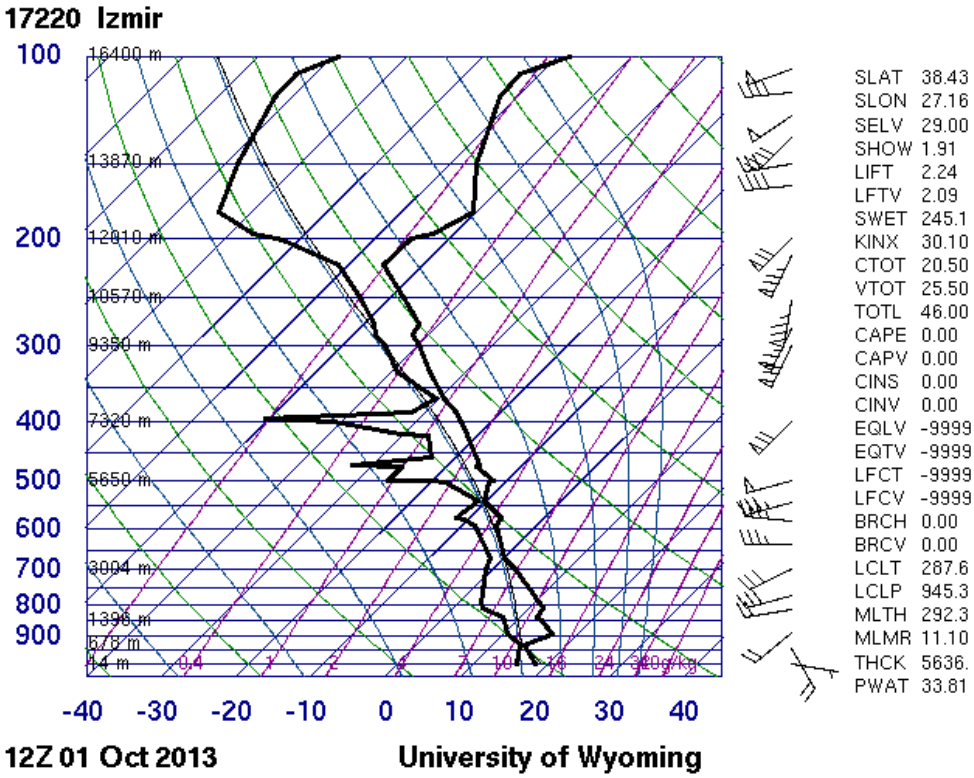


Şekil 11: *02 Ekim 2013 00Z 300 hPa.*

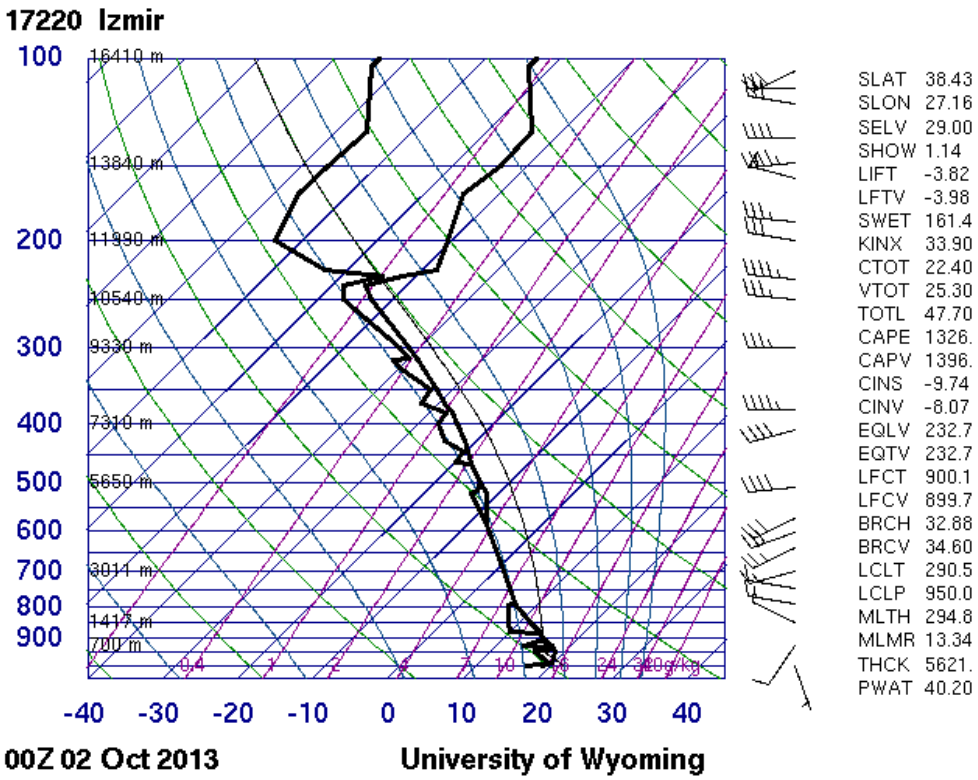
2.2.3. *Temp Diyagramları*



Şekil 12: *01 Ekim 2013 00Z İzmir Temp.*



Şekil 13: *01 Ekim 2013 12Z İzmir Temp.*



Şekil 14: *02 Ekim 2013 00Z İzmir Temp.*

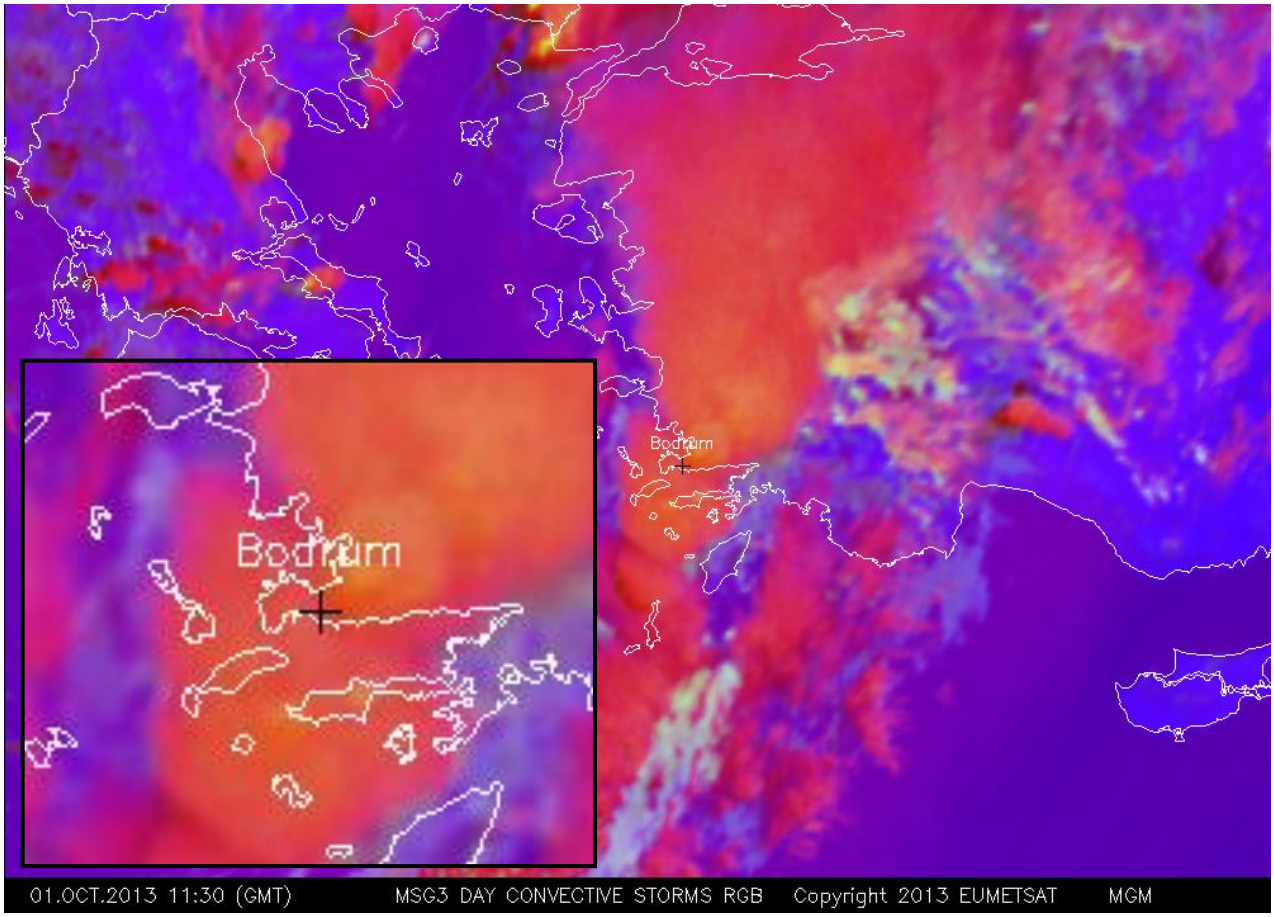
2.3. Aktüel Haritalar ve Verilerin Yorumu

Otomatik istasyon verilerine göz gezdirildiğinde yer sıcaklıklarının sabah saatlerinde 25° civarlarında olduğu görülmektedir. Yüksek seviyelerdeki güneybatılı rüzgarlar ve 500 hPa seviyesindeki -15° lik soğuk hava kararsızlığın artmasına sebep olmaktadır. Temp diyagramlarında hızla kararsızlığa giden Sweat ve Lifted Index değerleri ile gün içinde yükselerek 2 Ekim 00Z tempinde 1326 değerine ulaşan CAPE değeri bölgede orta seviye bir kararsızlığa işaret etmektedir.

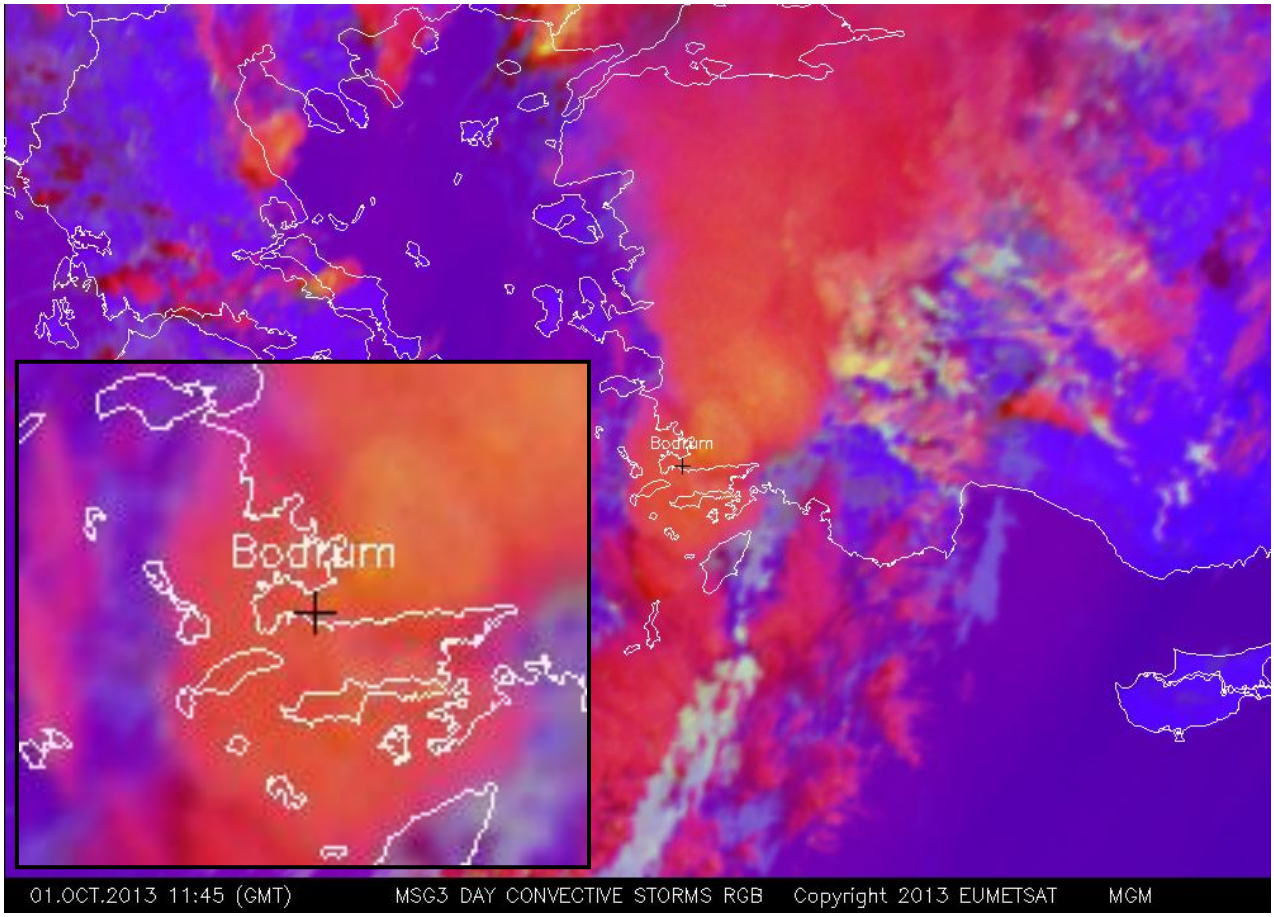
İncelenen istasyonların bu periyoddaki toplam yağışları; Söke 15,8 mm, Didim 71,4mm, Milas 103,0mm, Bodrum 24,4mm, Datça 53,2mm, Köyceğiz 169,4mm ve Marmaris 49,2mm.

3. UYDU GÖRÜNTÜLERİ

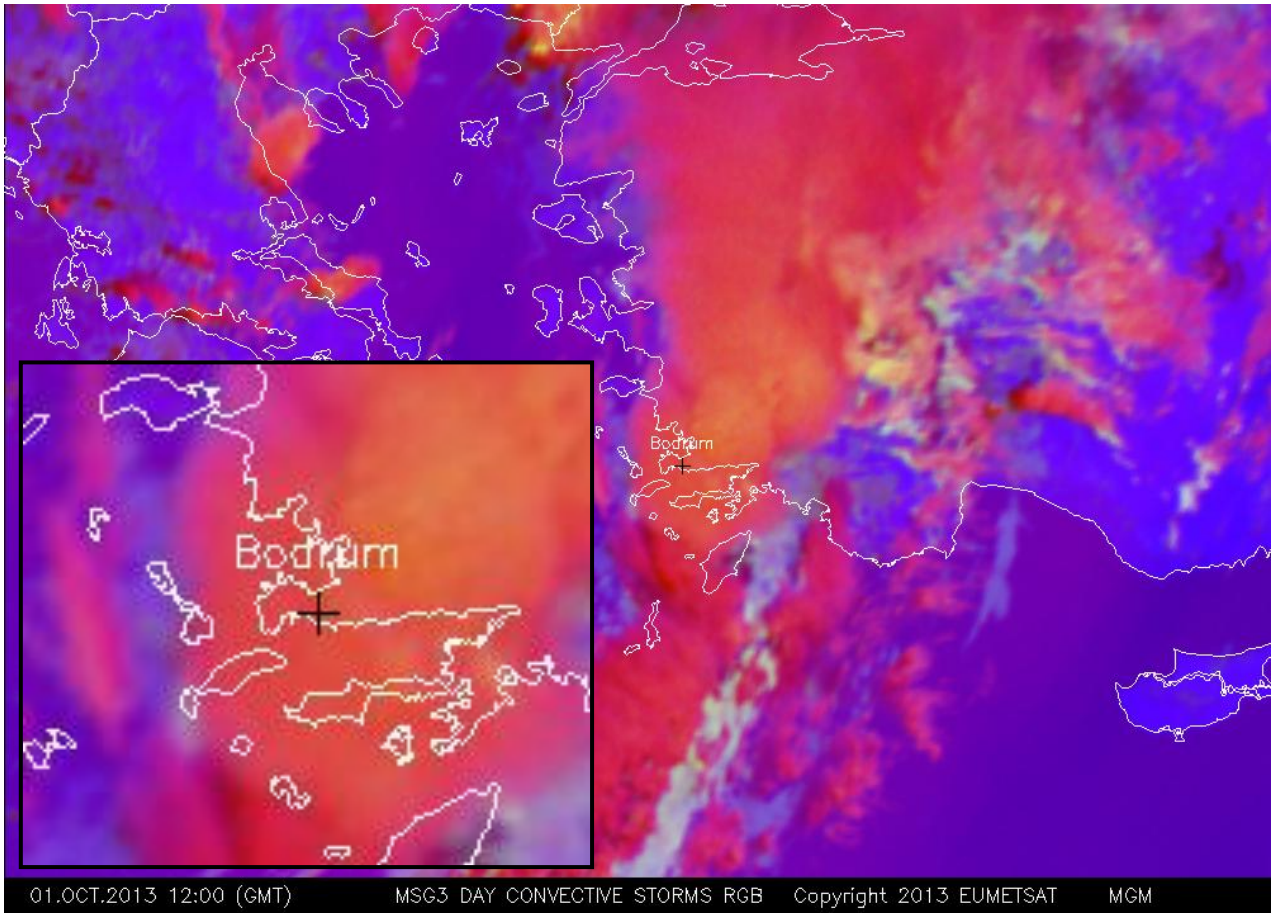
3.1. Milas



Şekil 15: *Milas'ta kuvvetli yağışın RGB görüntüsü.*



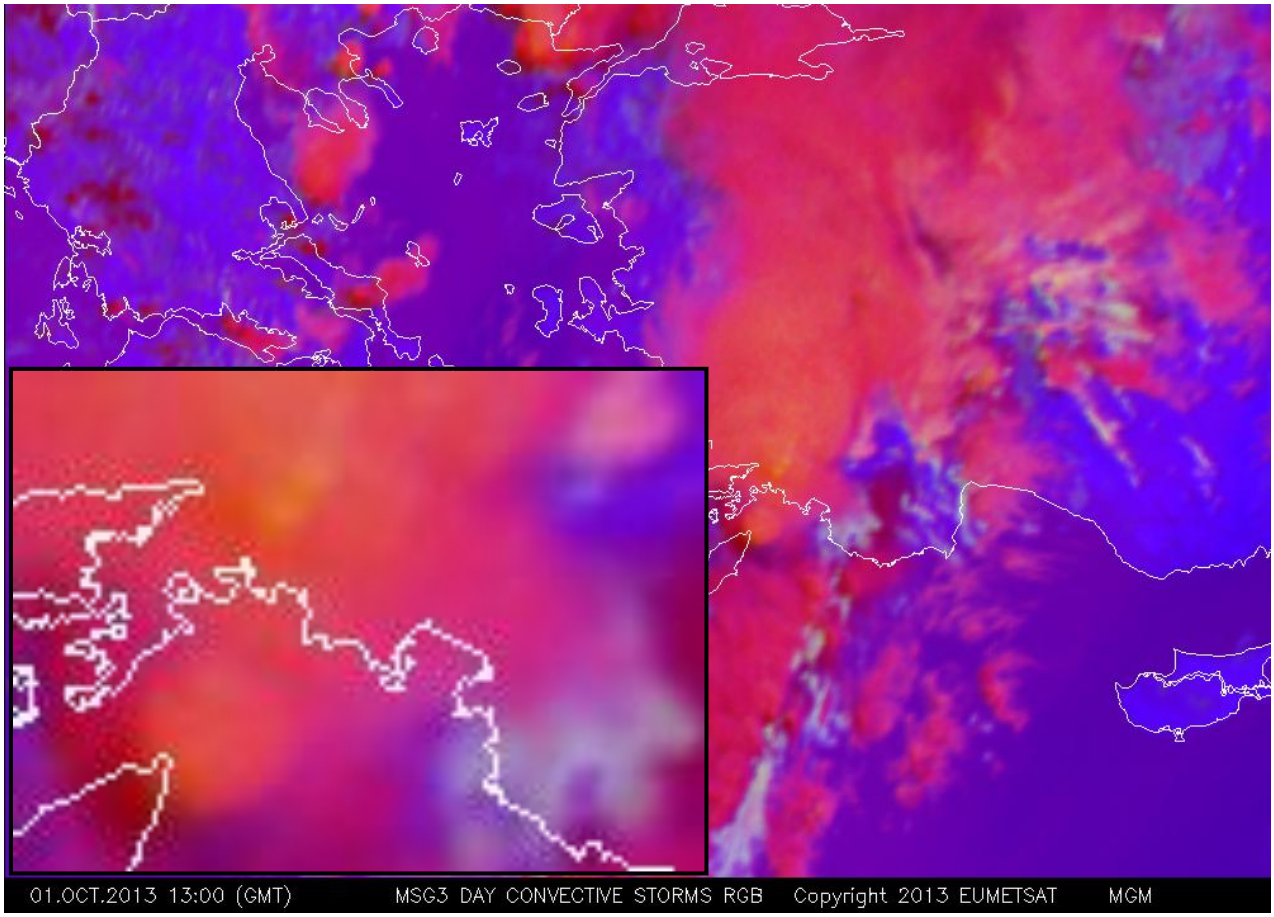
Şekil 16: *Milas'ta kuvvetli yağışın RGB görüntüsü.*



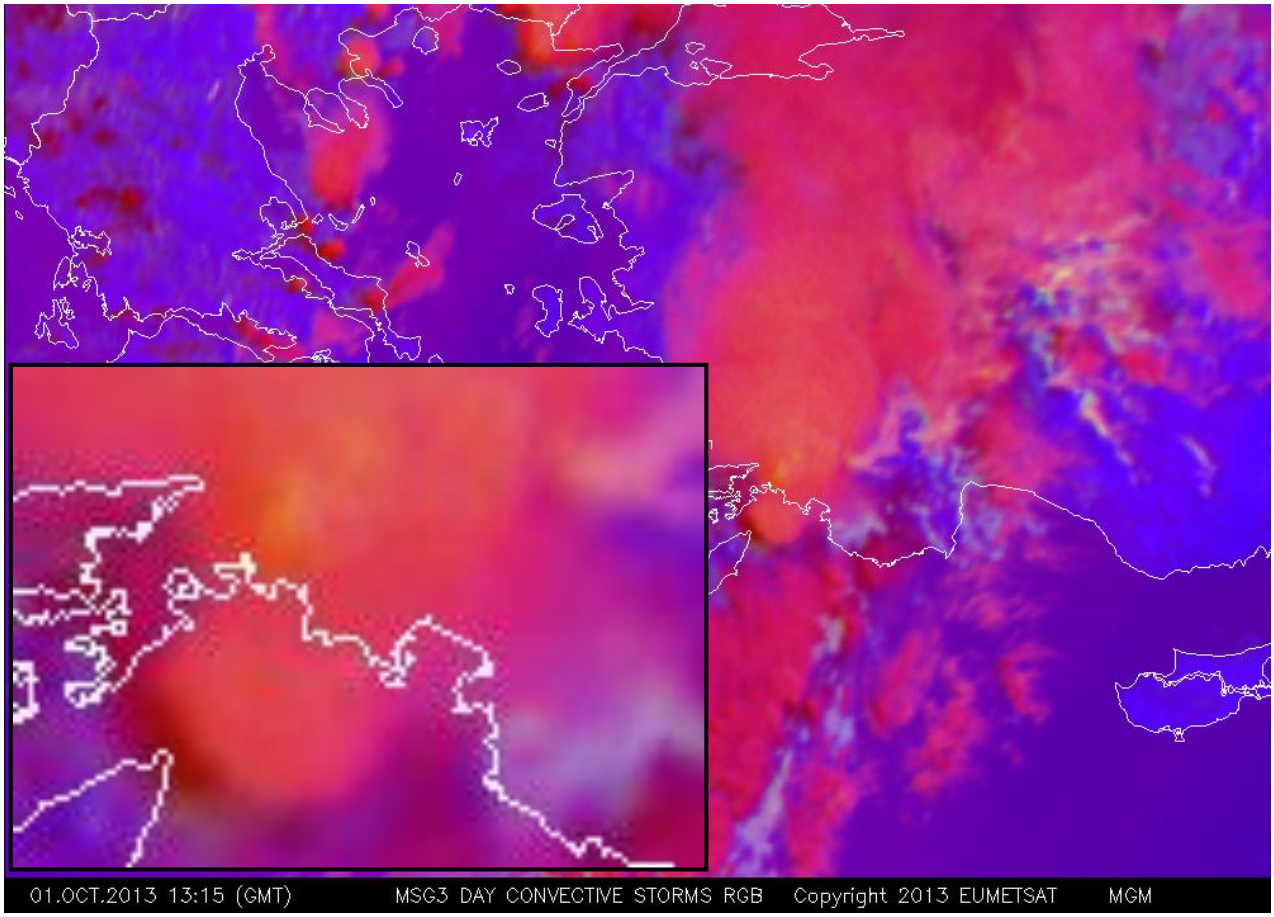
Şekil 17: *Milas'ta kuvvetli yağışın RGB görüntüsü.*

Milas'ta günün ilk kuvvetli yağışı sırasında Day Convective RGB ürünleri sırasıyla incelendiğinde genç hücrenin sarıdan turuncuya renk değişimi açıkça görülmektedir.

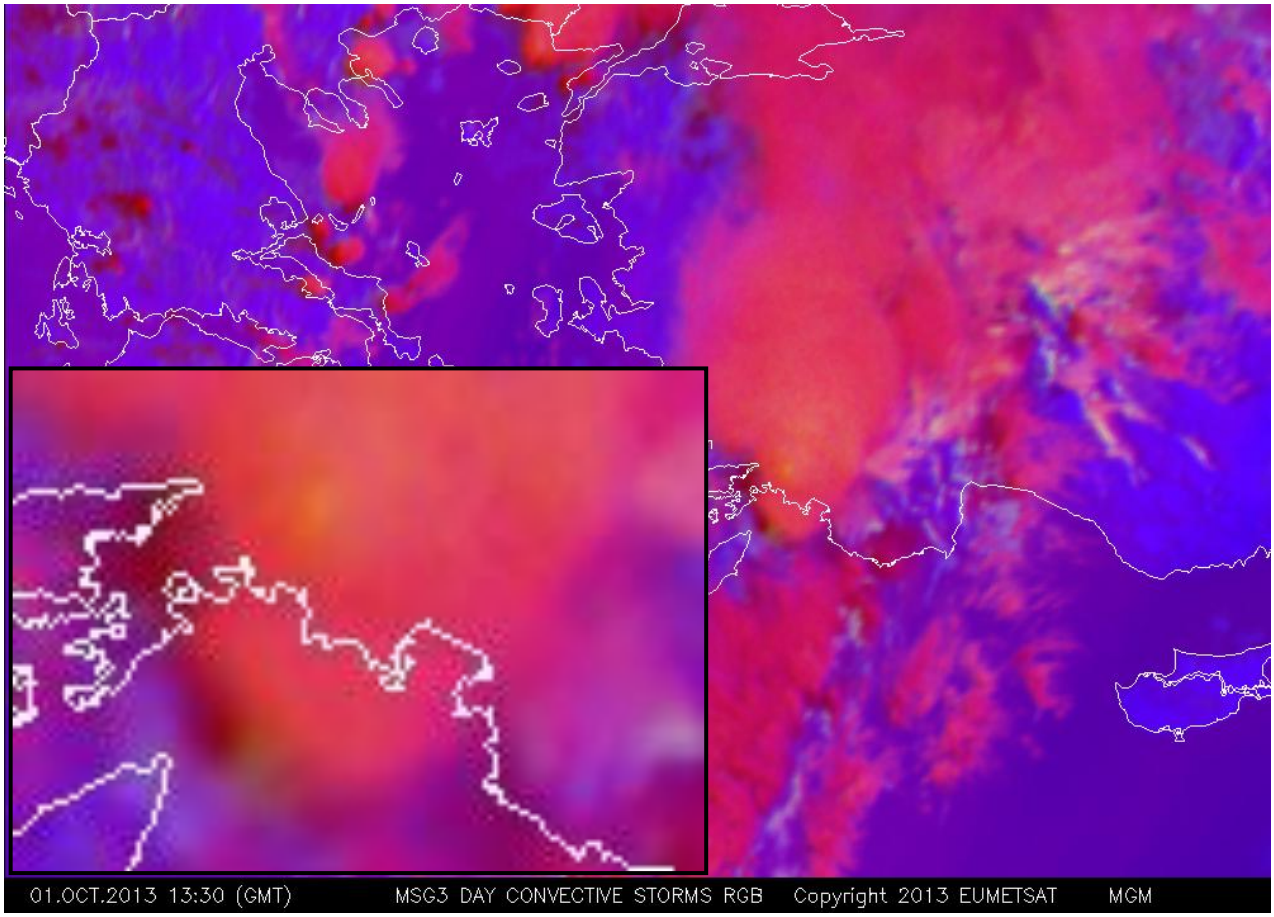
3.2. Köyceğiz



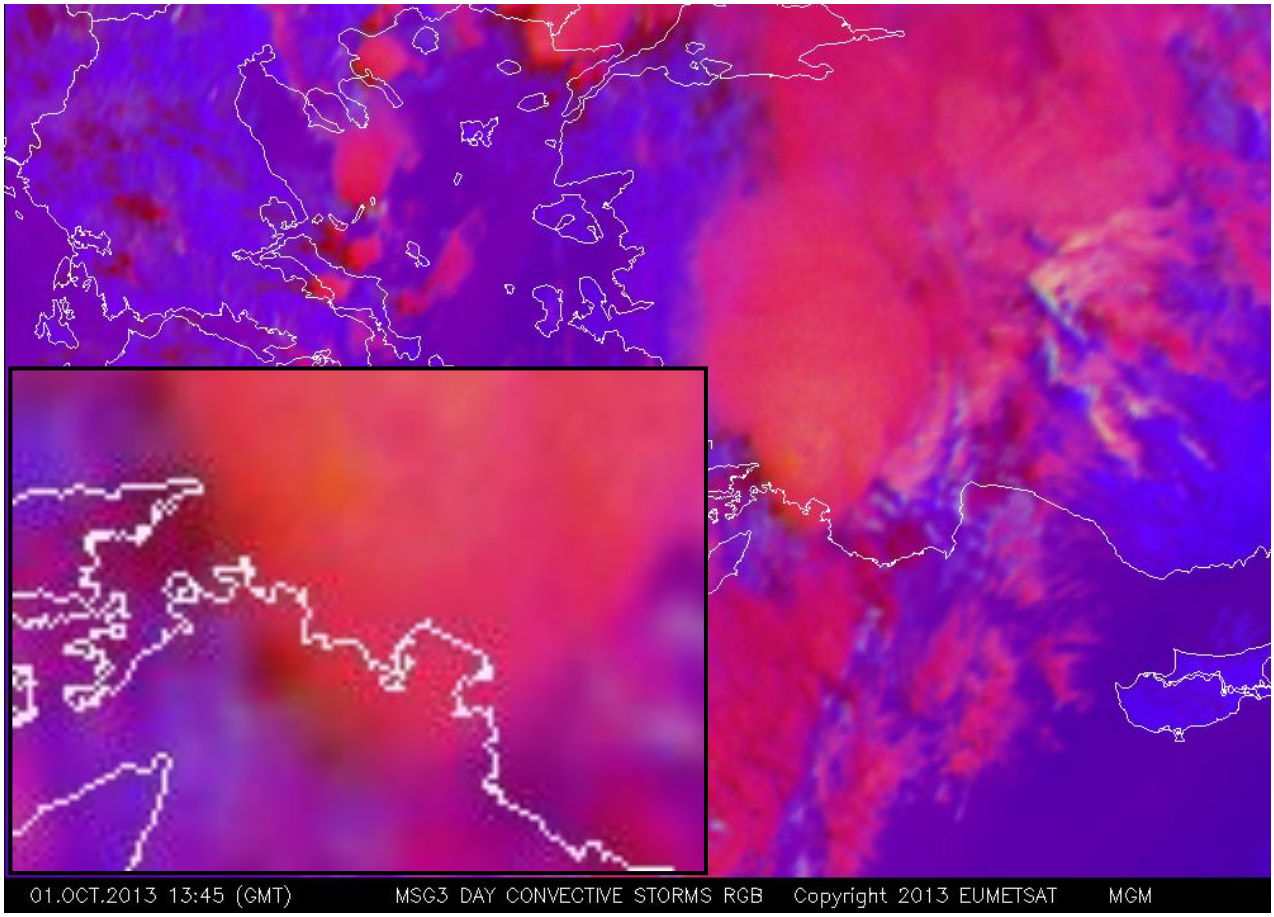
Şekil 18: *Köyceğiz'de kuvvetli yağışın RGB görüntüsü.*



Şekil 19: *Köyceğiz'de kuvvetli yağışın RGB görüntüsü.*



Şekil 20: *Köyceğiz'de kuvvetli yağışın RGB görüntüsü.*

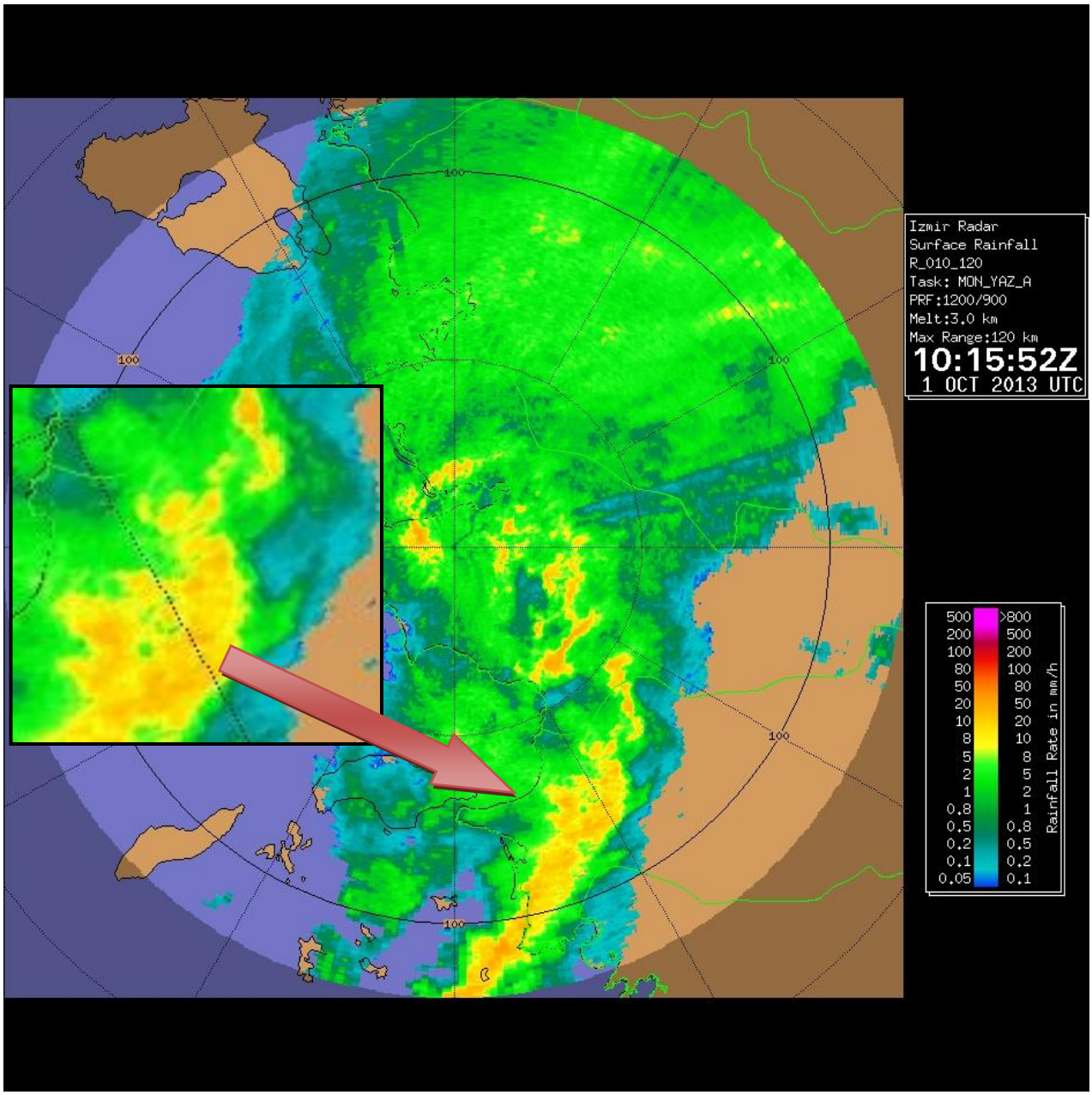


Şekil 21: *Köyceğiz'de kuvvetli yağışın RGB görüntüsü.*

Köyceğiz'deki kuvvetli yağış sırasında Day Convective RGB ürünü incelendiğinde Köyceğiz ve çevresinde oluşan hücrenin gelişim evresi belirgin bir şekilde görülmektedir.

4. RADAR GÖRÜNTÜLERİ

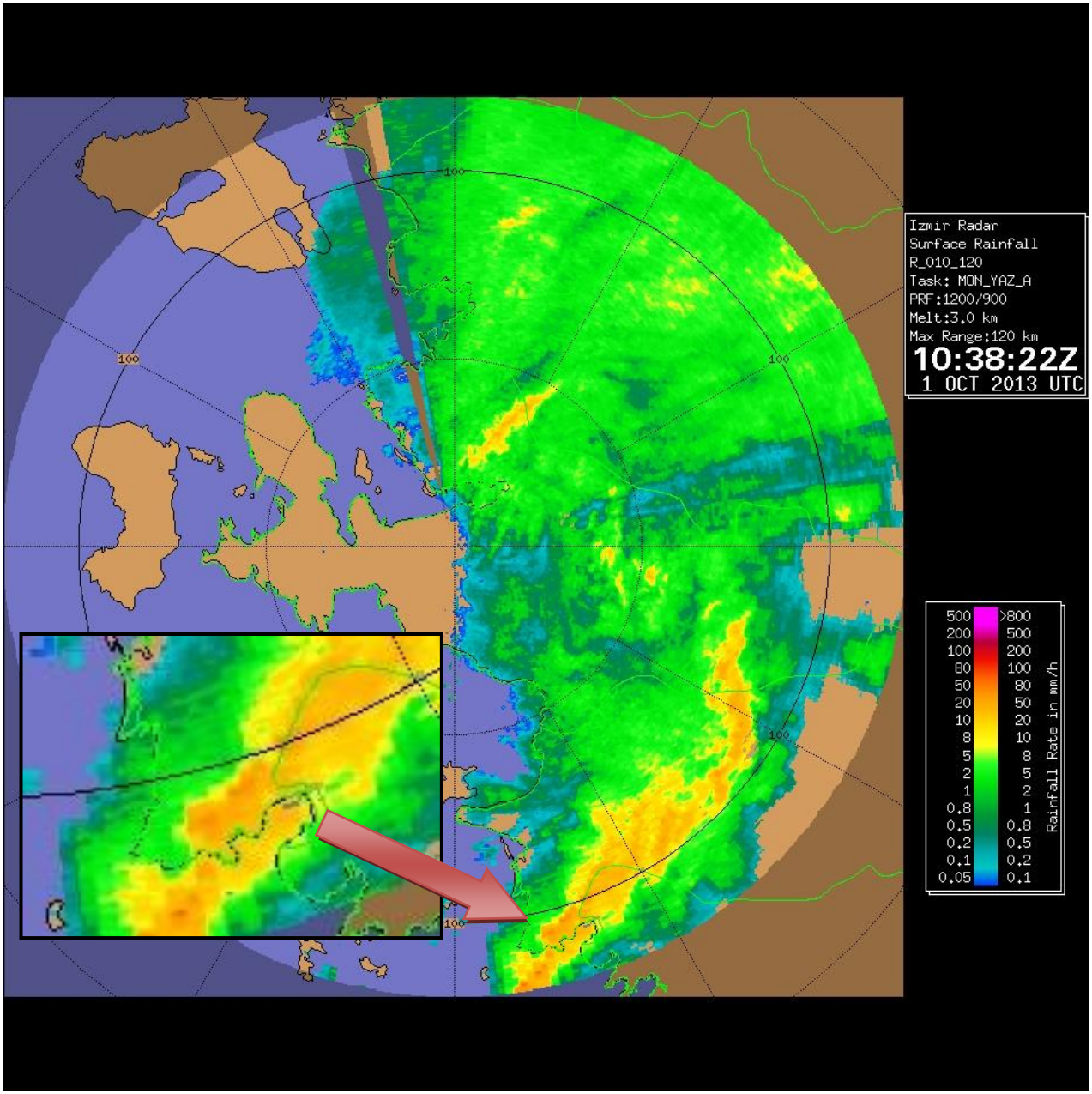
4.1. Söke



Şekil 22: *Söke kuvvetli yağış anı SRI.*

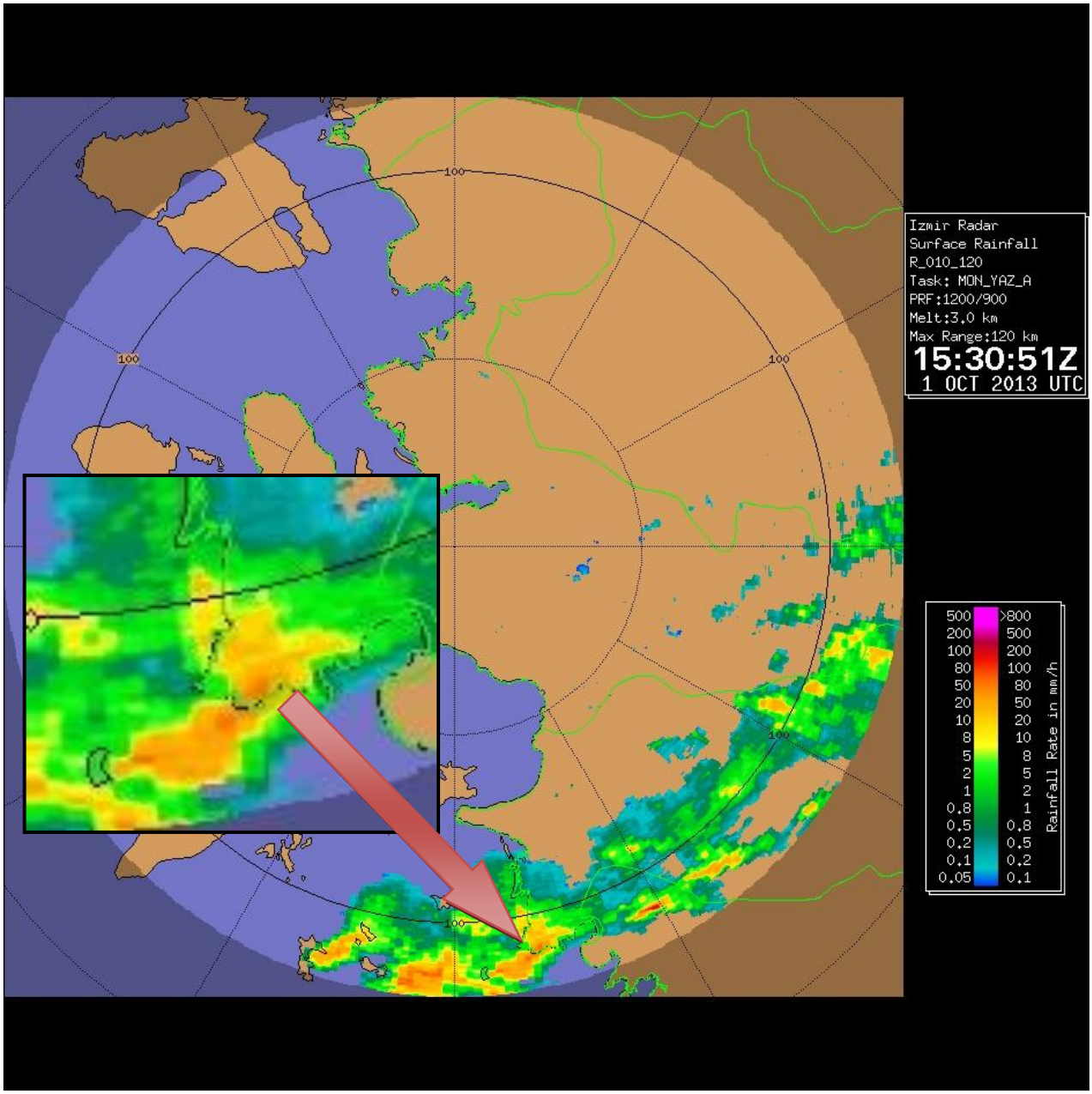
Söke otomatik istasyonundan alınan veri incelendiğinde 15,8 mm/h lik bir yağış yoğunluğu görülmektedir. İzmir radarından alınan yağış anı SRI ürününde'de benzer bir şekilde 10-20 mm/h civarında bir değer mevcuttur.

4.2. Didim



Şekil 23: *Didim 1000-1100 saatlerindeki kuvvetli yağış anı SRI.*

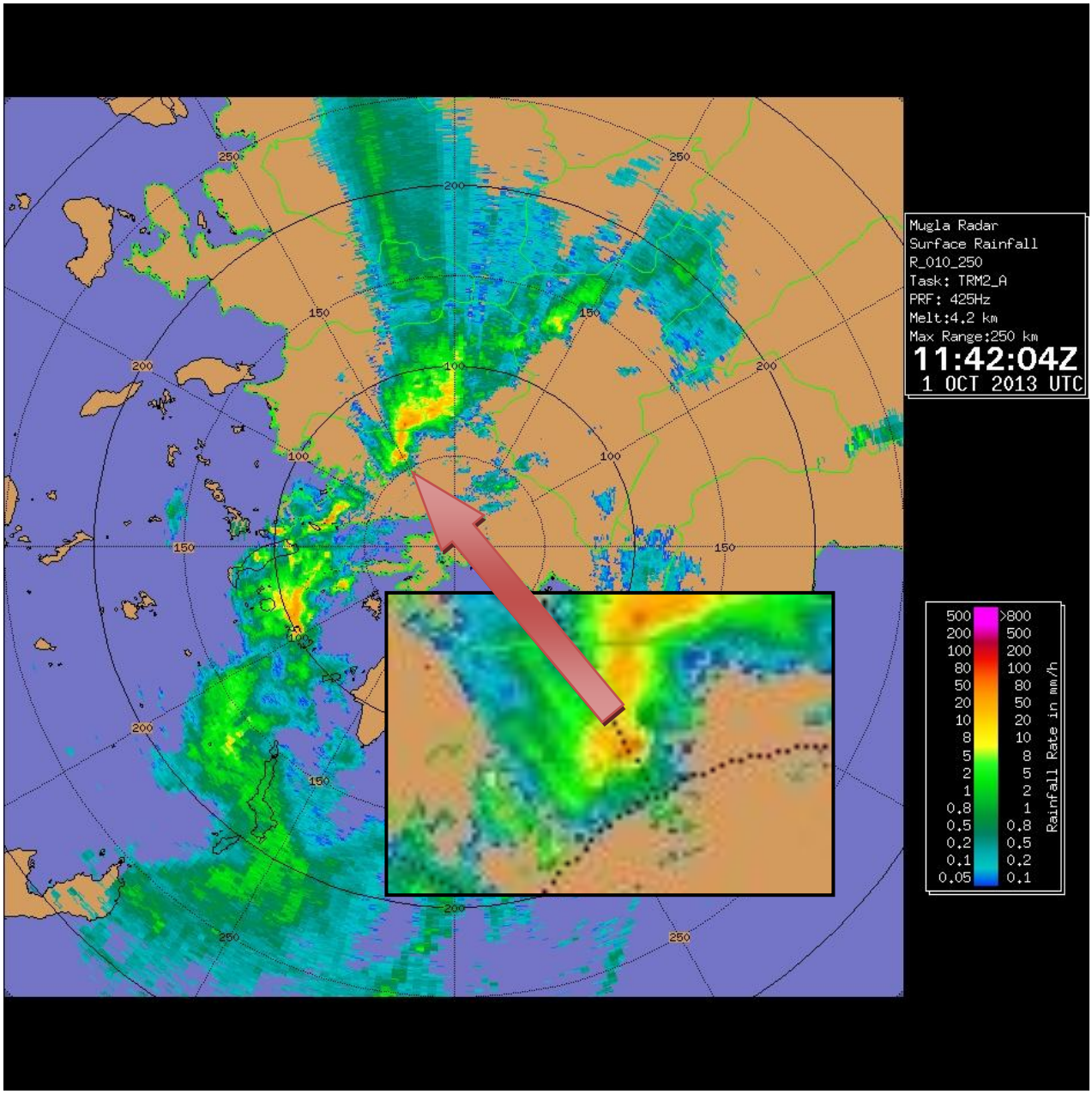
Didim'de günün ilk yağışı Söke'den yaklaşık 20 dk. Sonra gerçekleşmiştir. Bu yağışın şiddetinin anlık olarak 50-80 mm/h ulaşmış olduğu İzmir radarından alınan SRI ürününde görülmektedir. Otomatik istasyondan alınan veri incelendiğinde ise 30 dk.lık periyotta 34,6 mm/h lik bir yağış düştüğü görülmektedir.



Şekil 24: *Didim 1500-1600 saatleri arasındaki kuvvetli yağış anı SRI.*

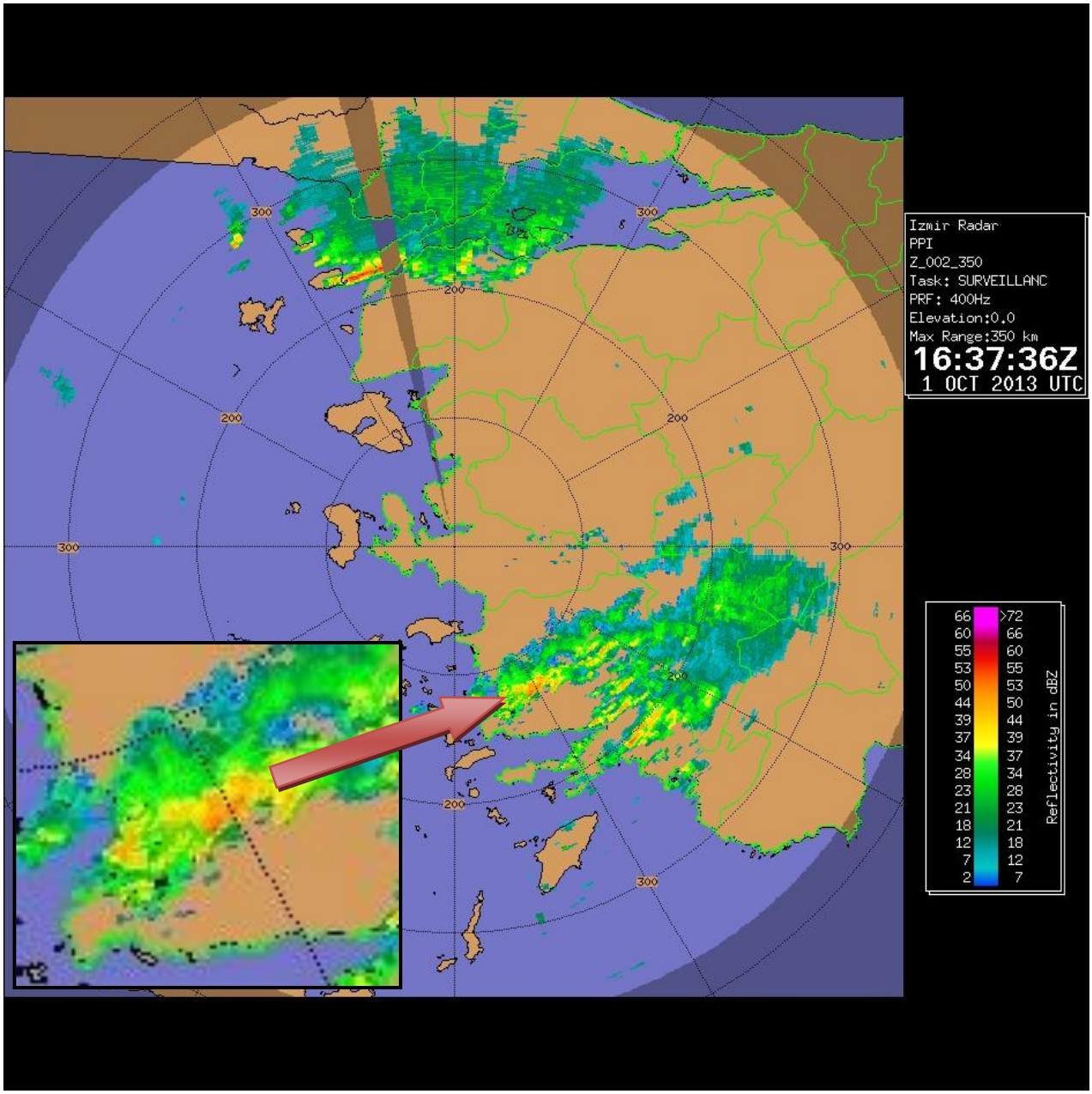
Didim'de aynı gün içinde görülen ikinci kuvetli yağış saatine ait SRI ürününde bölge civarında yaklaşık 20 mm/h yağış yoğunluğu görülmekte. Otomatik istasyon verilerinde 1 saatlik toplam yağış 14,6 mm ölçülmüştür.

4.3. Milas



Şekil 25: *Milas 1100-1200 saatleri arasındaki kuvvetli yağış anı SRI.*

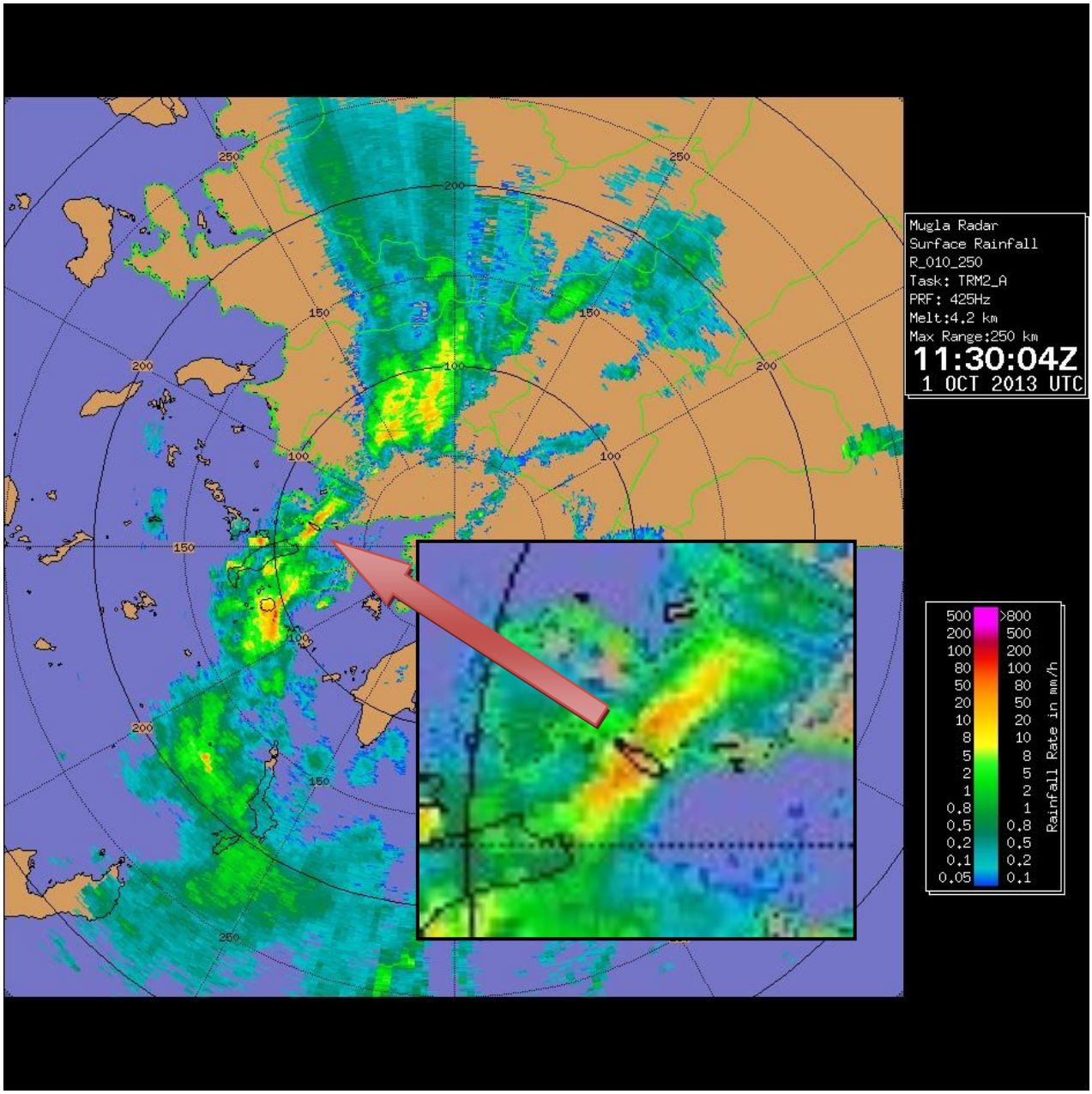
Milas istasyonu 1130-1200 arasında 43,2 mm miktar bırakan yoğun bir yağışa maruz kalmıştır. Bu yağış 1142 SRI ürününde açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 26: *Milas 1620-1700 saatleri arasındaki kuvvetli yağış anı PPI.*

Milas istasyonunun aynı gün içinde 1620-1700 arasında maruz kaldığı ikinci kuvvetli yağış 44 mm miktar bırakmıştır. Aynı saatlerde İzmir radarından alınan PPI ürününde 50 dBz civarında ekolar görülmektedir.

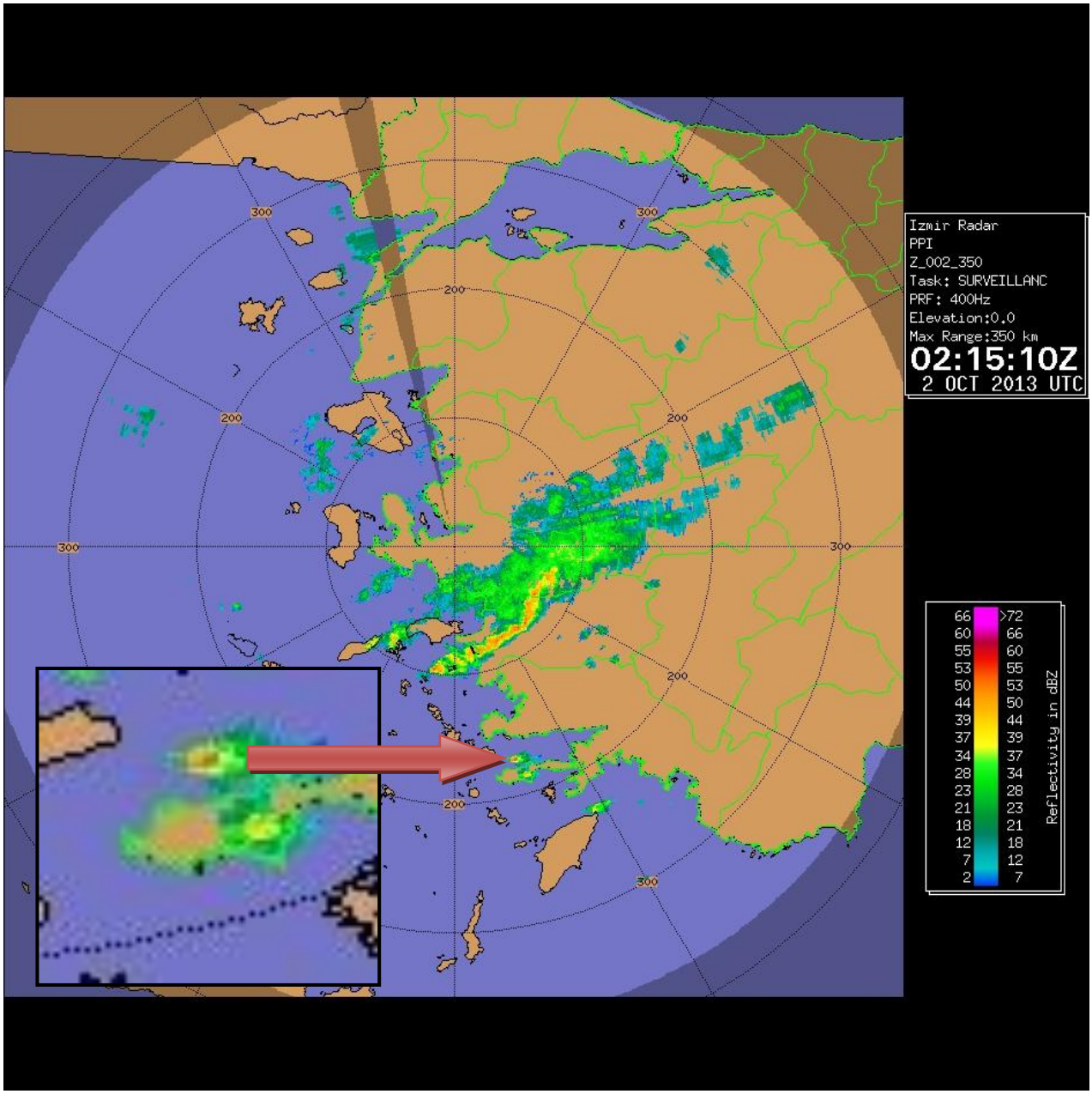
4.4. Bodrum



Şekil 27: *Bodrum 1110-1140 saatleri arasındaki kuvvetli yağış anı SRI.*

Bodrum istasyonunda 1110'da başlayan ve 1130' da en şiddetli noktasına ulaşan yağışın şiddeti anlık olarak 80 mm/h değerine ulaşmıştır. Bu değer Kara Ada'nın kuzeydoğusunda görülmektedir.

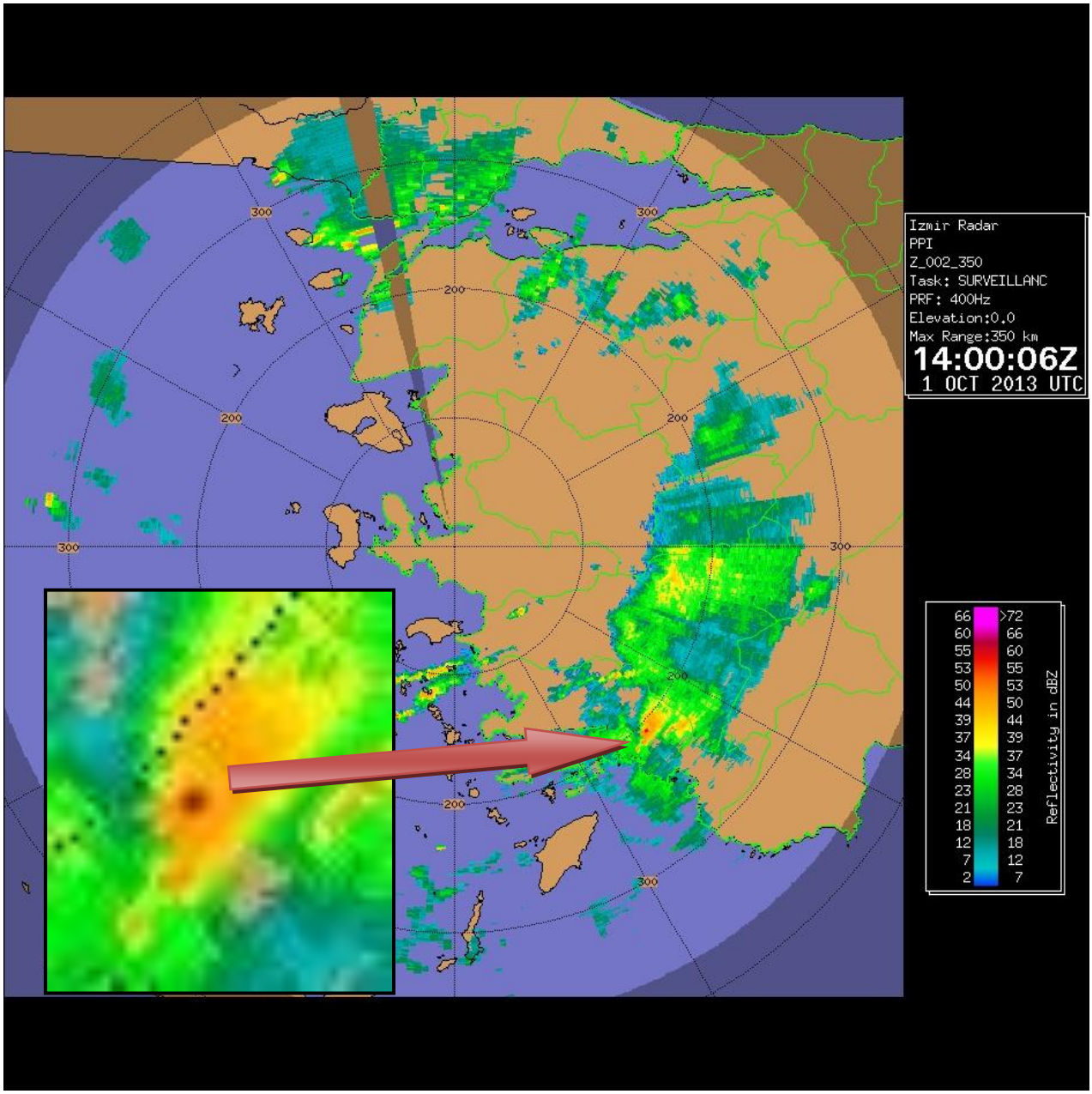
4.5. Datça



Şekil 28: *Datça'da 2 Ekim 0200-0300 saatleri arasındaki kuvvetli yağış anı PPI.*

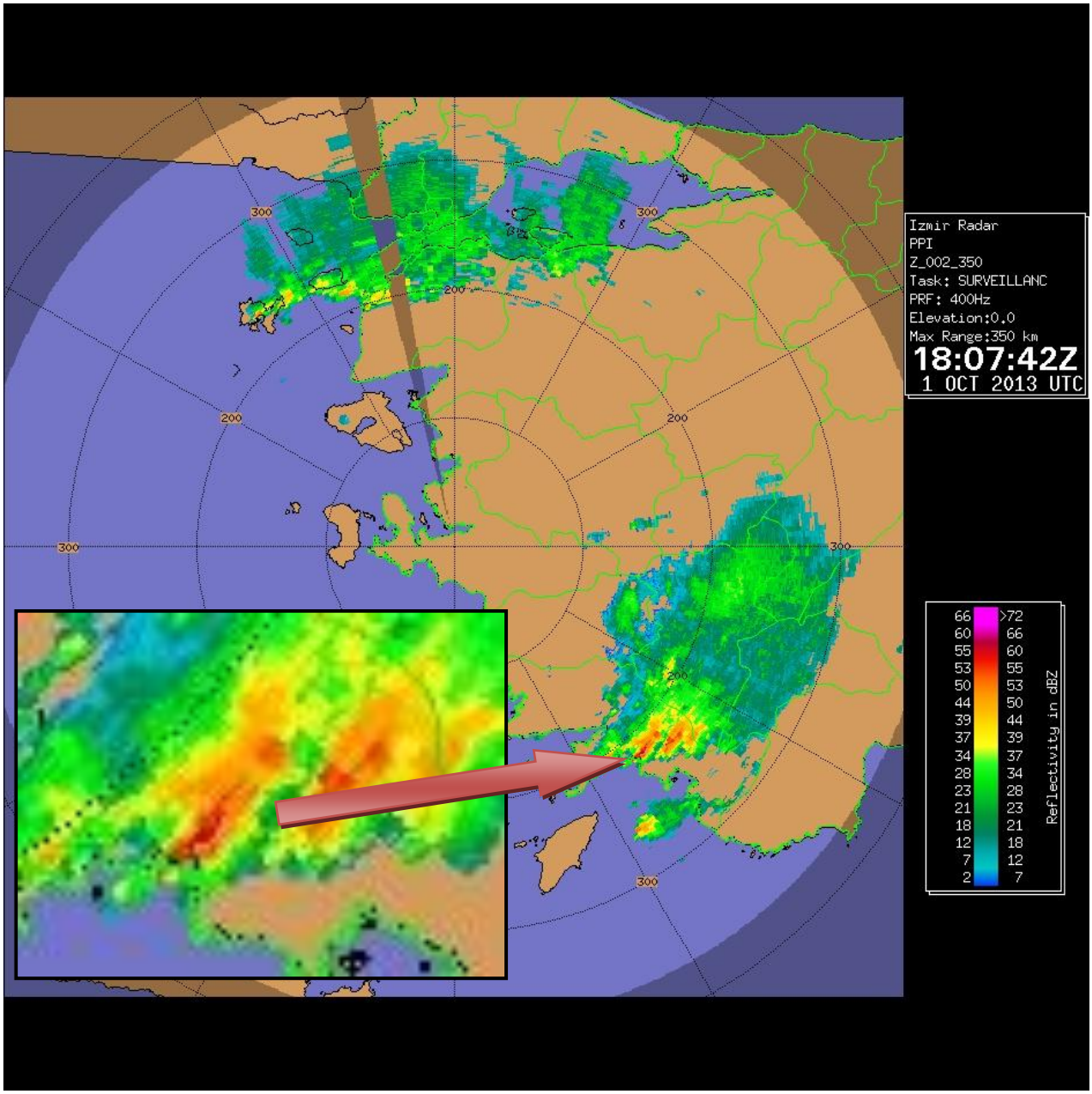
Datça istasyonunda 2 Ekim 0200-0300 arasında meydana gelen yağışa sebep olan hücre İzmir radarından alınan PPI ürününde 50-55 dBz'lik bir değer ile görülmektedir.

4.6. Köyceğiz



Şekil 29: *Köyceğiz'de 1320-1420 saatleri arasındaki kuvvetli yağış anı PPI.*

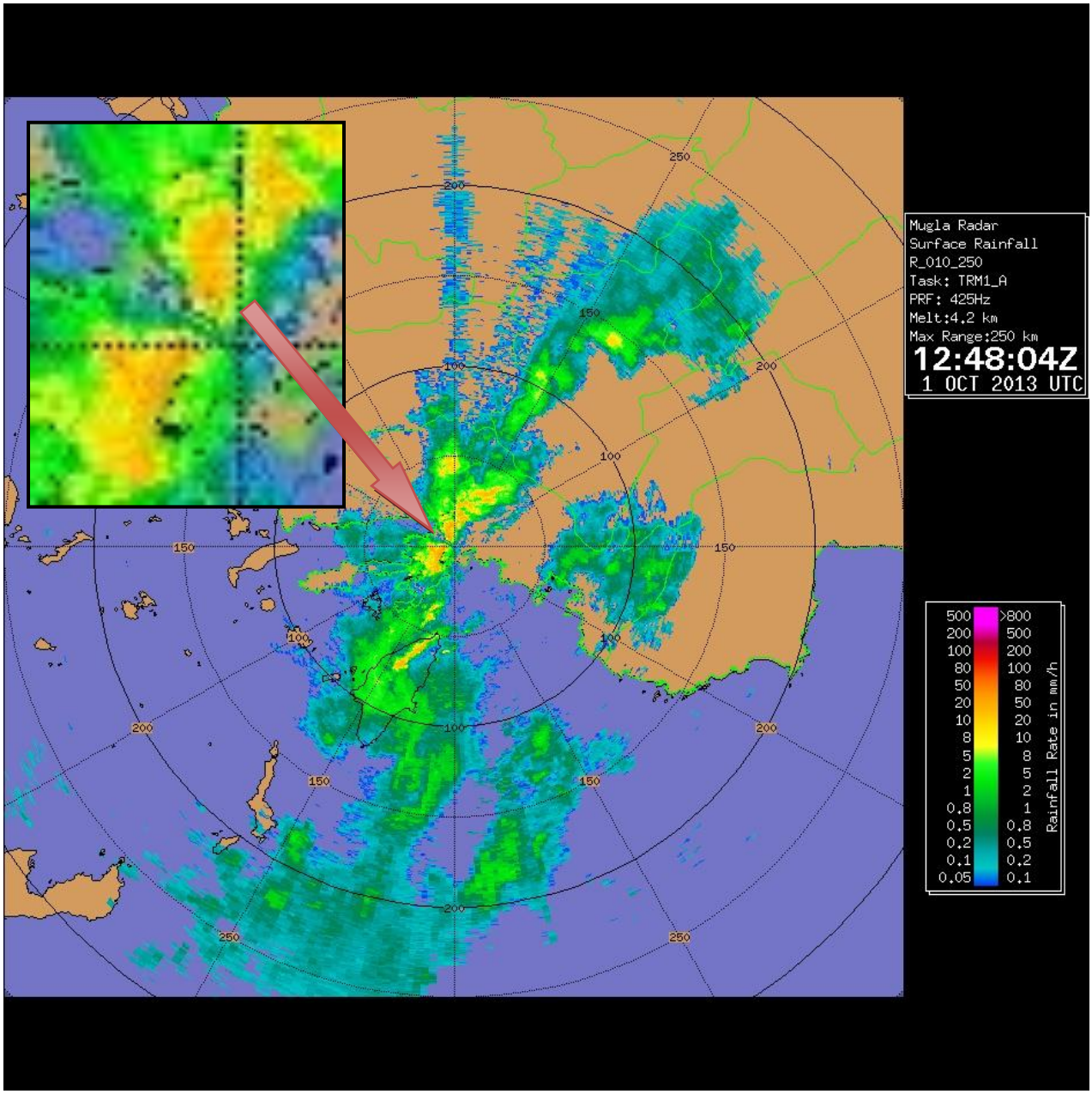
Köyceğiz istasyonu 1320-1410 saatleri arasında toplam 76,2 mm yağış almıştır. Bu yağışın en şiddetli olduğu dakikalarda İzmir radarından alınan PPI ürününde Köyceğiz üzerinde 55-60 dBz civarında bir değer görülmektedir.



Şekil 30: *Köyceğiz'de 1730-1830 saatleri arasındaki kuvvetli yağış anı PPI.*

Köyceğiz istasyonu 1 Ekim 1300-1900 saatleri arasında aralıklara kuvvetli yağışlara maruz kalmıştır. 1807 İzmir PPI görüntüsünde Köyceğiz ve çevresinde yüksek ekoya sahip birkaç hücre görülmektedir.

4.7. Marmaris



Şekil 31: *Marmaris'te 1230-1320 saatleri arasındaki kuvvetli yağış anı PPI.*

Marmaris istasyonu 1250-1300 saatleri arasında 60-80 mm/h şiddetinde yağış almıştır. Bu yağış Muğla radarından alınan SRI ürününde görülmektedir.

5. SONUÇLAR

1 ve 2 Ekim 2013 tarihlerinde Güney Ege ve Batı Akdeniz Bölümlerinde etkili olan kuvvetli yağışlar ve rüzgar birçok yerleşim yerinde maddi hasara sebep olmuştur. Mevcut otomatik

istasyonların anlık yağış miktarları incelendiğinde, sistemin bıraktığı toplam yağış miktarından öte yağış şiddetinin bu hasarlara sebep olduğu görülmüştür. Bu sebeple inceleme yapılırken öncelikli olarak kararsızlığın şiddeti göz önünde bulundurulmuştur. Kararsızlığın incelenmesi amacıyla aktüel kart ve temp diyagramları analiz edilmiş, uydudan alınan RGB Day Convective ürünleri incelenmiş, 1 Ekim öğlen saatlerinden, 2 Ekim sabah saatlerine kadar sistemin kararsızlığının yüksek seviyelere ulaştığı tespit edilmiştir. Bunun ardından anlık yağış şiddetine yönelik İzmir ve Muğla radarlarından alınan SRI ürünleri analiz edilmiş ve otomatik istasyon verilerine yakın sonuçlara ulaşılmıştır. Yağış hücrelerinin, yağış şiddetlerinin tahmininde kararsızlık analizi ve SRI ürününün kullanımı başarılı sonuçlar verecektir.

KAYNAKLAR

[1] http://www.wetterzentrale.de/topkarten/tkfaxbraar.htm

[2] http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html

[3] http://tumas.mgm.gov.tr/wps/portal/

[4] http://uzal.mgm.gov.tr/index.htm

7-8 Ağustos 2013'te Atakum (Samsun) İlçesinde Yaşanan Ani Sel ve Su Baskını Afetlerinin Yönetiminde Meteorolojik Radar Görüntülerinin Kullanımı

Aytek Ersan, Kıvanç Çalışkan, Emre Çoşkunlu, Erkin Tekin,
Levent Uçarlı, Yusuf Aysu, Erkan Koparmal
İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü
İstiklal Mah. 1124. Cad. No:15
Samsun
jeoaytek@gmail.com

Ayşe Gemici, Murat Asar
Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü
Güzelyalı Mah. 3006. Sk. No:32/H
Samsun
masar@mgm.gov.tr

ÖZET

Bu çalışmada 7-8 Ağustos 2013 tarihlerinde Samsun il merkezinde meydana gelen aşırı yağışlar nedeniyle Samsun Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü (Samsun AFAD) Afet Yönetim Merkezince gerçekleştirilen faaliyetler özetlenmiştir. 07/08/2013 öğle saatlerinde Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü'nden alınan son bilgilere göre; akşam saatlerinde aşırı yağışın beklendiği uyarısı alınmış, 23:30 sularında başlayan sağanak yağış, etkisini 05:00'ten itibaren arttırmış, bunun üzerine Samsun Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğünde Mülki İdare Amiri Başkanlığında, ilgili kurum temsilcilerinin katılımıyla, idari ve teknik personeller ile Afet Yönetim Merkezi oluşturulmuştur. Yağışın anlık durumu Meteorolojik Radar Görüntülerinden takip edilmiş, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı oluşturulan 2 ve 3 boyutlu haritalar üzerinden yağışın yoğun olarak gözlendiği Atakum İlçesi ve civarında taşkın potansiyeline sahip dereler ve vadiler izlenmiştir. Yağış miktarının yaklaşık 2 katına ulaşmasına karşın su baskını sayısındaki düşüşte, derelerdeki ıslah çalışmaları, Meteorolojik Radar Görüntüleri ve CBS tabanlı haritaların etkin kullanımı, riskli bölgelerin zamanında

uyarılması, kurumlar arası koordinasyon ve Samsun Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğünce sürdürülen afet önleyici tedbir eğitimleri etkili olmuştur.

Anahtar Kelimeler — Afet yönetimi, CBS, Meteorolojik Radar Görüntüleri, Samsun AFAD, 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, 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 riski yönetim 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 olası afet öncesinde planlama, afet esnasında ise etkin müdahalenin sağlanması için çalışmalar başlatılmış, 7-8 Ağustos 2013 tarihinde Samsun'un Atakum İlçesi'nde (Şekil 1) yaşanan ani sel ve su baskını olaylarıyla da etkin müdahale sorgulanmıştır.

1.1Yağış Karakteristiği Bakımından Samsun ve Atakum

Aşırı yağışa bağlı yaşanan ani sel, su baskını ve devamında oluşabilecek heyelan gibi insan sağlığını doğrudan etkileyen afetlerin yönetimi öncesinde afete maruz kalabilecek bölgenin meteorolojik karakteri bilinmelidir.

Samsun İli genel olarak ılıman bir iklim sürer. 0 C°'nin altında gün sayısı 15-20 arasındadır. Sıcaklık genelde pozitif değerlerdir (Şekil 2) .Yağış ortalaması 700 mm civarındadır (Tablo 1). Günlük toplam en yüksek yağış miktarı 238.2 kg/m^2 değeri ile 9 Kasım 1967'de görülmüştür [1].

Atakum İlçesi tipik Karadeniz iklimine sahiptir. Yazlar serin, kışlar soğuk ve yağışlıdır. Atakum'a hakim rüzgarlar havanın rutubetini azaltır. Yıllık nispi nem ortalaması %70'in üzerindedir. Yıllık yağış 750-1000 mm dolayındadır. Kar yağışı az olur ve uzun sürmez ve sahil kesiminde kar

kalmaz. İç bölgelere gidildikçe kar kalınlığı artar. İlçede en soğuk aylar Ocak ve Şubat, en sıcak ay ise Ağustos ayıdır.



Şekil 1: *Ani sel ve su baskını bölgesi Atakum İlçesinin konumu [1].*

1.2Sel, Ani Sel ve Su Baskını

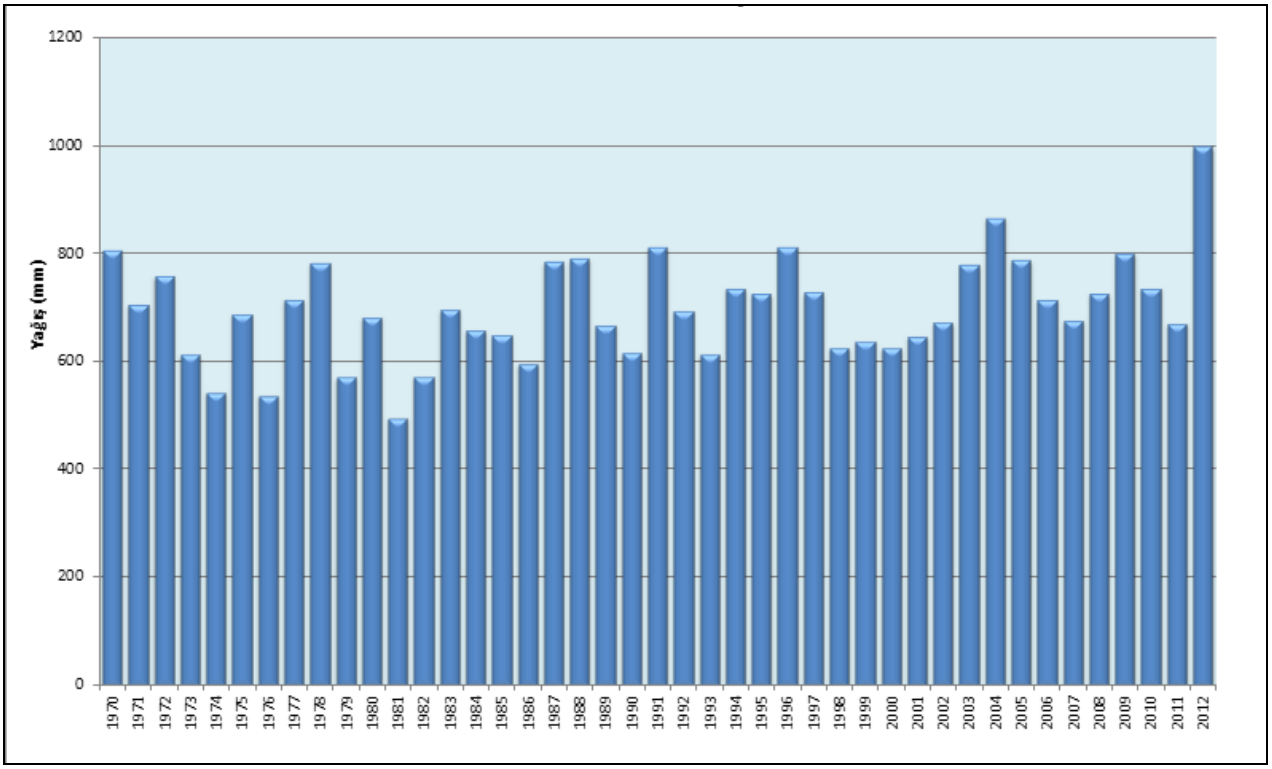
Akarsu yatağındaki mevcut su miktarının aşırı yağmur ve/veya kar erimesi neticesinde hızla artması ile yatak çevresine zarar vermesine sel denir. Seller oluş hızlarına göre sınıflandırılır ki burada sel-ani sel farkı ortaya çıkmaktadır. Öyle ki, aşırı yağışlardan sonraki birkaç saat içinde veya bir yerdeki 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 da su baskını denir.

2 AFET YÖNETİM MERKEZİNİN KURULMASI

7 Ağustos 2013 günü saat 14:54'te İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü Haber Merkezi'ne ulaşan 81 no'lu Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü uyarısına göre; akşam saatlerinde Samsun çevrelerinde yerel olarak kuvvetli sağanak yağış beklendiği, bu nedenle yaşanabilecek

olumsuzluklara karşı dikkatli ve tedbirli olunması gerektiği uyarısı alınmış, bunun üzerine 17 ilçe Kaymakamlığı ve Belediyesi ile ilgili kurumlar ivedi olarak uyarılmıştır (Şekil 3).

Ortalama Yağış Periyodu	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Toplam
1970 - 2010 Normali	58	52.1	57	58.9	51.2	48	30.4	36.7	52.7	91.9	80.3	76.7	693,9



Şekil 2: *Samsun yıllık yağışları [2].*

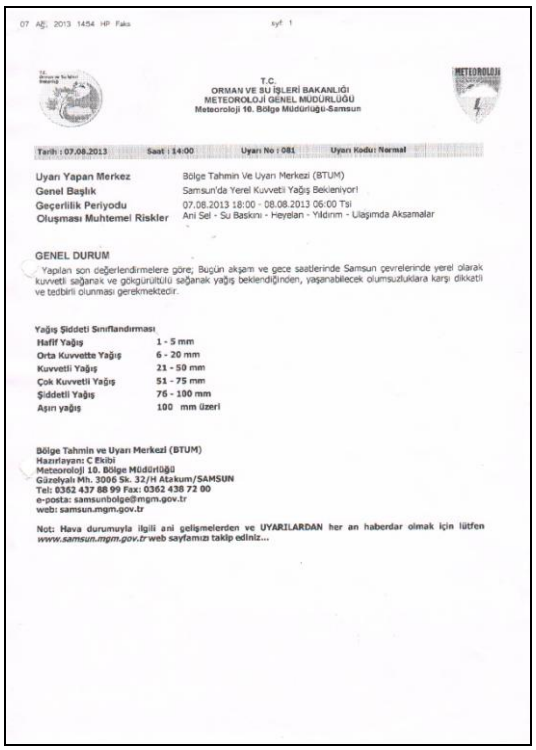
Tablo 1: Samsun İli İstatistiki verileri [2].

SAMSUN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1960 - 2012)											
Ortalama Sıcaklık (°C)	7.0	6.9	8.0	11.3	15.6	20.3	23.3	23.4	20.0	16.1	12.4	9.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.8	11.0	12.1	15.3	19.0	23.7	26.5	27.0	23.9	20.2	16.7	13.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4.1	3.8	4.8	7.9	12.0	16.2	19.2	19.6	16.5	12.9	9.1	6.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.5	3.2	3.3	4.3	6.2	8.1	8.4	8.0	6.2	4.4	3.4	2.3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.5	13.3	15.4	14.8	12.8	9.6	6.0	6.5	9.9	12.3	12.0	13.5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m^2)	64.4	53.9	60.3	58.9	49.8	47.3	32.8	37.9	51.9	84.0	85.2	79.7
	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1960 - 2012)*											
En Yüksek Sıcaklık (°C)	24.2	26.2	32.3	37.0	36.4	37.4	37.5	35.2	38.3	38.4	30.0	28.9

SAMSUN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
En Düşük Sıcaklık (°C)	-6.9	-7.4	-7.0	-2.4	2.7	9.0	13.6	14.0	7.0	1.5	-2.2	-4.0

7 Ağustos 2013 saat 23:30 sularında başlayan sağanak yağış, etkisini 05:00'ten itibaren arttırmış, bunun üzerine Samsun Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğünde Mülki İdare Amiri Başkanlığında, İl Afet ve Acil Durum Müdürü ve Meteoroloji 10. Bölge Müdürü başta olmak üzere; ilgili kurum temsilcilerinin katılımıyla, idari ve teknik personeller ile Afet Yönetim Merkezi oluşturulmuştur.

İhbarlar için Haber Merkezi'nde hazır bulunan mevcut personel sayısı arttırılmış (Şekil 4), Afet Yönetim Merkezi'nde aşırı yağış beklenen bölgenin 2 ve 3 boyutlu sayısal haritası, gelecek ihbarlar ve alınacak kararlar için kullanıma açılmıştır (Şekil 5). Yağışın anlık durumu Meteorolojik Radar Görüntülerinden takip edilmiş, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı oluşturulan 2 ve 3 boyutlu haritalar üzerinden yağışın yoğun olarak gözlendiği Atakum İlçesi ve civarında yerleşimin yoğun olarak gözlendiği mahalleler, taşkın potansiyeline sahip dereler ve vadiler izlenmiştir.



T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü-Samsun

Tarih : 07.08.2013 Saat : 14:00 Uyarı No : 081 Uyarı Kodu: Normal

Uyarı Yapan Merkez: Bölge Tahmin Ve Uyarı Merkezi (BTUM)
Genel Başlık: Samsun'da Yerel Kuvvetli Yağış Bekleniyor!
Geçerlilik Periyodu: 07.08.2013 18:00 - 08.08.2013 06:00 TSİ
Oluşması Muhtemel Riskler: Ani Sel - Su Baskını - Heyelan - Yıldırım - Ulaşımda Aksamalar

GENEL DURUM

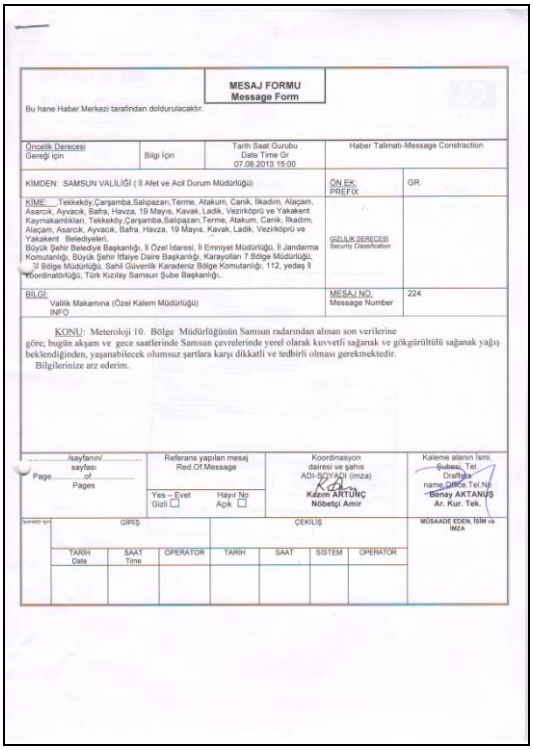
Yapılan son değerlendirmelere göre; Bugün akşam ve gece saatlerinde Samsun çevrelerinde yerel olarak kuvvetli sağanak ve gökgürültülü sağanak yağış beklendiğinden, yaşanabilecek olumsuzluklara karşı dikkatli ve tedbirli olunması gerekmektedir.

Yağış Şiddeti Sınıflandırması

Hafif Yağış	1 - 5 mm
Orta Kuvvette Yağış	6 - 20 mm
Kuvvetli Yağış	21 - 50 mm
Çok Kuvvetli Yağış	51 - 75 mm
Şiddetli Yağış	76 - 100 mm
Aşırı yağış	100 mm üzeri

Bölge Tahmin ve Uyarı Merkezi (BTUM)
Hazırlayan: C Ekibi
Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü
Güzelyalı Mh. 3006 Sk. 32/H Atakum/SAMSUN
Tel: 0362 437 88 99 Fax: 0362 436 72 00
e-posta: samsunbolge@mgm.gov.tr
web: samsun.mgm.gov.tr

Not: Hava durumuyla ilgili ani gelişmelerden ve UYARILARDAN her an haberdar olmak için lütfen www.samsun.mgm.gov.tr web sayfamızı takip ediniz...



MESAJ FORMU
Message Form

Bu hane Haber Merkezi tarafından doldurulacaktır.

Öncelik Derecesi / Gereği için / Bilgi için | Tarih Saat Grubu Date Time Gr 07.08.2013 15:00 | Haber Talimatı-Message Construction

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

KİME: Tekkeköy,Çarşamba,Salıpazarı,Terme, Atakum, Canik, İlkadım, Alaçam, Asarcık, Ayvacık, Bafra, Havza, 19 Mayıs, Kavak, Ladik, Vezirköprü ve Yakakent Kaymakamlıkları, Tekkeköy,Çarşamba,Salıpazarı,Terme, Atakum, Canik, İlkadım, Alaçam, Asarcık, Ayvacık, Bafra, Havza, 19 Mayıs, Kavak, Ladik, Vezirköprü ve Yakakent Belediyeleri,
Büyük Şehir Belediye Başkanlığı, İl Özel İdaresi, İl Emniyet Müdürlüğü, İl Jandarma Komutanlığı, Büyük Şehir İtfaiye Daire Başkanlığı, Karayolları 7.Bölge Müdürlüğü, 2. Bölge Müdürlüğü, Sahil Güvenlik Karadeniz Bölge Komutanlığı, 112, yedaş İl Koordinatörlüğü, Türk Kızılay Samsun Şube Başkanlığı.

GİZLİLİK DERECESİ Security Classification

BİLGİ: Valilik Makamına (Özel Kalem Müdürlüğü) INFO | MESAJ NO. Message Number | 224

KONU: Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğünün Samsun radarından alınan son verilerine göre; bugün akşam ve gece saatlerinde Samsun çevrelerinde yerel olarak kuvvetli sağanak ve gökgürültülü sağanak yağış beklendiğinden, yaşanabilecek olumsuz şartlara karşı dikkatli ve tedbirli olması gerekmektedir.
Bilgilerinize arz ederim.

...../sayfanın/..... sayfası Page..... of..... Pages

Referans yapılan mesaj Ref.Of.Message — Yes – Evet Gizli ☐ Hayır No Açık ☐

Koordinasyon dairesi ve şahıs ADI-SOYADI (imza) Kâzım ARTUNÇ Nöbetçi Amir

Kaleme alanın İsmi, Şubesi, Tel, Dahili ve name, Office, Tel. No Benay AKTANUŞ Ar. Kur. Tek.

GİRİŞ			ÇEKİLİŞ				MÜSAADE EDEN, İSİM ve İMZA
TARİH Date	SAAT Time	OPERATÖR	TARİH	SAAT	SİSTEM	OPERATÖR	

Şekil 3: 7 Ağustos 2013 tarihli Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğü uyarısı (solda) ve 17 ilçe Kaymakamlığı ve Belediyesi ile ilgili kurumlara yapılan İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü uyarısı (sağda)

2.1. Meteorolojik Değerlendirme

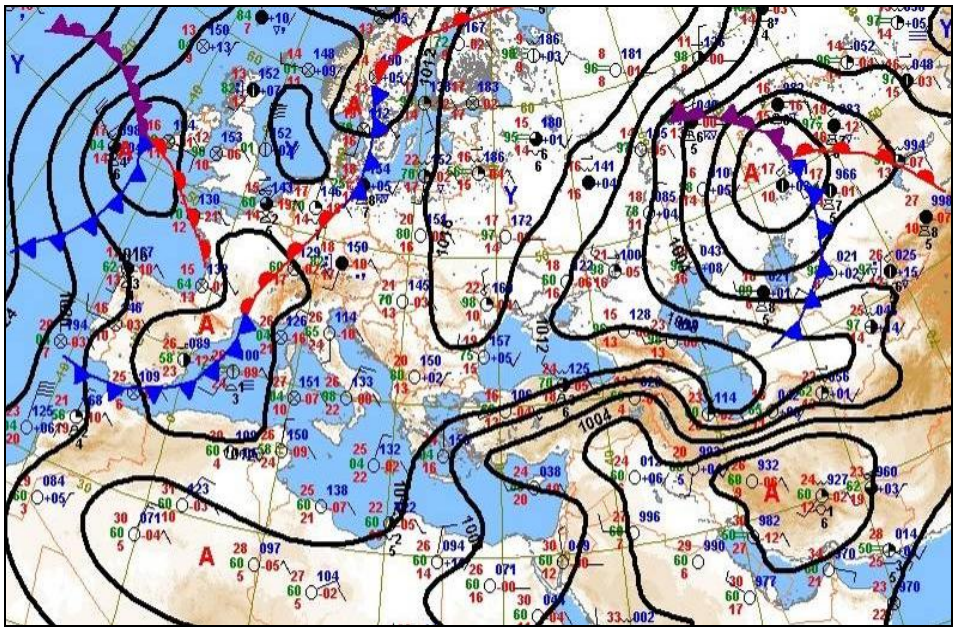
7 Ağustos 2013 00:00 GMT yer kartında Rusya üzerinde bulunan 996 mb merkezli alçak basınç ve buna bağlı cephesel sistemin uzantısı olan 1012 mb Kırım üzerinden Doğu Karadeniz üzerine sarkmış bulunmaktadır (Şekil 6). Samsun üzerinde de yine 1012 mb'lık basınç değeri hakimdir. Kuzeybatılı rüzgar akışlarıyla beraber özellikle kıyı kesimlerde yığılmalar yaparak gün içerisinde bu bölgelerde hafif yağışlar kaydedildi. Balkanların kuzeyinde ise yüksek basınç sistemi ile hemen batısında Orta Avrupa üzerinde başka bir cephesel sistem ile Akdeniz kaynaklı sıcak hava hakimdir.



Şekil 4: İhbarlar, araç takibi ve güncel gelişmeler Haber Merkezi'nce takip edilmektedir [3].



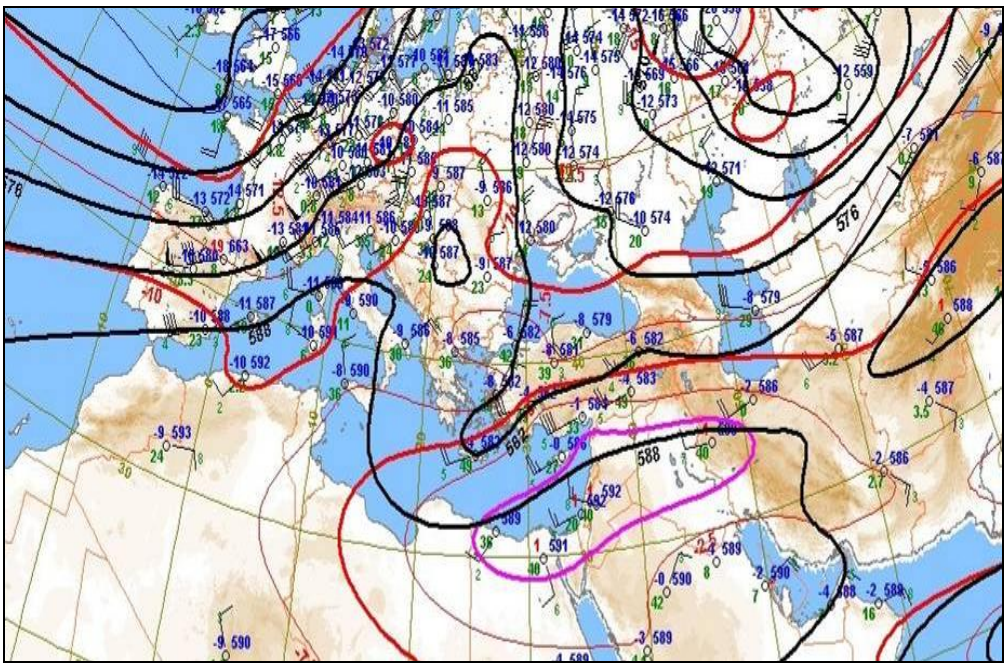
Şekil 5: Haber Merkezi'nden ekrana düşen ihbarlar, aşırı yağış beklenen bölgenin 2 ve 3 boyutlu sayısal haritası ve Meteorolojik Radar Görüntüleri Afet Yönetim Merkezi'nce takip edilmektedir [3].



Şekil 6: Sinoptik yer kartı (7 Ağustos 2013 00:00 GMT) [4]

500 mb seviyesinde ise yine aynı merkezde 558 dam'lik kontur (558×10 m=5580 m) değeri ve uzantısı 582'lik kontur değeri olarak Orta ve Doğu Karadeniz'i etkisi altına almıştır (Şekil 7). Hem kontur hem de izoterm trof hattı Rusya'dan Karadeniz kıyılarına kadar inmektedir. Zaten bunun etkisiyle bölge yağış almaktaydı. Kısacası atmosferin üst tabakalarında Karadeniz üzerinde serin bir hava hakim durumdadır. Yine bu seviyede de Avrupa üzerinde sıcak hava dalgası ile beraber sırt (yüksek kontur değerleri) mevcuttur.

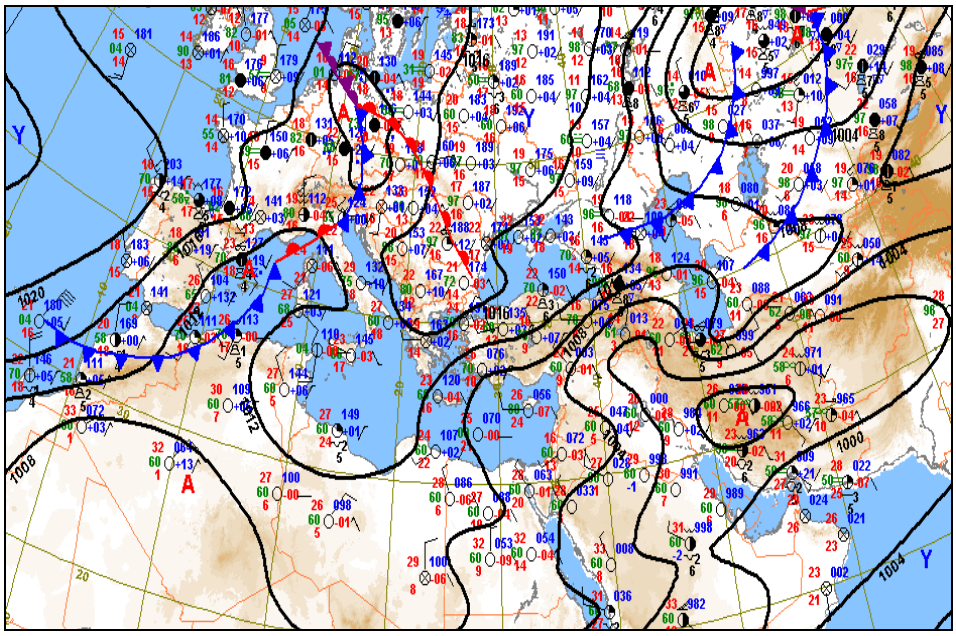
8 Ağustos 2013 08:00 GMT yer kartında, Rusya üzerinde bulunan alçak basınç merkezi ve soğuk havası hemen hemen aynı yerini ve değerlerini korumaktadır (Şekil 8). Soğuk cephesinin bir kolunun uzantısı Gürcistan üzerine kadar uzanmış bulunmaktadır. Bir önceki gün Orta Avrupa üzerinde olan cephesel sistemin sıcak cephesinin (sistemin önündeki sıcak havasının) ise sistemin bir miktar doğuya doğru hareketi ile Batı Karadeniz'in batısına kadar uzandığı görülmüştür. İki sistemi birbirinden ayıran yüksek basınç Balkanların ve Batı Karadeniz'in kuzeyinde bulunmaktadır. Dolayısıyla Orta Karadeniz üzerinde ciddi bir karışım sahası (Sıcak-soğuk hava karışımı) oluşmuştur.



Şekil 7: 500 mb Sıcaklık ve Yükseklik Kartı (7 Ağustos 2013 00:00 GMT) [4]

Gerek yüksek basıncın gerek ise alçak basınç sistemlerinin birbirini sıkıştırması sonucu Rusya üzerindeki cephesel sisteme ait olan nemlilik ve bulutluluk Samsun'a (Atakum) kadar uzanan bir koridor bulmuştur. Kuzey/kuzeybatıdan, güney/güneybatı istikametinde dar bir alanda, karaya yakın deniz suyu sıcaklıklarının yüksek olması sebebiyle, kıyılara yaklaştıkça hem yoğun kararsızlık sahası oluşturmuş hem de hareketini bu doğru üzerinden mikro ölçekte sürdürmeye başlamıştır.

8 Ağustos 2013 00:00 GMT 500 mb seviyesinde hem kontur hem de izoterm trofunun daha da derinleştiği ve Samsun üzerinden geçtiği görülmektedir (Şekil 9). Bu da Karadeniz üzerinde bulunan yoğun nemliliğin ve karışım sahasının oluşturduğu kararsızlık sahasının rotasını Atakum üzerine yöneltmiştir. Bu sistemin akışı 08 Ağustos öğle saatlerine kadar sürmüş, yüksek basıncın batıdan sokularak Rusya üzerindeki alçak merkezi doğuya doğru hareket ettirmesi sonucunda da yavaş yavaş etkisini kaybetmiştir. İlgili radar görüntüleri takip eden şekillerde verilmiştir (Şekil 10).



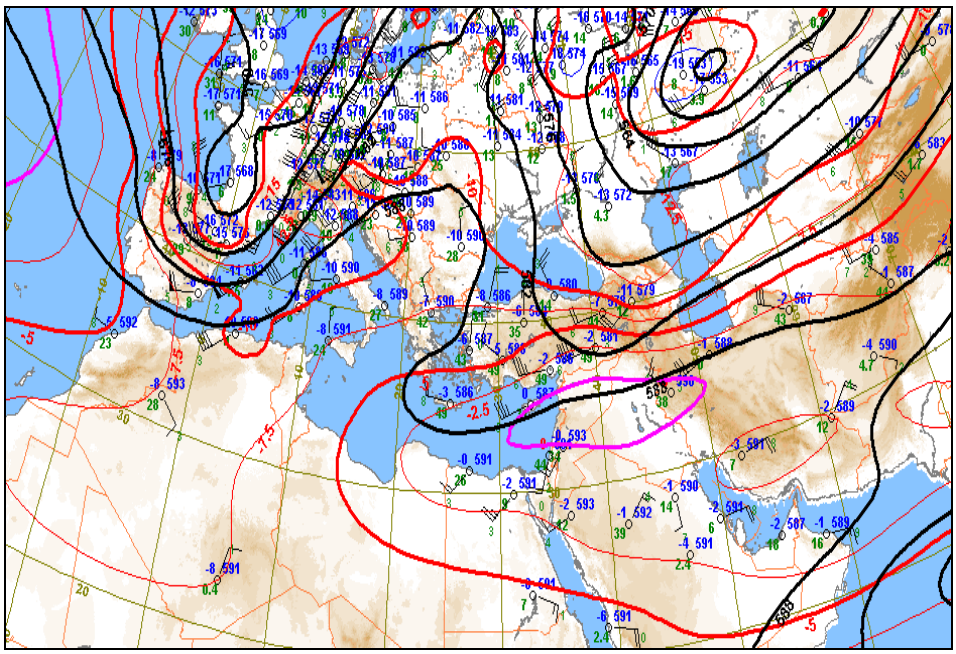
Şekil 8: Sinoptik yer kartı (8 Ağustos 2013 00:00 GMT) [4]

3 İHBARLAR VE İŞLEYİŞ

Atakum ilçesinden Haber Merkezi'ne ulaşan ani sel, su baskını, mahsur kalma ve diğer içerikli 121 ihbar üzerine Merkez Yerleşke'de hazır bulundurulan Samsun AFAD ekiplerinden 4

kurtarma aracı 2 kurtarma botu ve 20 personel ihbar bölgelerine ilk anda ivedi olarak sevk edilmiştir.

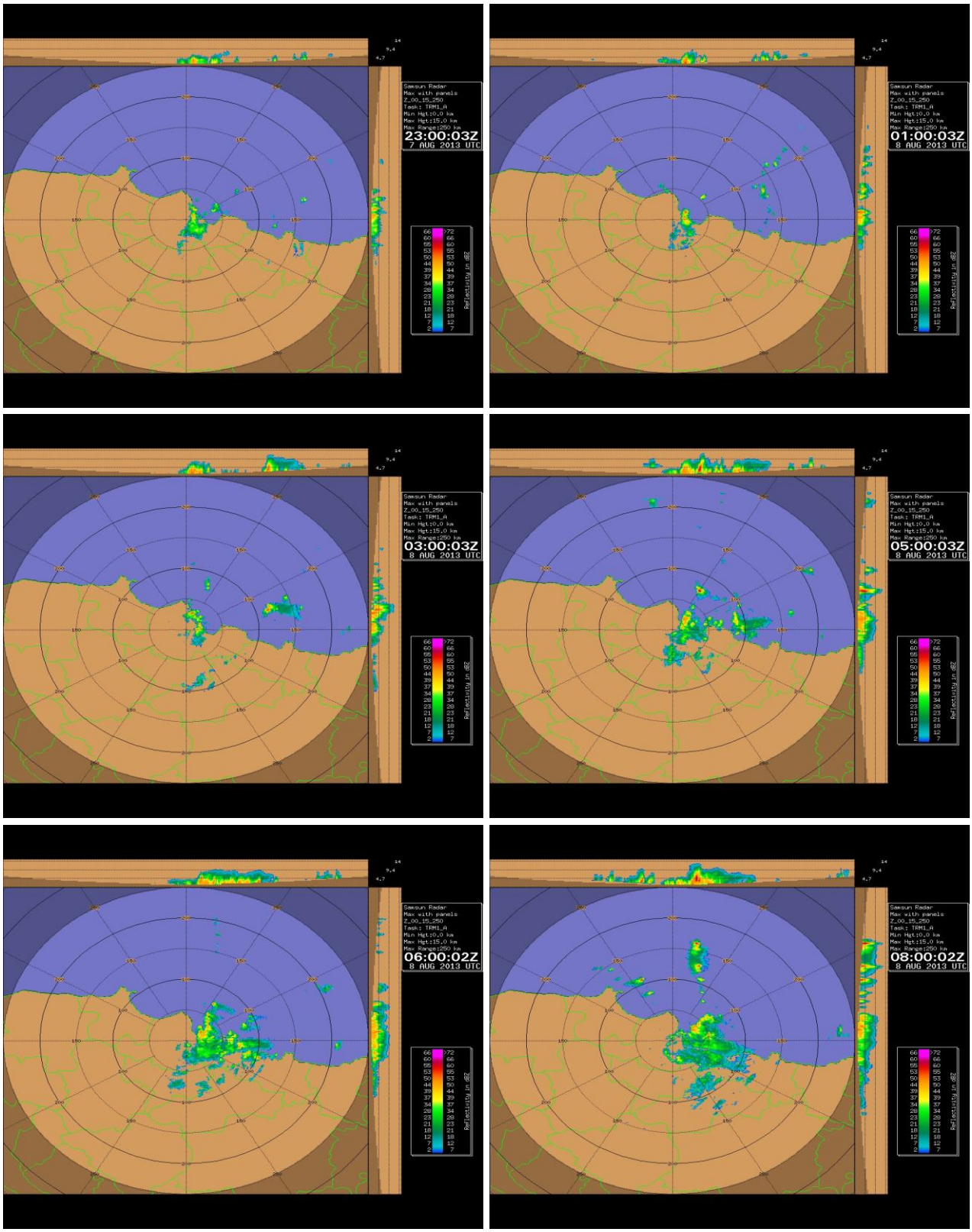
Afet Yönetim Merkezi'nde yağışın yoğun olarak yaşandığı ve potansiyel olarak yaşanacağı bölgeler, daha önceden sisteme aktarılan girdi verileri üzerinden takip edilmiştir. Bu veriler arasında 1/25000 ölçekli topografik haritalar [5], 1/25000 ölçekli uydu görüntüleri [6], yerleşim birimi merkezleri ve idari sınırları, birincil ve ikincil ulaşım ağları ile dereler sayılabilir. Sistem, literatürde sıkça kullanılan ArcGIS yazılımı üzerinden işletilmektedir.



Şekil 9: 500 mb Sıcaklık ve Yükseklik Kartı (8 Ağustos 2013 00:00 GMT) [4]

Afet Yönetim Merkezi'nde yağışın yoğun olarak devam ettiği Atakum bölgesi 2 ve 3 boyutlu modellerden izlenmiş, 8 Ağustos 2013 günü sabah saatlerinde yağışın devam ettiği sırada teknik personelce sahaya inilerek su baskınlarının yoğunlaştığı ve ulaşımın güçleştiği noktalardan koordinat alınarak afetin etki alanına ilişkin sayısal harita üretilmiştir (Şekil 11).

Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğünün aşırı yağış durumunun Atakum İlçesi ve civarından azalarak doğu ilçelerine doğru ilerlediği bilgisi üzerine, Afet Yönetim Merkezi çalışmaları 8 Ağustos 2013 akşam saatlerinde sonlandırılmıştır.

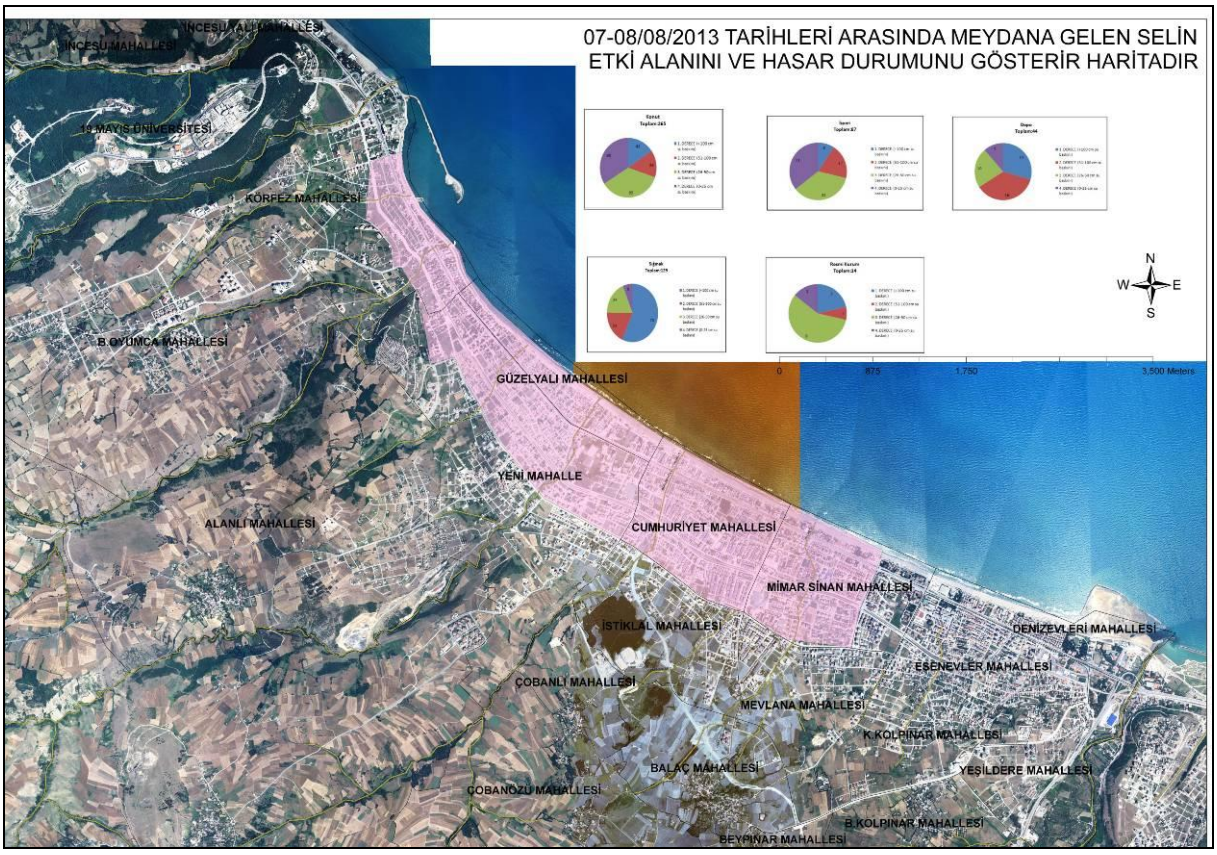


Şekil 10: 7-8 Ağustos 2013 tarihli radar görüntüleri[4]

4 AFETİN ETKİLERİ

Afet yönetim merkezi çalışmalarına müteakip 8-11 Ağustos 2013 tarihleri arasında su baskını afetine maruz kalan yapılarda (konut, işyeri, depo, sığınak ve resmi) ön hasar tespit çalışmalarına geçilmiştir (Şekil 12). Mevzuat gereği yapılan çalışmalarda yapının su alma derecesi 1 ila 4 arasında tanımlanmış ve maksimum su seviyesi cm mertebesi dikkate alınarak genel icmal çıkarılmıştır (Tablo 2). Genel icmale göre 9 mahallede toplam 263 konut, 88 işyeri, 44 depo, 129 sığınak ve 15 resmi yapı su baskını afetinden etkilenmiştir.

2012 yılında aynı gölgede yaşanan afette etki alanı 3.96 km^2 iken, bu yıl yaşanan afette etki alanı 5.51 km^2'dir (Şekil 13). 2012 yılında aynı bölgede yaşanan afette yağış miktarı 116.4 kg/m^2 iken, bu yıl yaşanan afette yağış miktarı 204.6 kg/m^2'dir. Buna karşın 2012 yılında Atakum'da tespit edilen su baskını sayısı 594 iken, bu yılki tespit sayısı 539'dur.



Şekil 11: Afetin etki alanını gösterir harita.



Şekil 12: Afetin etkileri [7]

Tablo 2: Atakum İlçesinde su baskı afetinden etkilenen yapıların genel icmali.

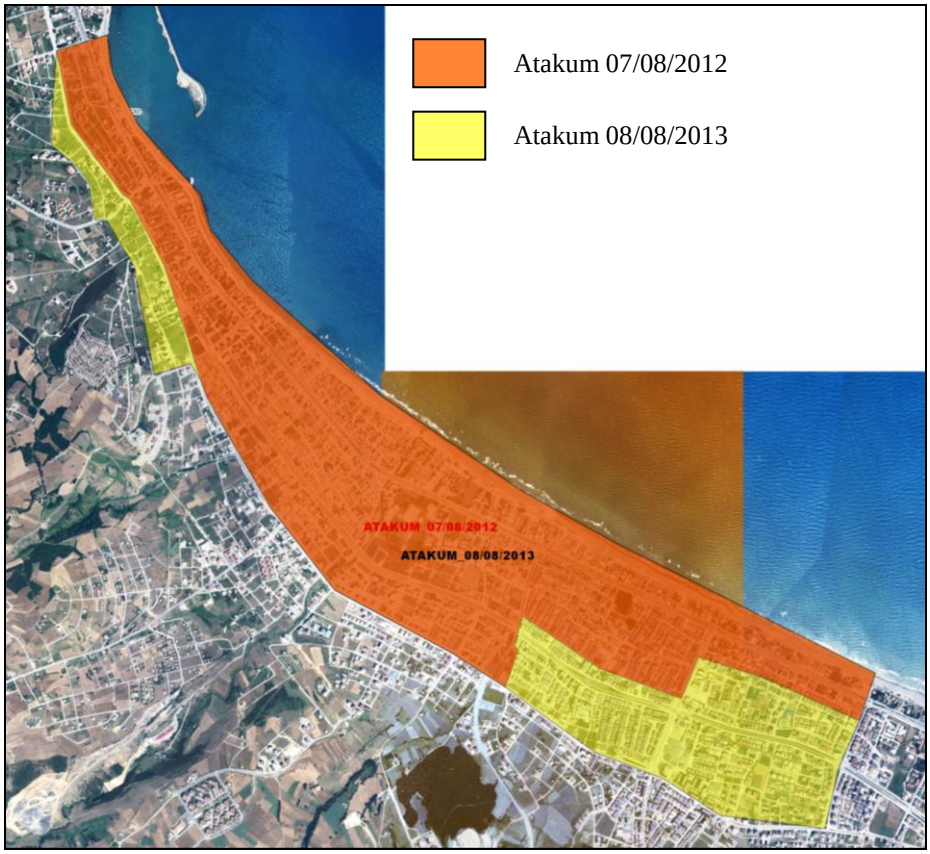
ATAKUM MAHALLELERİ GENEL İCMALİ		SU BASKINI AFETİNDEN ETKİLENEN					Su Baskın Tespiti Sayısı
		KONUT	İŞYERİ	DEPO	SIĞINAK	RESMİ	
	TOPLAM ETKİLENEN	263	88	44	129	15	539
ETKİ	1. DERECE (+100 cm su baskını)	41	8	13	73	3	135
	2. DERECE (51-100 cm su baskını)	39	17	16	24	1	96
	3. DERECE (26-50 cm su baskını)	93	32	10	24	9	159
	4. DERECE (0-25 cm su baskını)	90	31	5	8	2	134

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

7-8 Ağustos 2013'te aşırı yağış sonucu Atakum İlçesinde yaşanan ani sel ve su baskını afetlerinin yönetimi Afet Yönetim Merkezi'nin özverili çalışmaları sonucu başarıyla sonlanmıştır.

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.

Yağış miktarının yaklaşık 2 katına ulaşmasına karşın su baskını sayısındaki düşüşte, 2012 yılında belirlenen afet etki alanı üzerinde bulunan ve geçmişte taşkınlara neden olmuş Afanlı, Kuruzeytin ve Değirmendere gibi başlıca derelerin Samsun Büyükşehir Belediyesi ve DSİ 7. Bölge Müdürlüğü tarafından ıslah edilmesi, Meteorolojik Radar Görüntüleri ve CBS tabanlı haritaların etkin kullanımı, riskli bölgelerin zamanında uyarılması, kurumlar arası koordinasyon ve Samsun Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğünce sürdürülen afet önleyici tedbir eğitimleri etkili olmuştur.



Şekil 13: Aynı bölgede yaşanan afetin 2012 ve 2013 yıllarındaki etki alanı

Afetin etki alanına ilişkin 8 Ağustos 2013 günü yağış anında yerinde incelemeye müteakip üretilen sayısal haritanın, aynı gün yağış anında takip edilen Meteorolojik Radar Görüntüleriyle de uyuştuğu görülmüştür.

Coğrafi Bilgi Sistemi veritabanının meteorolojik radar görüntüleriyle birlikte anlık 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, planlama çalışmaları sırasında coğrafi bilgi sistemi verilerinin sisteme işlenmesi ve kolay işletilebilir olması ile Meteorolojik Radar Görüntülerinin bu verilerle müştereken kullanılabilir olması gibi en önemli adımların ivedilikle atılması gerektiğini ortaya koymuştur.

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

KAYNAKLAR

[1] **Google Earth**, 2013.

[2] www.dmi.gov.tr, *Analizler*, 2013.

[3] **Ersan A.**, **Çoşkunlu E.**, **Aysu Y.**, **Uçarlı L.** ve **Koparmal E.**, 2012. *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.

[4] **Meteoroloji Genel Müdürlüğü**

[5] **MTA,** *1/25000 ölçekli topografik haritalar*.

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

[7] http://www.atakumhaber.com, *Atakum'da Bayram "Sel"i*, 08/08/2013.

18 Temmuz 2013 tarihinde Hatay'ın Dörtyol İlçesi Çökek Yaylasında Meydana Gelen Sel Felaketinin Uydu ve Radar Görüntüleri ile RAOB ve Sayısal Model Çıktılarını Kullanarak Teknik Analizi

Ümit TURGUT
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Ankara
uturgut06@hotmail.com

ÖZET

Hatay'ın Dörtyol ilçesi 70 metre rakımlı, Doğu Toroslar'ın bir uzantısı olan ve Toroslar'a dik uzanan Amanos (Nur-Gâvur) Dağlarının güneydoğusunda bulunmaktadır. 600-700 metre rakımlı Çökek yaylası Dörtyol ilçesinden geçen Özerli Çayının yukarı kısmını oluşturan Çökmezimen Çayının, Çınar ve Yıldırım dereleri havzası içerisinde kurulmuştur. İklim koşulları Amanos Dağları'nda, Karadeniz-Akdeniz florası birlikte bulunur ve oldukça çeşitli bir ekosisteme sahiptir.

Bölgede 18 Temmuz 2013 tarihinde akşam 22.30 TSİ civarında başlayan şiddetli sağanak yağış yaklaşık 8 saat sürmüş ve metrekareye 121 kg yağış düşmüştür. Bunun sonucunda ilçede sel ve heyelan meydana gelmiştir. Heyelanın oluştuğu Çökek Yaylası'nda 5 kişi ölmüş, 12 kişi yaralanmıştır.

19 Temmuz 2013 00.00 Z tarihili Adana tempini RAOB programı kullanarak Hatay'daki yer koşullarına göre restore edildiğinde karşımıza çıkan diyagramda 298 J/kg CAPE değeri bulunmuştur. CAPE değerinin kuvvetli çıkmamasının sebebi, alt seviyelerde denizden olan nem adveksiyonudur.

Temp diyagramında alt seviyede rüzgâr güneybatı bileşenlerden esmekte ve Dörtyol'a doğru yoğun nem adveksiyonu yapmaktadır. WRF 19 Temmuz 2013 tarihli 00.00 Z 10 metre yer rüzgarı model çıktılarına göre bölgeye denizden nem adveksiyonu ve aynı zamanda konverjans alanı bulunmaktadır. İskenderun körfezinde 28 derece deniz suyu sıcaklığı (SST) ölçümü çok yüksek bir değer olup, sıcak denizden aşağı seviyelere gerçekleşen nem adveksiyonu konverjansla birleşince yoğun yağış potansiyelini arttırmaktadır. Temp diyagramına göre 600 mb sabit basınç seviyesine kadar hava nemli, 600 mb'ın üzerinde ise havanın oldukça kuru olduğu görülüyor. Bölgedeki cumulonimbus bulutlarının maksimum yüksekliği RAOB sonucuna göre 5,5 km çıkmaktadır. Eğer CAPE değeri yüksek çıkıp bulutlar yüksek tepe yapsaydı, microburst oluşup, oldukça kuvvetli rüzgâr hamlelerinin görülebileceği sonucuna ulaşılabilinirdi.

Temp diyagramında LFC seviyesi sadece 749 metredeydi. LFC (serbest konveksiyon seviyesi) hava kütlesinin hiçbir mekanik etkinin yardımı olmadan kendi kendine yükselebilme kabiliyetinin başladığı seviyeye serbest konveksiyon seviyesi olarak tanımlanabilir. LFC yüksek nem oranı ve sıcaklık olduğu hallerde alçalır. Diyagramda yer sıcaklığının 25.3 olup,

nem oranının %86 olması LFC'yi alçak kılmaktadır. LFC'nin yüksekliği hemen hemen yaylaların bulunduğu bir rakım seviyesindeydi. (Heyelanın olduğu Çökek Yaylası'na bakınca 600-700 m arası rakıma sahip olduğu görülmektedir. Bu da yağışın ilçe merkezinden daha kuvvetli olma ihtimalinin yüksek olduğunun göstergesidir) Amanoslar boyunca mekanik olarak kaldırılan hava kütlesi 749 metre yükseldikten sonra artık kendi başına denge seviyesine (EL) kadar yükselebilecek niteliktedir.

Temp diyagramında dikkati çeken bir başka özellik; Dörtyol civarında alt seviyede yoğunlaşma depresyonunun küçük olması, yamaç yükselmesi ve alçaktaki LFC'yi de bir kenara bırakırsak, yaklaşık 1.5 km kalınlığa varabilen stratiform tipi bulutlarının varlığına imkân vermektedir. 850 mb seviyesi modele göre 16.3 derece, deniz suyu sıcaklığı ise 28.4 derece olmasının, bu bulutların bu derece yoğun olmasında etkisi çok büyüktür.

WRF 19 Temmuz 2013 00.00 Z 500 mb vortisiti çıktısına bakıldığında bölgedeki pozitif vortisiti alanı görülüyor. Pozitif vortisiti, dinamik konveksiyonu arttırarak kuvvetli yağış ve fırtına ihtimalini artırmaktadır. 300 seviyesindeki diverjans hava parselini elektrik süpürgesi gibi çekerek, dinamik konveksiyonu arttırmakta, 500 mb siklonik vortisiti adveksiyonu da bu artışa destek olmaktadır. Yukarı seviyedeki soğuk hava adveksiyonu hem konvektif enerjiyi arttırmakta hem de yükselmeyle hava parselinin yükselmesine neden olmaktadır. Bölge de 4,0-4,5 cm (RAOB'ta 4,21 cm) gibi oldukça yüksek PW (yağışa geçebilir su miktarı) bulunmaktadır. Yoğunlaşma depresyonunun küçük, PW değerinin ise büyük olduğu alanlarda kuvvetli yağışlar görülür. Yağışın bu kadar fazla olmasının en büyük sorumlularından biridir.

Kuvvetli yağışa neden olan bulutların hareketinde 700 mb rüzgarı etkili olmuştur. 700 mb rüzgârının 15 dereceden 14 kt esmesi yağışlı kütlenin güney batıya doğru yavaş hareket etmesini sağlamaktadır. Hodograf ürününün de kuzeyli 700 mb rüzgârının hayli zayıf olduğu görülmektedir. Bu da yağışa neden olan bulut kütlesinin daha bölgede yavaş hareketi anlamına gelmektedir.. Ayrıca sadece 700 mb değil, 700 mb'a yakın seviyelerin rüzgârını dikkate alırsak da hareketinin oldukça yavaş olduğunu ve güneyli yönlere doğru olduğu görülmektedir. Radar görüntülerine göre yağışa neden olan kütlenin önce güneydoğuya doğru sonra ise güneybatıya doğru hareket ettiği görülmektedir. Bölgenin dağlık bir yapıya sahip olması orografik yükselmeden ve sürtünme yoluyla konverjanstan dolayı yağışın daha kuvvetli olmasını sağlamaktadır. Bölgenin fiziki haritasına göre güneydoğu ve doğusunda dağlık alanların olduğu görülüyor. Aynı yerde uzun süre kalması, yağışa neden olan kütlenin düşük bulut tabanı sebebiyle güneydoğu ve doğudaki dağlara sıkışmasına bağlanabilir.

Atmosferin üst seviyelerinde hava sıcaklığının çok düşük olmaması nedeniyle bölgede kayda değer bir şimşek hadisesine de rastlanılmamıştır. Oluşan yağış yükselme ile ortaya çıkan kümüliform yapıdan da meydana gelmiş de olabilir ama bulut içinde yaklaşık 4 km'den fazla bir derinlikte sıfır derecenin üstünde bir sıcaklığın olması ve ortalama bulut tepe sıcaklığının -5 derece civarlarında bulunması, graupel oluşumunu olumsuz etkilediğinden, bulut içinde pozitif ve negatif elektrik kanalları pek fazla ayrışamamasına neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler-Hatay, Sel, Dörtyol, Çökek Yaylası, RAOB, Temp Diyagramı, WRF, LFC, PW, Hodograf

1. GİRİŞ

Bölgede 18 Temmuz 2013 tarihinde akşam 22.30 TSİ civarında başlayan şiddetli sağanak yağış yaklaşık 8 saat sürmüş ve metrekareye 121,4 kg yağış düşmüştür. Bunun sonucunda ilçede sel ve heyelan meydana gelmiştir. Heyelanın oluştuğu Çökek Yaylası'nda 5 kişi ölmüş,

12 kişi ise yaralanmıştır. Son 24 saat içerisinde çevre istasyonlardan İskenderun'da 7.8, Samandağ'da 13.8, Osmaniye'de 7.0, Kadirli 'de ise 1.0 kg/m^2 yağış kaydedilirken, Hatay Merkez, Ceyhan ve Karaisalı'da yağış kaydedilmemiştir.
Meydana gelen sel ve heyelan en fazla Çökek Yaylası ve Karakese Belde merkezinde etkili olmuştur. Çökek yaylasının hemen hemen tamamında yüksek oranda maddi hasar meydana gelmiştir. Altı ev tamamen yıkılmış, çok sayıda ev kullanılamaz hale gelmiştir. Birçok araç toprak altında kalmış, altyapı kullanılamayacak derecede tahrip olmuştur.

1.1.Hatay İli Dörtyol İlçesi'nin coğrafik özellikleri ve iklimsel yapısı

Hatay'ın Dörtyol ilçesi 70 metre rakımlı, Doğu Toroslar'ın bir uzantısı olan ve Toroslar'a dik uzanan Amanos (Nur-Gâvur) Dağlarının güneydoğusunda bulunmaktadır ***(Resim.1).***

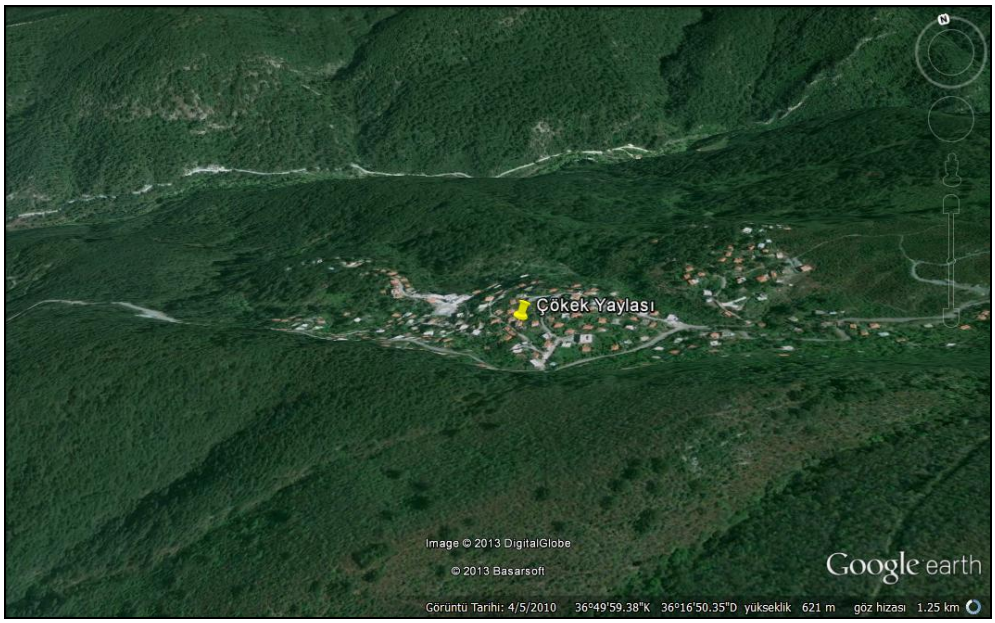


Resim 1:Hatay ili fiziki haritası

İklim koşulları Amanos Dağları'nda, Karadeniz-Akdeniz florası birlikte bulunur ve oldukça çeşitli bir ekosisteme sahiptir. İklim koşulları içinde bulunduğu Akdeniz bölgesinden farklılıklar gösterir. Yaz yağışları diğer Akdeniz Bölgesi illerine göre oldukça fazla olup, yoğunlaşma sıcaklığı, karışma oranı ve buhar basıncı bakımından Türkiye'nin en nemli bölgesidir. Temmuz ayında Hatay Samandağ istasyonunun ortalama buhar basıncı 29,6 hPa'ya kadar çıkmakla birlikte, en fazla yağış ilimiz Rize'nin ortalama buhar basıncı 21,9 hPa'dır. Ayrıca bölge, Türkiye'de en fazla sea breeze front (deniz meltemi cephesi) görülen yerdir.

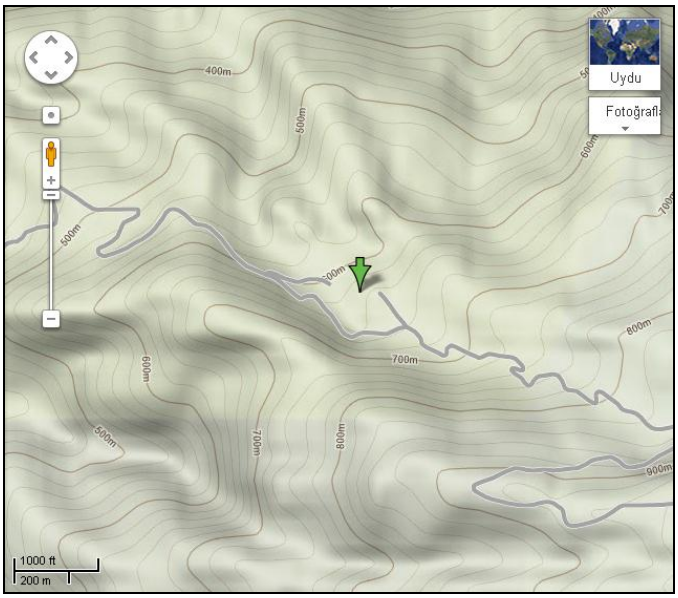
1.2. Çökek yaylasının coğrafik özellikleri ve toprak yapısı

Çökek yaylası, Dörtyol ilçesinden geçen Özerli Çayının yukarı kısmını oluşturan Çökmezimen Çayının Çınar ve Yıldırım dereleri havzası içerisinde kurulmuştur. Çökek Yaylasının içerisinden Topaktaş ve diğer yaylaların yolu geçmektedir ***(Resim .2).***



Resim 2: Çökek yaylası uydu görüntüsü

Bölge deniz seviyesinden 600-700 metre yüksekte olup *(Şekil .1),* yüksek eğimli olmasından dolayı ana kaya ve toprak yapısı akmaya uygundur. Hakim anakaya serpantindir. Serpantinler zayıf kayaç özelliğinde olup düşük kohezyonlu ve kaygan yüzeylere sahip, kırık ve çatlıklı yüzeylerden oluşan çok parçalı bir özellik göstermektedir. Serpantin anakaya üzerindeki ayrışmış zemin ve toprak kısmı üzerindeki bitki örtüsü ile birlikte, aşırı yağış ve eğim nedeni ile tamamen sıvılaşarak çamur akmalarını oluşturabilecek özelliktedir *(Resim. 3).*



Şekil 1: Çökek yaylası izohips haritası



Resim 3: Çökek yaylası yolunun üst kısmında akmalar (A,B,C,D akıntı yolu)

2. VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

Bölgenin coğrafik konumu ve özellikleri Doğu Akdeniz fiziki ve izohips haritaları ile uydu görüntüleri incelenerek belirlenmiştir.

19 Temmuz 2013 aktuel yer basınç ve 500 hPa haritaları METCAP'tan, uydu ve radar görüntüleri Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü intranet sayfasından, sayısal tahmin modelleri ürünleri Sayısal Tahmin Şube Müdürlüğü intranet sayfasından alınmıştır. İnteraktif ECMWF model analizlerinde eumetrain.org'tan yararlanılmıştır.

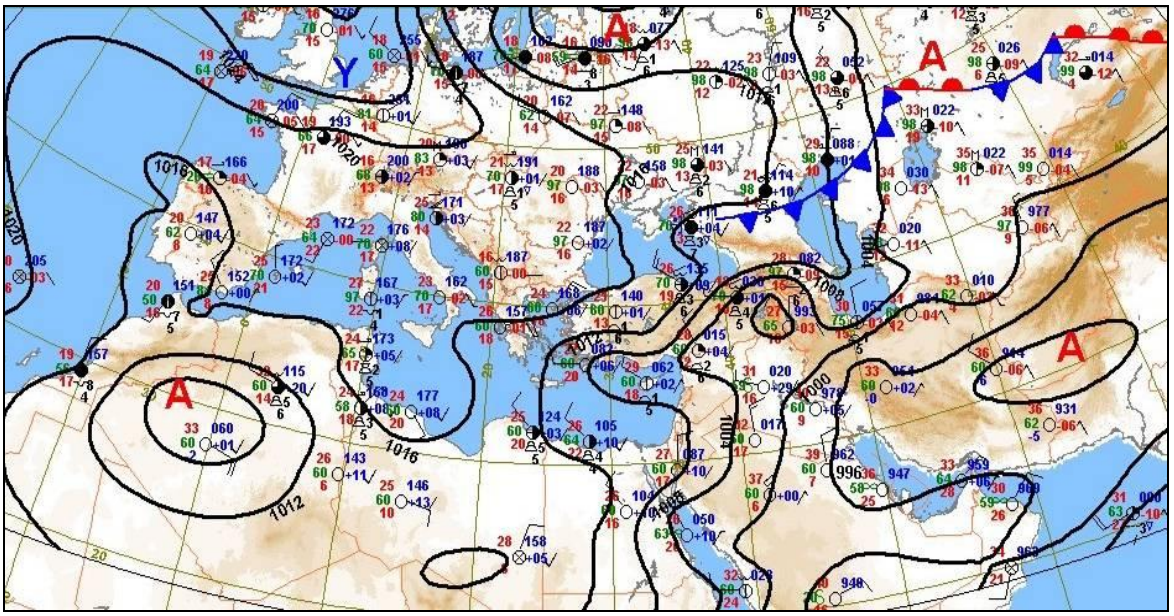
19 Temmuz 2013 00.00 Z tarihili Adana tempi RAOB programı kullanarak Hatay'daki yer koşullarına göre (ARL-NOAA sayfasından Dörtyol'a ait 19 Temmuz 2013 00:00Z tarihli GFS verileri elde edildi. Yer sıcaklığı, yoğunlaşma sıcaklığı ve rüzgâr verisini de Dörtyol ilçesine ait sabaha karşı 03:00 rasat verilerine göre model ürünü üzerinde modifiye ederek RAOB programı kullanarak temp diyagramı çizdirildi). restore edilmiştir.

3. VERİLERİN ANALİZİ VE YORUMLANMASI

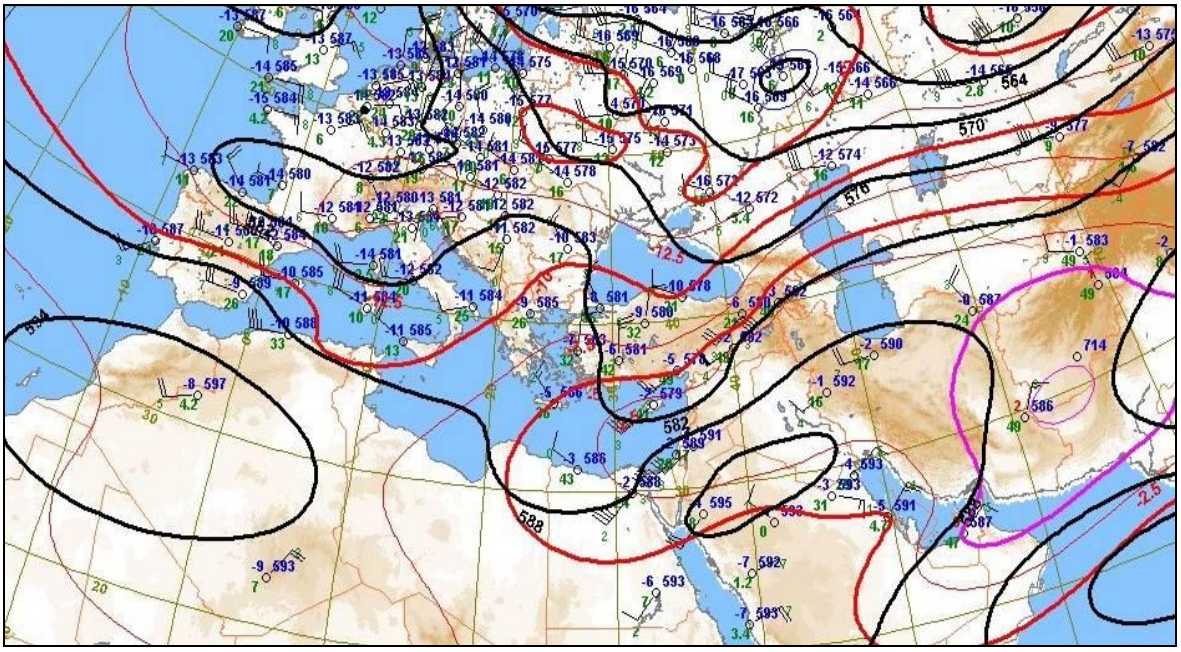
3.1. 19 Temmuz 2013 00.00 Z Aktuel haritaların yorumlanması

19 Temmuz 2013 00.00 Z yer haritasında 1000 mb'lık Basra alçak basınç merkezinin Doğu Anadolu'nun güneydoğusunda, 1004 mb'lık izobar eğrisinin Doğu Anadolu üzerinden Doğu akdeniz'in doğusunu içine aldığı görülmektedir. Basra alçak basınç merkezinin güneydoğu kesimlerden güney ve iç bölgelere doğru sıcak havasıyla birlikte bir boyun şeklinde sokulduğu, ülkemiz genelinin bu basınç merkezinin etkisinde olduğu dikkati çekmektedir. Doğu Akdeniz'in doğusunda 1004 mb'lık izobar akışı kuzeydoğudan keskin bir dönüşle kuzeybatıya doğru döndüğü görülmektedir (*Şekil 2)*.

19 Temmuz 2013 00.00 Z 500 hPa haritasında Karadeniz üzerindeki izoterm trofunun Doğu Akdeniz'in iç kesimlerine kadar uzandığı, Doğu Akdeniz üzerinden -5 derecelik izotermin geçtiği, ülkemiz genelinin 582 dm değerli konturun etkisinde olduğu, Karadeniz üzerinden iç bölgelere doğru inen 500 hPa trofunun Doğu akdeniz'in batısına kadar düştüğü görülmektedir. Bölge güneybatılı akışlarla birlikte 500 hPa'da bu trofunun hemen önünde bulunmaktadır (*Şekil 3)*.

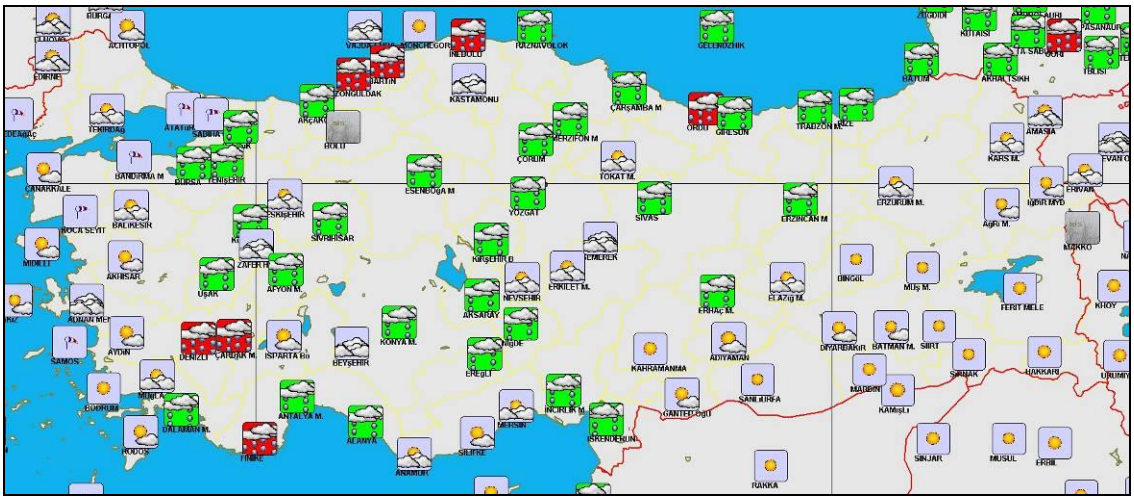


Şekil 2: 19 Temmuz 2013 00.00 Z yer haritası



Şekil 3: 19 Temmuz 2013 00.00 Z 500 hPa haritası

18 Temmuz 2013 ülkemizde gerçekleşen hava durumlarına bakıldığında 500 hPa'da Karadeniz üzerinden inen soğuk hava, trof geçişi ve yer seviyesinde etkili olan sıcak karekterli Basra alçak basıncı nedeniyle oldukça geniş bir alanda yağış görülmüştür. Bu yağışların Akdeniz bölgesinde yerel olduğu dikkati çekmektedir *(Şekil 4)*.

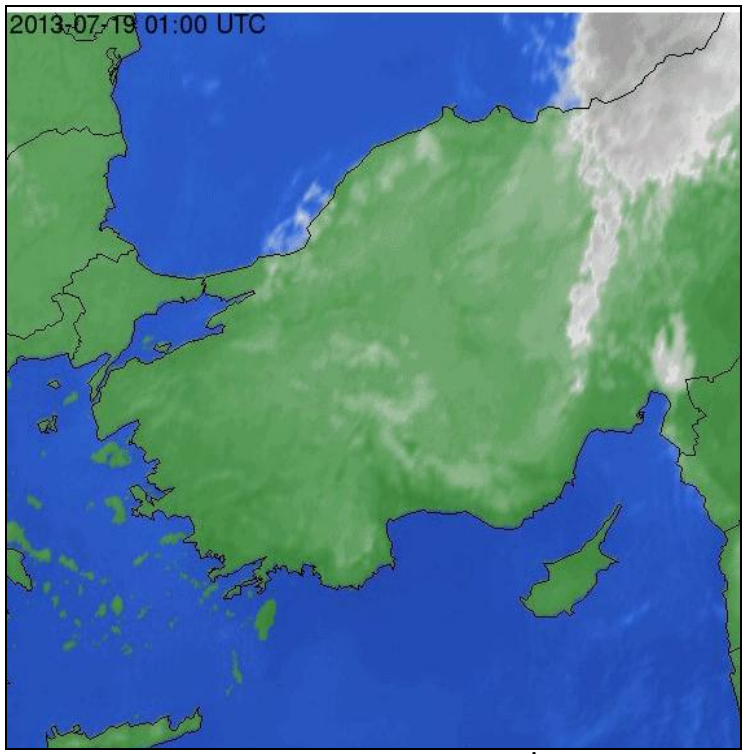


Şekil 4: 18 Temmuz 2013 gerçekleşen hava durumu

3.2. 19 Temmuz 2013 Uydu ve radar görüntülerinin yorumlanması

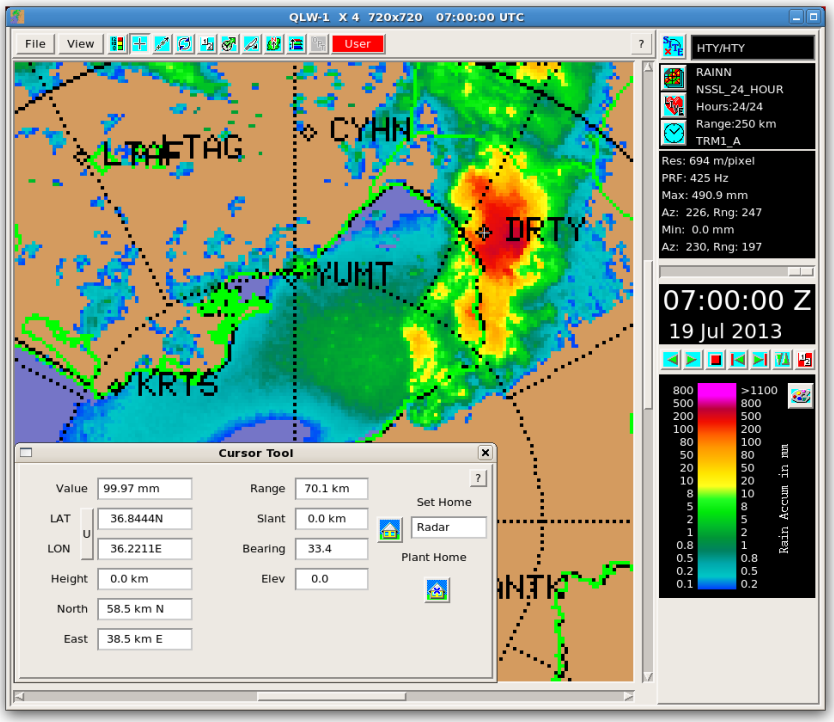
Sel ve heyelan olayının meydana geldiği 19 Temmuz 2013'ün ilk saatlerine ait uydu görüntüsü incelendiğinde (*Şekil 5)* ülkemizin kuzeydoğu kesimlerinde yoğun bir bulutlanmanın olduğu görülmektedir.

Doğu Karadeniz'den İç Anadolu'nun doğusuna kadar uzanan bu kütlenin yanında Hatay, Osmaniye ve Adana arasında kalan üçgende oldukça lokal ve sığ sayılabilecek bir bulut kütlesinin varlığı da dikkati çekmektedir (*Şekil 5)*. Düşük tabanlı olarak nitelendirebileceğimiz bu bulut kütlesinin 6 saatlik hareketi incelendiğinde sadece bu üçgende varlığını sürdürdüğü ve oldukça lokal olduğu görülmektedir.



Şekil 5: 19 Temmuz 2013 01 Z (04.00 TSİ) uydu görüntüsü

19 Temmuz 2013 tarihli Hatay radarı 24 saatlik toplam yağış verisi (*Şekil 6)* incelendiğinde sel ve heyelan felaketinin yaşandığı bölgede 99,97 mm yağışın düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 6: 19 Temmuz 2013 Hatay radarı 24 saatlik toplam yağış ürünü

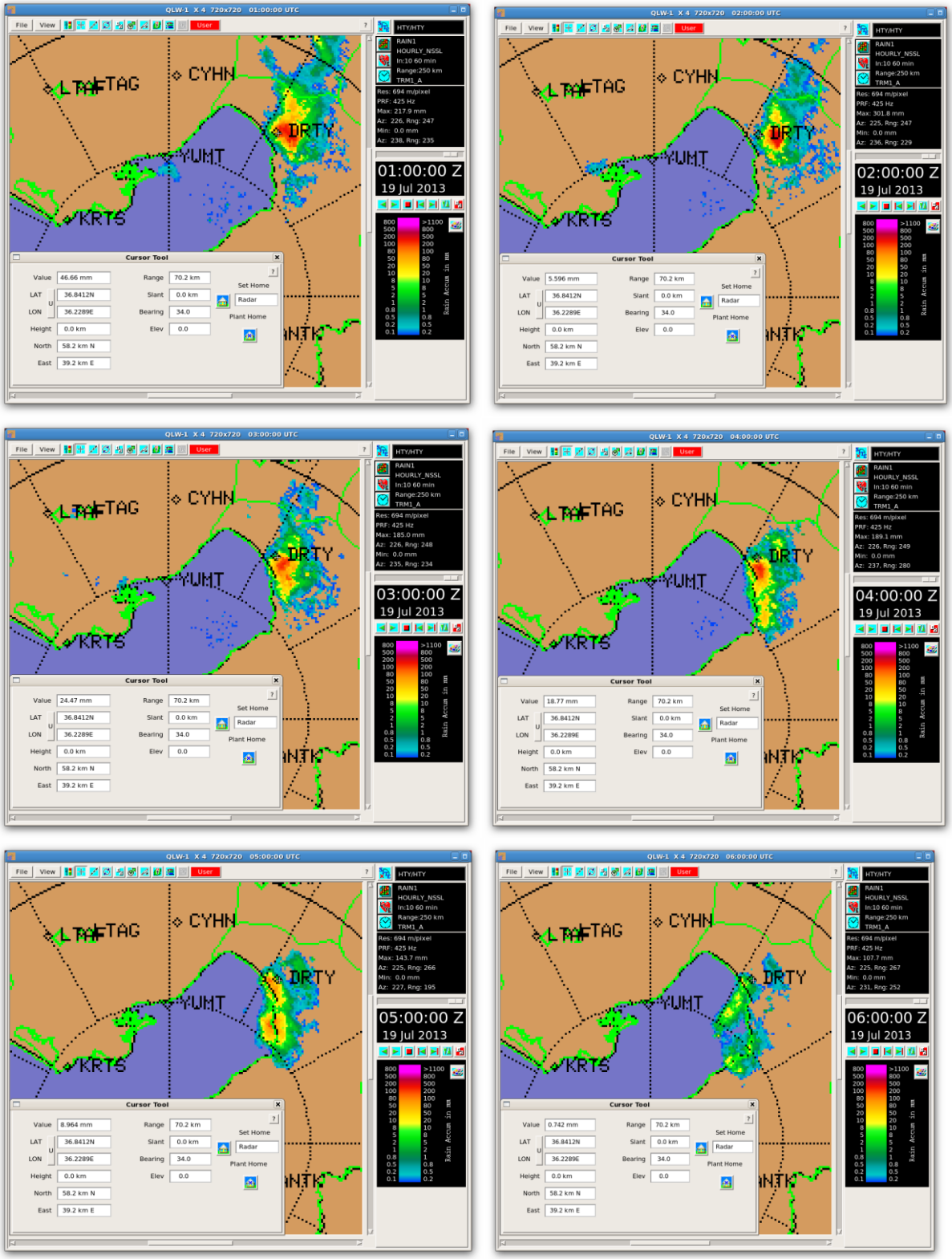
19 Temmuz 2013 tarihli Hatay radarı saatlik toplam yağış verileri incelendiğinde sel ve heyelan felaketinin yaşandığı bölgede 00.00 - 01.00 Z (03.00 - 04.00 TSİ) aralığında 46,66 mm, 01.00 – 02.00 Z (04.00 – 05.00 TSİ) aralığında 5,59 mm, 02.00 – 03.00 Z (05.00 – 06.00 TSİ) aralığında 24,47 mm, 03.00 – 04.00 Z (06.00 – 07.00 TSİ) aralığında 18,77 mm, 04.00 – 05.00 Z (07.00 – 08.00 TSİ) aralığında 8,96 mm, 05.00 – 06.00 Z (08.00 – 09.00 TSİ) aralığında 0,74 mm yağışın düştüğü tespit edilmiştir. Saatlik yağış verildiği toplandığında 105,19 mm yağışın düştüğü tespit edilmiştir (*Şekil 7).* 24 saatlik toplam yağışla (99,97 mm) arasında 5,22 mm'lik farkın koordinat seçiminde yaşanılan mikro ölçekli hatalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Hatay Dörtyol (17962 nolu) otomatik meteoroloji istasyonuna ait toplam yağış ölçüm verisi 121 kg'dır *(Tablo 1).*

	Dörtyol 17962
Tarih	Yağış., 1 saat toplam
2013-07-19 00:00	0.0
2013-07-19 01:00	0.0
2013-07-19 02:00	4.2
2013-07-19 03:00	47.0
2013-07-19 04:00	58.2
2013-07-19 05:00	11.6
2013-07-19 06:00	0.0

<< < 1 /1 > >> İstatistikleri göster

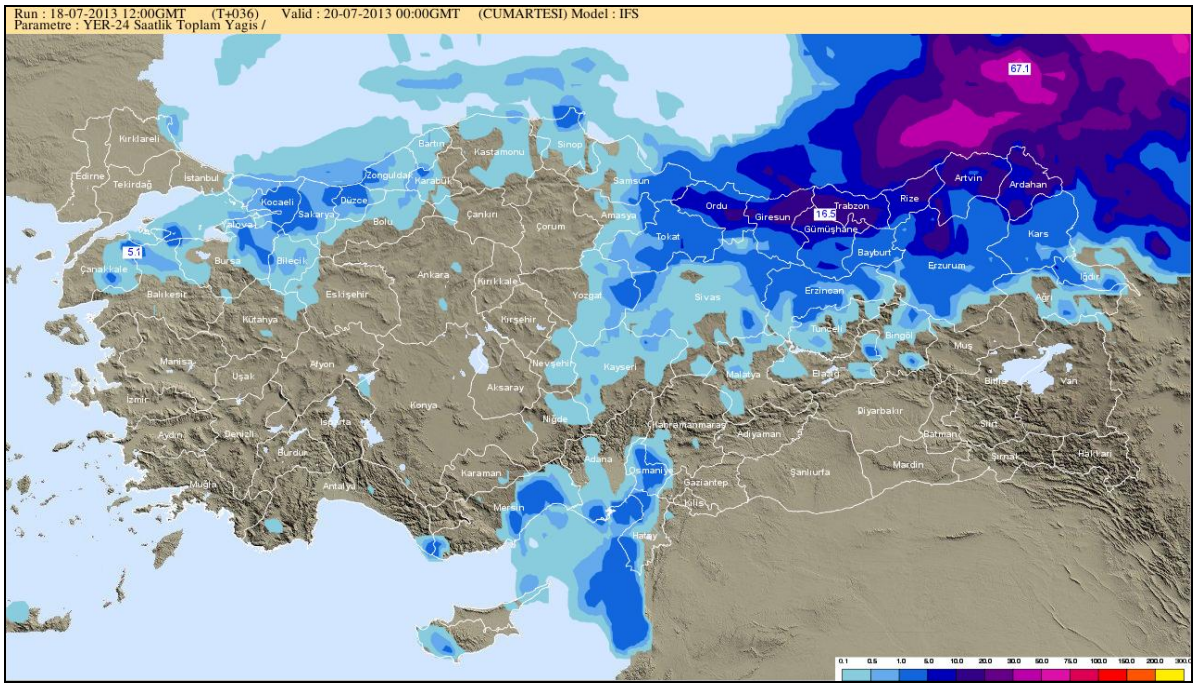
(Tablo 1): Hatay Dörtyol OMGİ saatlik yağış verileri



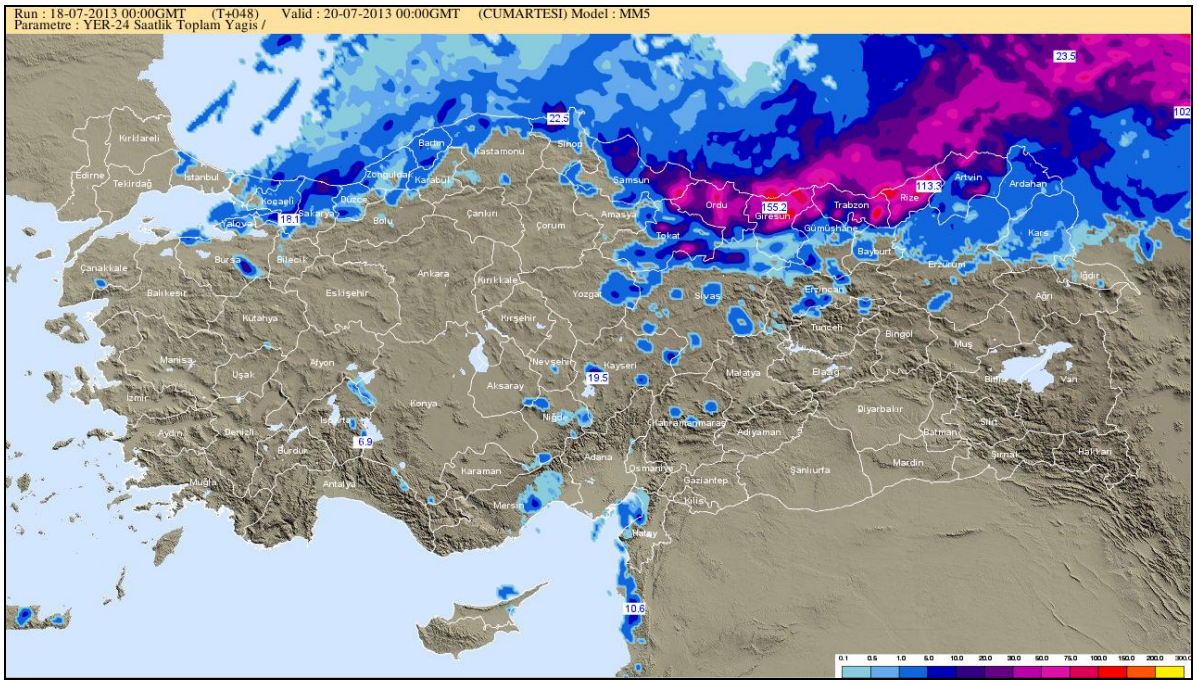
Şekil 7: 19 Temmuz 2013 Hatay radarı 01, 02,03, 04, 05 ve 06 Z saatlik toplam yağış ürünleri

3.3. 19 Temmuz 2013 sayısal model yağış tahmini ürünlerinin yorumlanması

18 Temmuz 2013 tarihinde çalıştırılan ve 19 Temmuz 2013 günü için tahmin üreten model haritalarından ECMWF 24 saatlik toplam yağış çıktısında bölgede 1 ila 5 kg arasında yağış beklendiği öngörülmüştür *(Şekil 8)*. Aynı tarihlere ait MM5 modelinde sel ve heyelan felaketinin yaşandığı bölgeye 5 kg, Hatay kıyılarına 50 kg yağış tahmin edilmiştir.



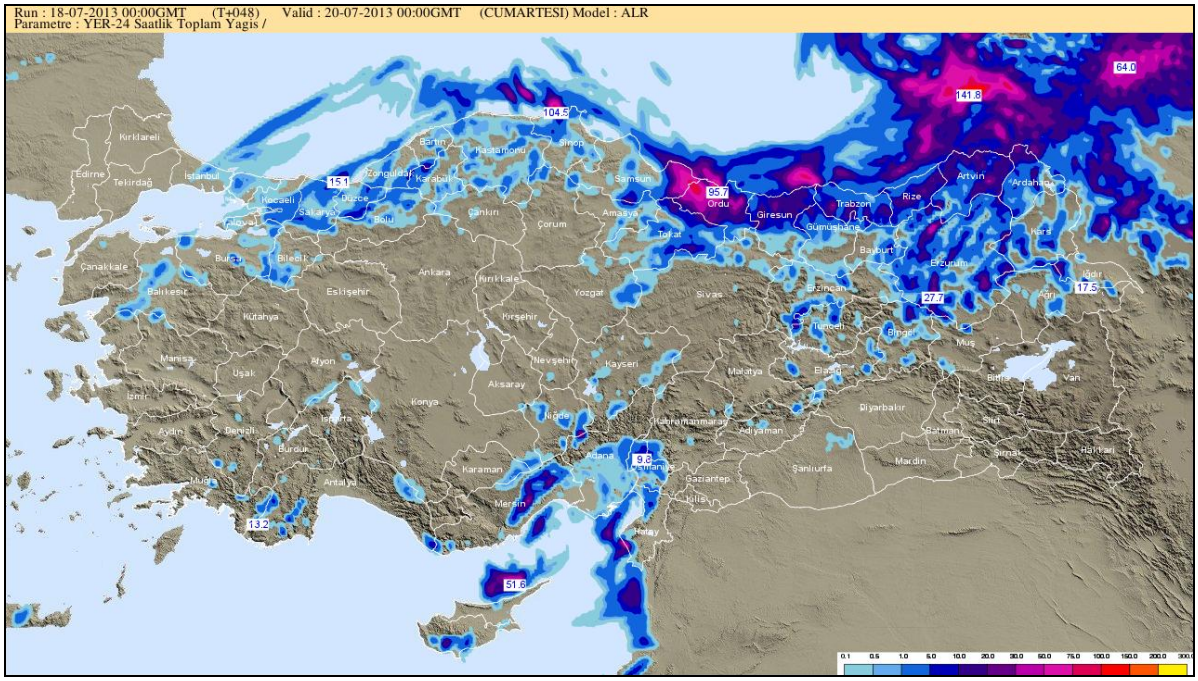
Şekil 8: IFS modeli 19 Temmuz 2013 24 saatlik toplam yağış miktarı tahmin haritası



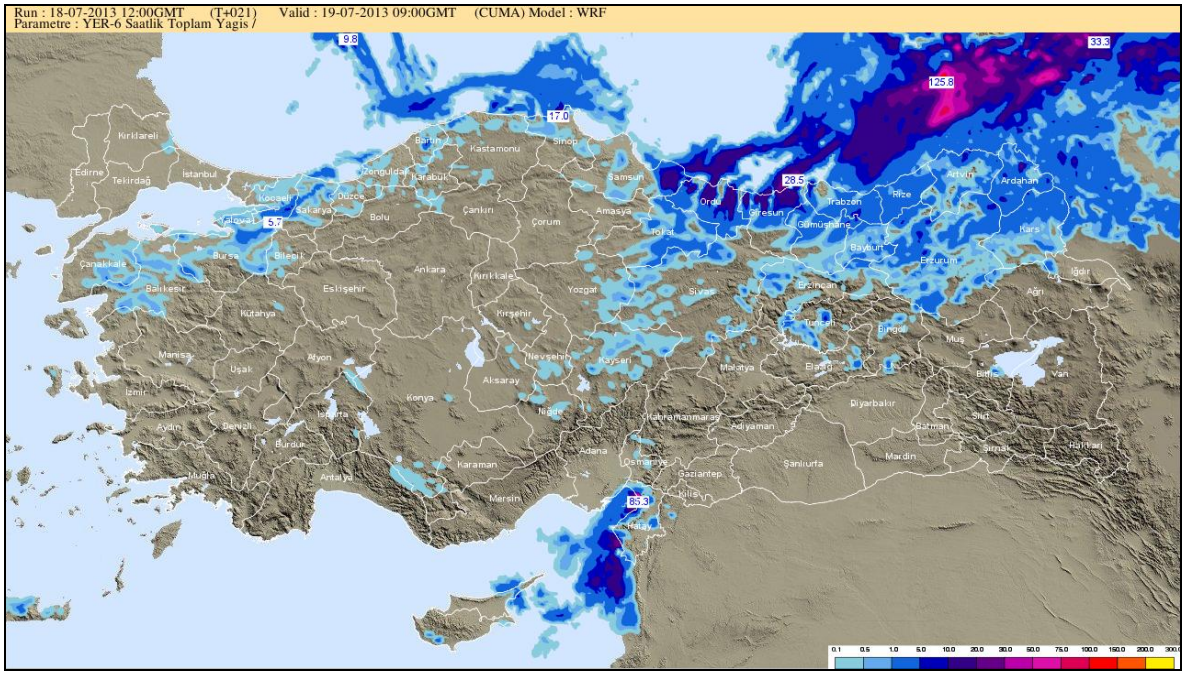
Şekil 9: MM5 modeli 19 Temmuz 2013 24 saatlik toplam yağış miktarı tahmin haritası

Aynı tarihlere ait ALARO modelinde sel ve heyelan felaketinin yaşandığı bölgeye 0,1 ila 5 kg arasında yağış tahmin edilmiştir *(Şekil 10)*. WRF modeli 18. Temmuz 2013 12 Z çalıştırmasında 19 Temmuz 2013 03.00-09.00 Z saatleri arasında bölgede beklenen 6 saatlik toplam yağış miktarının 85,5 kg *(Şekil 11)*, 06 Z çalıştırmasında 104,5 kg*(Şekil 12)* olduğu

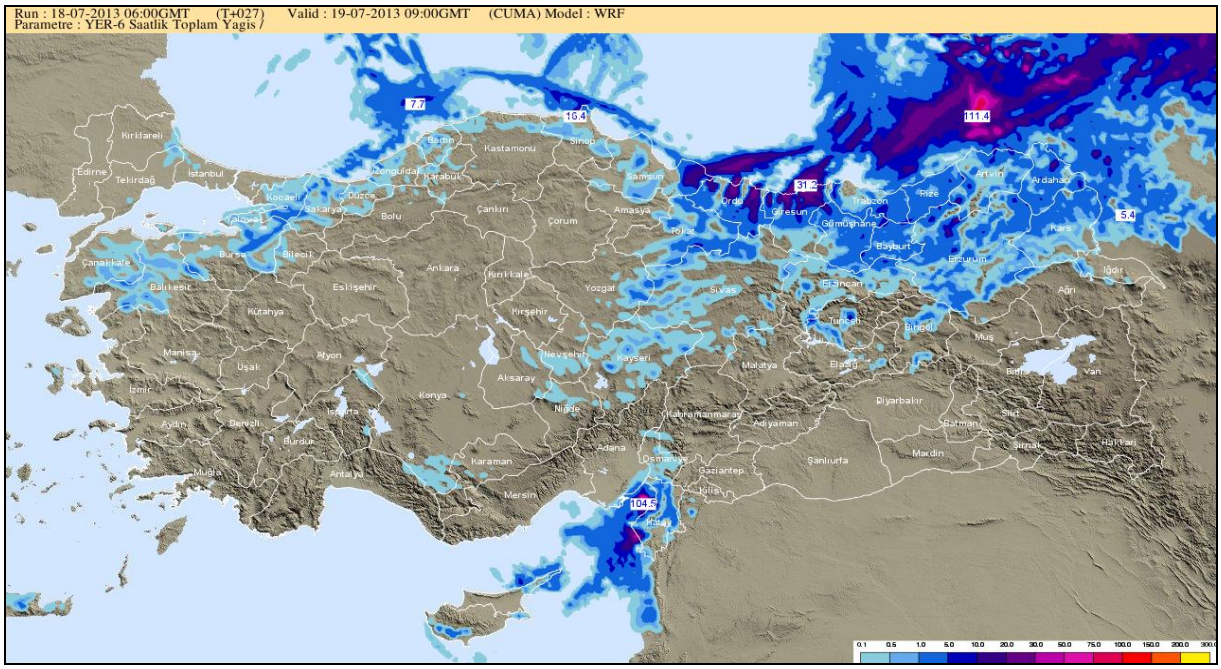
görülmektedir. Ölçülen 24 saatlik toplam yağış miktarına (121 kg) en yakın değerin WRF 18 Temmuz 2013 06.00 Z çalıştırmasında elde edildiği dikkati çekmektedir.



Şekil 10: ALARO modeli 19 Temmuz 2013 24 saatlik toplam yağış miktarı tahmin haritası



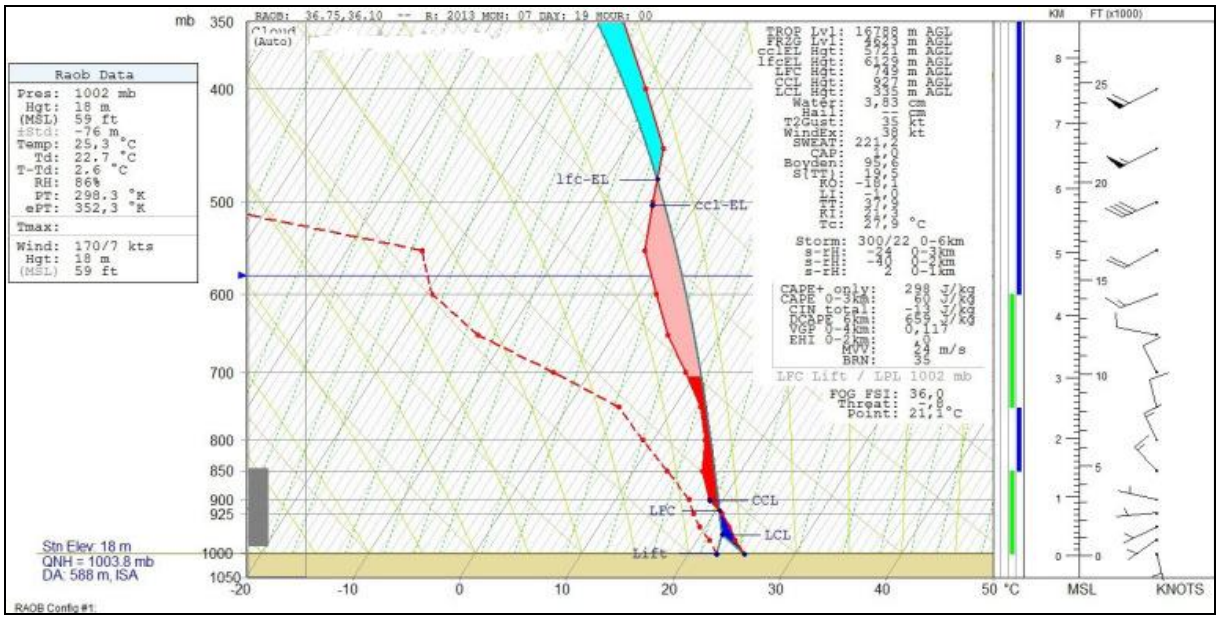
Şekil 11: WRF modeli 18. Temmuz 2013 12 Z çalıştırmasında 19 Temmuz 2013 03.00-09.00 Z saatleri arasında beklenen 6 saatlik toplam yağış miktarı haritası



Şekil 12: WRF modeli 18. Temmuz 2013 06 Z çalıştırmasında 19 Temmuz 2013 03.00-09.00 Z saatleri arasında beklenen 6 saatlik toplam yağış miktarı haritası

3.4. 19 Temmuz 2013 Adana tempinin RAOB kullanarak analizi

19 Temmuz 2013 00.00 Z tarihili Adana tempini RAOB programı kullanarak Hatay'daki yer koşullarına göre restore edince karşımıza çıkan diyagramda 298 J/kg CAPE değeri bulunmuştur *(Şekil.13).* CAPE değerinin kuvvetli çıkmamasının sebebi, alt seviyelerde denizden olan nem adveksiyonudur.



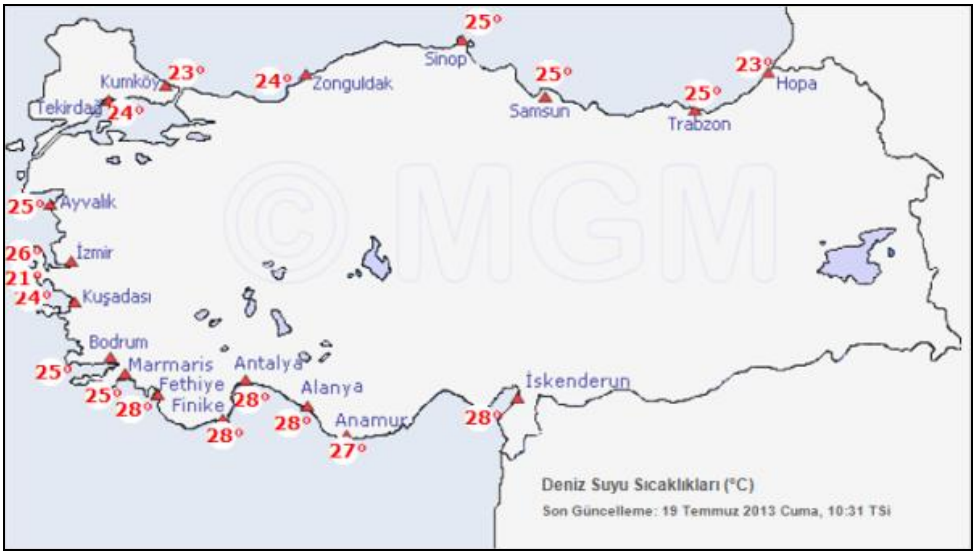
Şekil 13: 19 Temmuz 2013 00.00 Z tarihili Adana tempinin RAOB programı kullanılarak Hatay'daki yer koşullarına göre restore edilerek yeniden oluşturulmuş temp diyagramı

Temp diyagramında alt seviyede rüzgâr güneybatı bileşenlerden esmekte ve Dörtyol'a doğru yoğun nem adveksiyonu yapmaktadır *(Şekil.13).*

Temp diyagramında LFC seviyesi sadece 749 metredeydi. LFC (serbest konveksiyon seviyesi) hava kütlesinin hiçbir mekanik etkinin yardımı olmadan kendi kendine yükselebilme kabiliyetinin başladığı seviyeye serbest konveksiyon seviyesi olarak tanımlanabilir. LFC yüksek nem oranı ve sıcaklık olduğu hallerde alçalır. Diyagramda yer sıcaklığının 25.3 olup, nem oranının %86 olması LFC'yi alçak kılmaktadır. LFC'nin yüksekliği hemen hemen yaylaların bulunduğu bir rakım seviyesindeydi. (Heyelanın olduğu Çökek Yaylası'na bakınca 600-700 m arası rakıma sahip olduğu görülmektedir. Bu da yağışın ilçe merkezinden daha kuvvetli olma ihtimalinin yüksek olduğunun göstergesidir) Amanoslar boyunca mekanik olarak kaldırılan hava kütlesi 749 metre yükseldikten sonra artık kendi başına denge seviyesine (EL) kadar yükselebilecek niteliktedir *(Şekil.13).*

Temp diyagramında dikkati çeken bir başka özellik; Dörtyol civarında alt seviyede yoğunlaşma depresyonunun küçük olması, yamaç yükselmesi ve alçaktaki LFC'yi de bir kenara bırakırsak, yaklaşık 1.5 km kalınlığa varabilen stratiform tipi bulutlarının varlığına imkân vermektedir *(Şekil.13).* 850 mb seviyesi modele göre 16.3 derece, deniz suyu sıcaklığı ise 28.4 derece olmasının, bu bulutların bu derece yoğun olmasında etkisi çok büyüktür *(Şekil.14).*

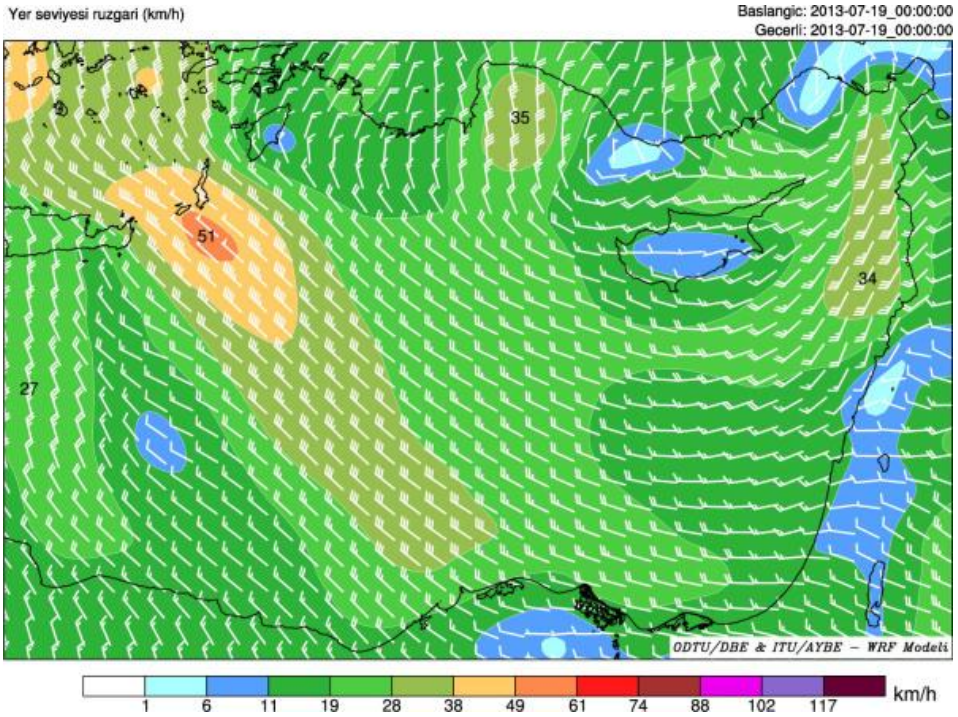
Temp diyagramına göre *(Şekil.13)* 600 mb sabit basınç seviyesine kadar hava nemli, 600 mb'ın üzerinde ise havanın oldukça kuru olduğu görülüyor. Bölgedeki cumulonimbus bulutlarının maksimum yüksekliği RAOB sonucuna göre 5,5 km çıkmaktadır. Eğer CAPE değeri yüksek çıkıp bulutlar yüksek tepe yapsaydı, microburst oluşup, oldukça kuvvetli rüzgâr hamlelerinin görülebileceği sonucuna ulaşılabilinirdi.



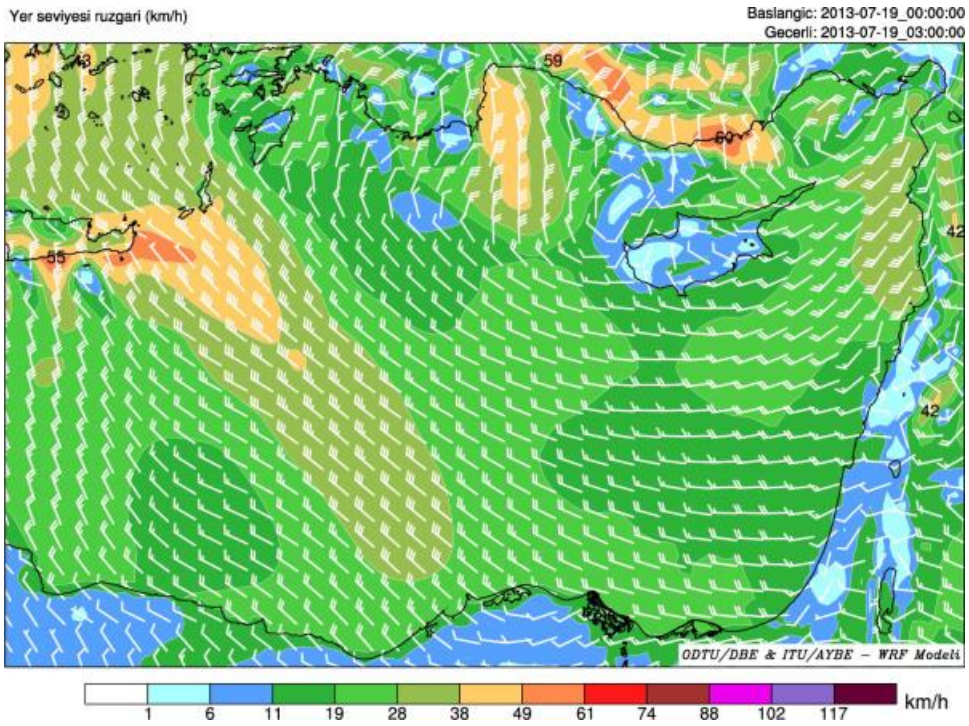
Şekil 14: 19 Temmuz 2013 sabahı ölçülen deniz suyu sıcaklıları

3.5. 19 Temmuz 2013 sayısal model yer rüzgarı tahmin ürünlerinin yorumlanması

WRF 19 Temmuz 2013 tarihli 00.00 Z *(Şekil.15)* ve 03.00 Z *(Şekil.16)* 10 metre yer rüzgarı model haritalarına göre bölgeye denizden nem adveksiyonu ve aynı zamanda konverjans alanı bulunmaktadır. İskenderun körfezinde 28 derece deniz suyu sıcaklığı (SST) ölçümü *(Şekil.14)* çok yüksek bir değer olup, sıcak denizden aşağı seviyelere gerçekleşen nem adveksiyonu konverjansla birleşince yoğun yağış potansiyelini arttırmaktadır.



Şekil 15: 19 Temmuz 2013 00.00 Z WRF modeli 10 m yer rüzgarı haritası

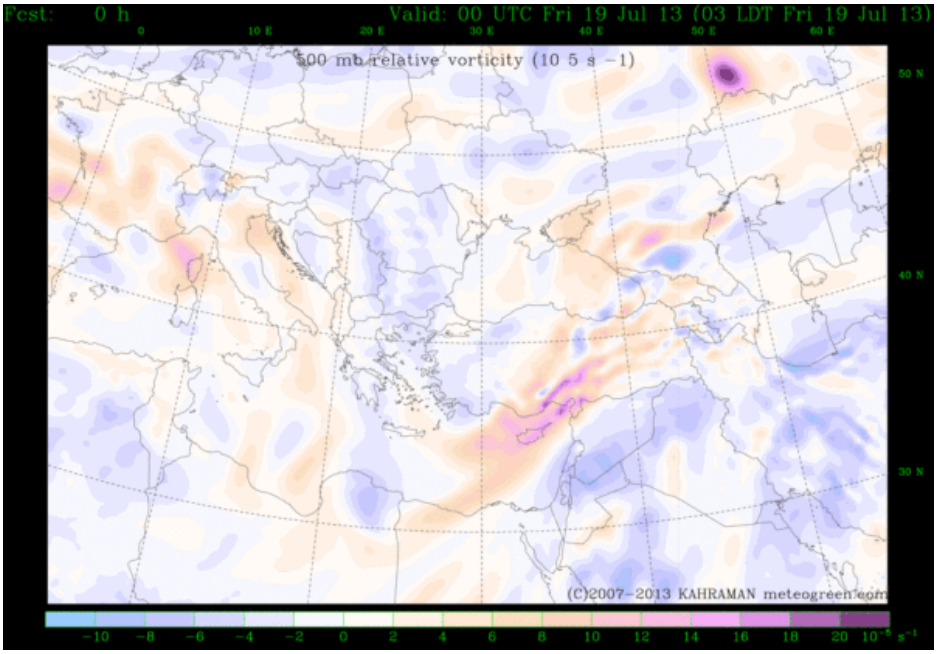


Şekil 16: 19 Temmuz 2013 03.00 Z WRF modeli 10 m yer rüzgarı haritası

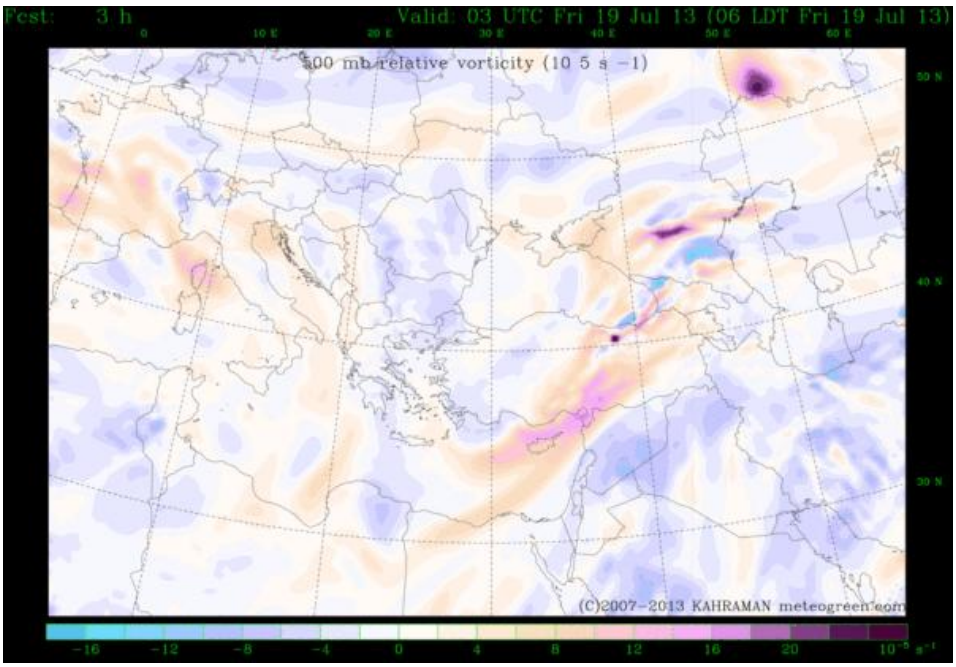
3.6. 19 Temmuz 2013 sayısal model vorticity, diverjans ve PW ürünlerinin yorumlanması

WRF 19 Temmuz 2013 500 mb 00.00 Z *(Şekil.17) ve* 03.00 Z *(Şekil.18)* relative vorticity haritalarına bakıldığında bölgedeki pozitif vortisiti alanı görülüyor. Pozitif vortisiti, dinamik

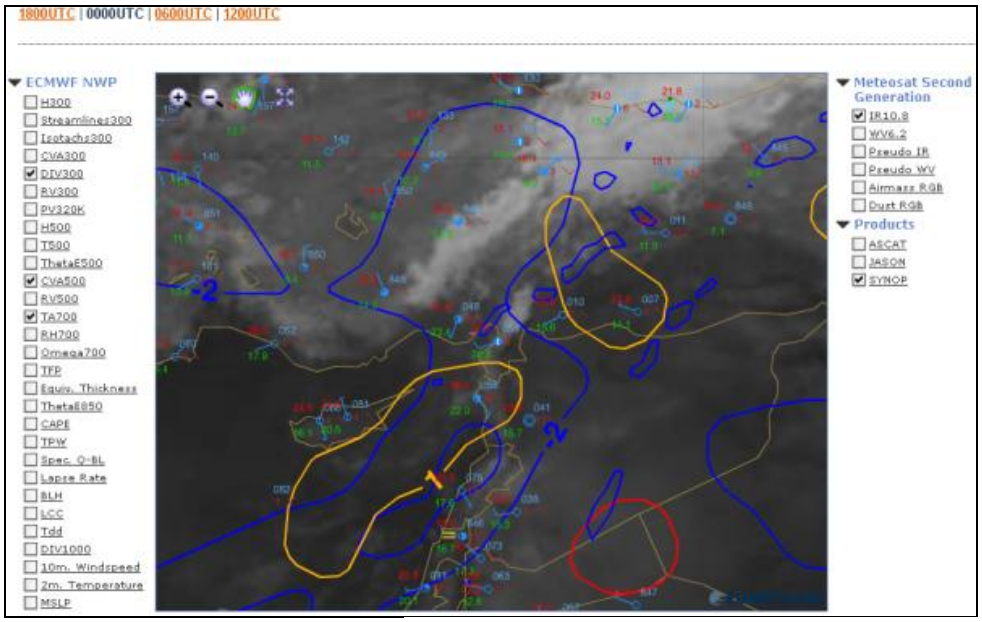
konveksiyonu arttırarak kuvvetli yağış ve fırtına ihtimalini artırmaktadır. 300 seviyesindeki diverjans *(Şekil.19)* hava parselini elektrik süpürgesi gibi çekerek (mavi kontur ile gösterilen alan), dinamik konveksiyonu arttırmakta, 500 mb siklonik vortisiti adveksiyonu da (turuncu kontur ile gösterilen alan) bu artışa destek olmaktadır.



Şekil 17: 19 Temmuz 2013 00.00 Z WRF modeli 500 mb relative vorticity haritası



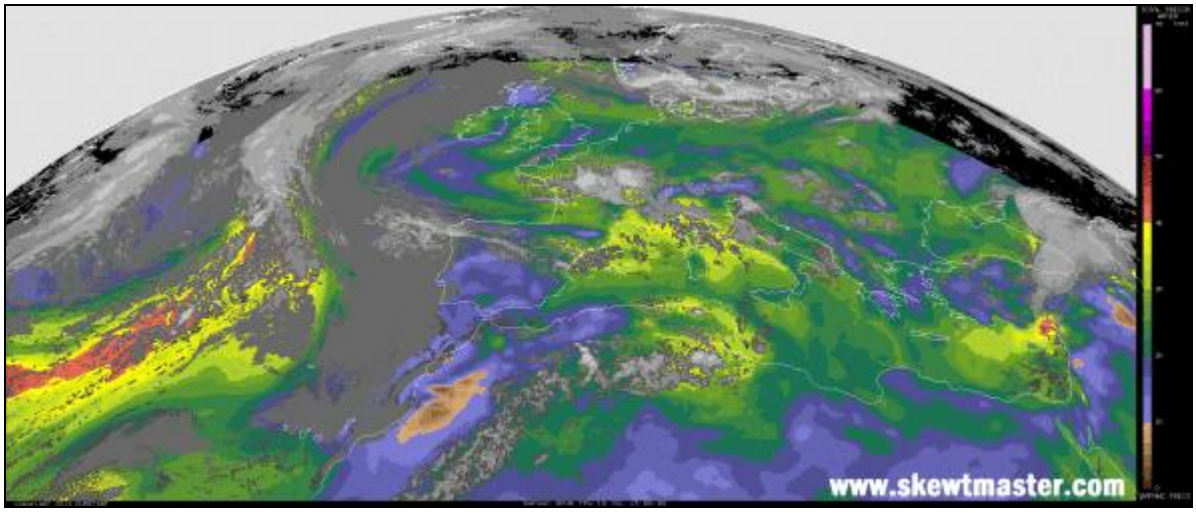
Şekil 18: 19 Temmuz 2013 03.00 Z WRF modeli 500 mb relative vorticity haritası



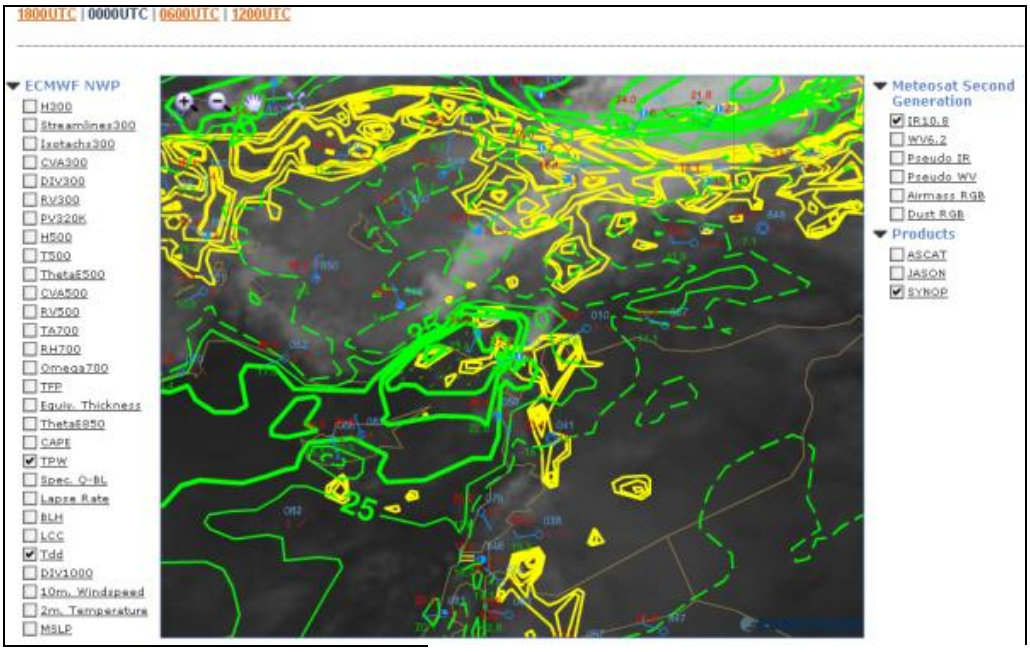
Şekil 19: 19 Temmuz 2013 00.00 Z eumetrain.org'tan alınan ECMWF model analizi

Yukarı seviyedeki soğuk hava adveksiyonu hem konvektif enerjiyi arttırmakta hem de hava parselinin yükselmesine neden olmaktadır. Bölge de 4,0-4,5 cm *(Şekil.20)* (RAOB'ta 4,21 cm) gibi oldukça yüksek PW (yağışa geçebilir su miktarı) bulunmaktadır.

Yeşil konturların toplam PW değerini, sarıların ise yoğunlaşma depresyonunu gösterdiği ECMWF model analizinde *(Şekil.21)* yoğunlaşma depresyonu alanının oldukça dar ancak PW değerlerinin 4.0-4.5 olduğu görülmektedir. Yoğunlaşma depresyonunun küçük, PW değerinin ise büyük olduğu alanlarda kuvvetli yağışlar görülür. Yağışın bu kadar fazla olmasının en büyük sorumlularından biridir.



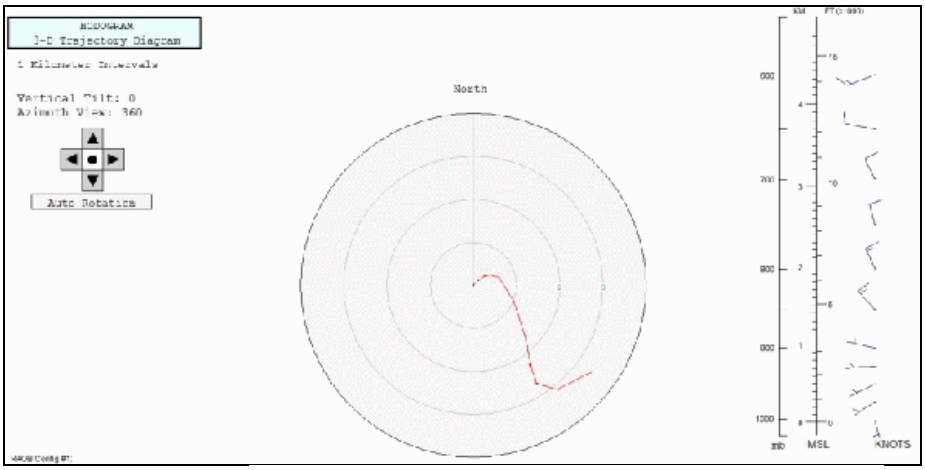
Şekil 20: 19 Temmuz 2013 yağışa geçebilir su miktarı (PW) görüntüsü



Şekil 21: 19 Temmuz 2013 00.00 Z eumetrain.org'tan alınan ECMWF model analizi

3.7. 19 Temmuz 2013 düşey rüzgar ve sıcaklık verilerinin yorumlanması

Kuvvetli yağışa neden olan bulutların hareketinde 700 mb rüzgarı etkili olmuştur. 700 mb rüzgârının 15 dereceden 14 kt esmesi yağışlı kütlenin güney batıya doğru yavaş hareket etmesini sağlamaktadır. Hodograf ürününün de kuzey yönlü 700 mb rüzgârının hayli zayıf olduğu görülmektedir *(Şekil.22)*. Bu da yağışa neden olan bulut kütlesinin bölgede daha yavaş hareketi anlamına gelmektedir.



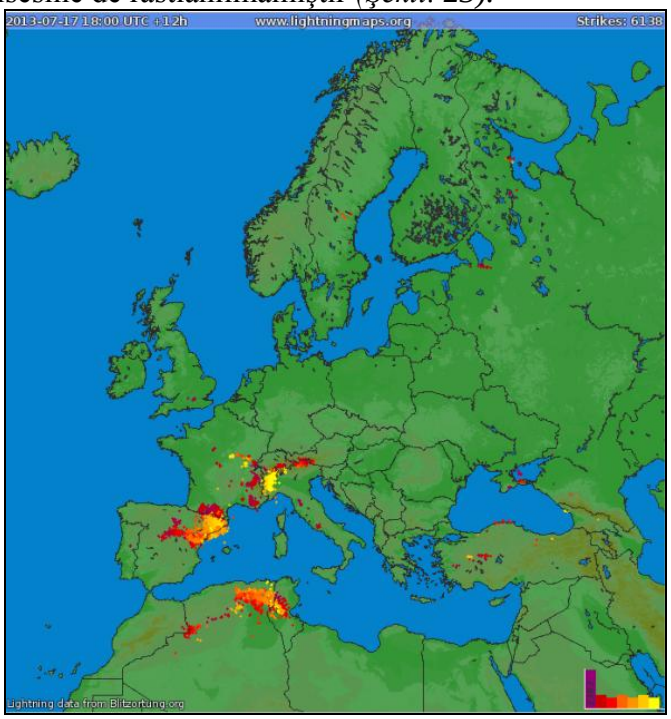
Şekil 22: 19 temmuz 2013 00.00 Z Hatay hodogram ürünü

Ayrıca sadece 700 mb değil, 700 mb'a yakın seviyelerin rüzgârını dikkate alırsak da hareketinin oldukça yavaş olduğunu ve güneyli yönlere doğru olduğu görülmektedir. Radar görüntülerine göre yağışa neden olan kütlenin önce güneydoğuya doğru sonra güneybatıya doğru hareket ettiği görülmektedir.

Bölgenin dağlık bir yapıya sahip olması orografik yükselmeden ve sürtünme yoluyla konverjanstan dolayı yağışın daha kuvvetli olmasını sağlamaktadır. Bölgenin fiziki haritasına

göre güneydoğu ve doğusunda dağlık alanların olduğu görülüyor. Aynı yerde uzun süre kalması, yağışa neden olan kütlenin düşük bulut tabanı sebebiyle güneydoğu ve doğudaki dağlara sıkışmasına bağlanabilir.

Atmosferin üst seviyelerinde hava sıcaklığının çok düşük olmaması nedeniyle bölgede kayda değer bir şimşek hadisesine de rastlanılmamıştır *(Şekil. 23).*



Şekil 23: 19 Temmuz 2013 24 saatlik şimşek gözlemleri

Oluşan yağış yükselme ile ortaya çıkan kümüliform yapıdan da meydana gelmiş de olabilir ama bulut içinde yaklaşık 4 km'den fazla bir derinlikte sıfır derecenin üstünde bir sıcaklığın olması ve ortalama bulut tepe sıcaklığının -5 derece civarlarında bulunması, graupel oluşumunu olumsuz etkilediğinden, bulut içinde pozitif ve negatif elektrik kanalları pek fazla ayrışamamasına neden olmuştur *(Tablo 2).*

	Seviye (mb)	Sıcaklık (derece)	Yükseklik (ft)
ccl-EL =	503 mb	-4,1 C	18770 ft (18829ft)
lfc-EL =	478 mb	-5,1 C	20107 ft (20166ft)
LFC =	920 mb	20,4 C	2458 ft (2517ft)
CCL =	901 mb	18,9 C	3041 ft (3100ft)
LCL =	965 mb	22,1 C	1098 ft (1157ft)

Tablo 2: 19 temmuz 2013 00.00 Z Hatay tempi bazı seviye bilgileri

4. SONUÇ

Bölgede 18 Temmuz 2013 tarihinde akşam 22.30 TSİ civarında başlayan şiddetli sağanak yağış yaklaşık 8 saat sürmüş ve metrekareye 121,4 kg yağış düşmüştür. Bunun sonucunda ilçede sel ve heyelan meydana gelmiştir. Heyelanın oluştuğu Çökek Yaylası'nda 5 kişi ölmüş, 12 kişi ise yaralanmıştır. Meydana gelen sel ve heyelan en fazla Çökek Yaylası ve Karakese Belde merkezinde etkili olmuştur. Çökek yaylasının hemen hemen tamamında yüksek oranda maddi hasar meydana gelmiştir. Altı ev tamamen yıkılmış, çok sayıda ev kullanılamaz hale gelmiştir.

Bölgede sel ve heyelana neden olan bu kuvvetli yağışın oluşmasındaki en önemli nedenler şunlardır;
Yukarı seviyedeki soğuk hava adveksiyonu hem konvektif enerjiyi arttırmış hem de hava parselinin topografik etkiyle birlikte yükselmesine neden olmuştur,
Yüksek yağışageçebilir su miktarı (PW) ve dar alanda yoğunlaşma depresyonun oluşması,

Altseviyede rüzgârın Dörtyol istikâmetine yaptığı yoğun nem adveksiyonu,

Serbest konveksiyon seviyesinin (LFC) deniz seviyesine çok yakın olması,

Atmosferin orta katmanlarındaki zayıf rüzgâr profili,

Mevsim normalleri üzerinde seyreden deniz suyu sıcaklığı,

500 hPa'da pozitif vorticity,i 300 hPa'da diverjansın olması,

Bölgenin dağlık bir yapıya sahip olması sonucu orografik yükselmeden ve sürtünme yoluyla konverjansa bağlı kuvvetli yağışın olması,

Yağışa neden olan kütlenin, düşük bulut tabanı sebebiyle bölgenin güneydoğu ve doğusundaki dağlara sıkışması sonucu yağışın uzun süreli olması,

Radar görüntülerinde yağışa neden olan kütlenin önce güneydoğuya doğru sonra güneybatıya doğru hareketinde topoğrafya ve zayıf 700 hPa rüzgarının etkili olması,

CAPE değeri yüksek çıkıp bulutların yüksek tepe yapabilmesi durumunda, microburst oluşup, oldukça kuvvetli rüzgâr hamlelerinin görülebileceği, şimşek hadisesine rastlanabileceği de unutulmamalıdır.

Yaşanan heyelanda aşırı yağış, bölgenin eğimin yüksek olması, ana kaya (Serpantin) ve toprak yapısı akmaya uygun olması en önemli nedenler arasındadır.

KAYNAKLAR

.

[1] **ATALAY, İbrahim, 2011,** Türkiye İklim Atlası, İnkılap Kitabevi, İstanbul.

[2] **Çöleri M., Günyel E.S., Ertürk A.G., Yurtseven M., Cessur H.A., 2004.** Çok KısaSüreli Hava Tahmini (Nowcasting) Uygulamaları Çalışma Notu, Ankara.

[3] **Geçer C., 2002.** Radar Meteorolojisi, DMİ Yayınları, Ankara.

[4] **Anonim, 2007.** Hava Analiz ve Tahmin Tekniği, Ankara.

[5] **TÜRKEŞ, Murat, 2010,** Klimatoloji ve Meteoroloji, Kriter Yayınevi, İstanbul

[6] **Yağan Y.,** Skew T- Log P Diyagramı Ders Notları MGM Yayınları.

[7] http://uzal.mgm.gov.tr/index.htm

[8] http://www.hurriyet.com.tr/gundem/23763107.asp

[9] http://www.meteogreen.com

[10] http://www.estofex.org

[11] http://www.eumetrain.org

[12] http://skewtmaster.com

[13] http://linux-server.ims.metu.edu.tr/metuwrf/index.php

[14] http://maps.google.com/

[15] http://adana-haritasi.com/adanafizikiharitasi/adanafizikiharitasi.jpg

[16] http://havadelisi.com/2013/07/21/hataydaki-sel-ve-heyelanin-incelenmesi

Kuvvetli Yağış Uyarılarının Zamanlamasında Radar Gözlemlerinin Önemi

Barış Özgün
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Ankara
bozgun@mgm.gov.tr

M. Uğur Yıldırım
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Ankara
uyildirim@mgm.gov.tr

ÖZET

Son yıllarda artan kuvvetli meteorolojik hadiseler, meydana getirdiği zararlar açısından önemli bir etmen haline gelmiştir. Ekonomik ve sosyal açıdan önlem alınması ve zararların en aza indirilmesi için bu hadiselerin önceden tahmini, uyarıların hazırlanması ve gerekli yerlerin uyarılması önem arz etmektedir. Dolayısıyla uyarıların zamanlamasında, mümkün olduğu kadar erken hazırlanıp yayınlanması gerekmektedir. Yapılan meteorolojik analizler ve sayısal hava tahmin modelleri, kuvvetli meteorolojik hadiselerin tahmini konusunda hava tahmincilerine önemli katkı sağlamaktadır. Her alanda olduğu gibi meteoroloji ve hava tahmini konularında da zamanın önemi yadsınamaz. Hava tahmin uzmanları; tahmin ve uyarılarını, önlemlerin alınmasına fırsat tanıyacak şekilde hızlı ve zamanında ulaştırmaya çalışmaktadırlar. Meteorolojik Uyarılar, 1-2 gün öncesinden hazırlanabildiği gibi bir kaç saat öncesinden hazırlanan "Nowcasting" diye adlandırılan kısa süreli uyarıları da kapsamaktadır. Bu uyarılarda, hadisenin şiddeti, etki süresi, oluşum ve etki alanı önem kazanmaktadır. Bu çalışmada; 13 Mayıs 2013 tarihinde Ege Bölgesi'nde görülen kuvvetli yağışlar içerisinde İzmir ve çevresindeki yağışlar incelenmiştir. Hava tahmin uzmanlarına, tahmin konusunda yardımcı olan Sayısal Hava Tahmin Modelleri ile Radar görüntülerinin değerlendirilerek uyarıların hazırlanması ve zamanında yayınlanması üzerinde durulmuştur. Sayısal hava tahmin

ürünlerinde meteorolojik olayların gerçekleşme zamanında bir kaç saatlik değişimler yaşanabilmektedir. Burada hava tahmin uzmanlarının yeterli bilgi ve donanımına sahip olup, anlık gelişmeleri takip ederek uzaktan algılama ürünleri ile destekleyerek meteorolojik olayların gerçekleşme zamanını en iyi şekilde tahmin etmesi ve gerektiğinde uyarıların hazırlanması önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler; Hava Tahmini, Kısa süreli uyarı, Sayısal hava tahmini, Radar

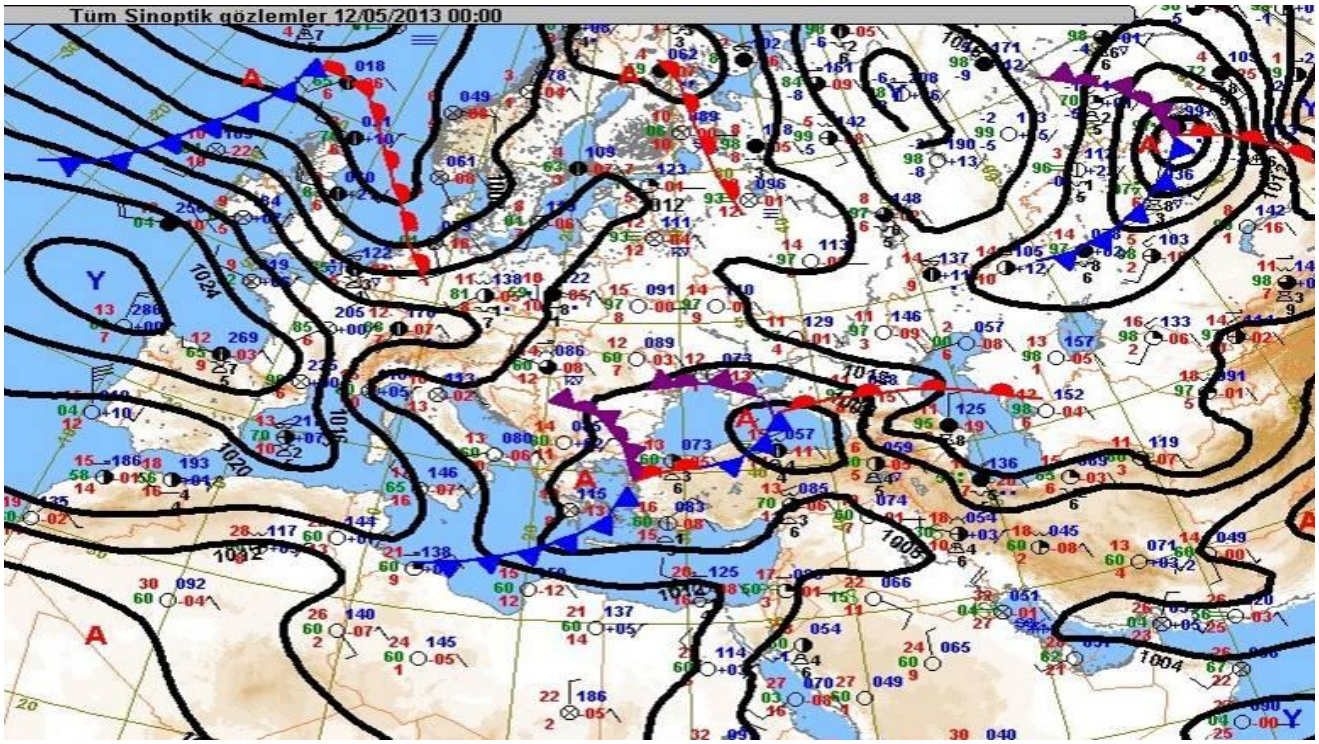
1GİRİŞ

Bu çalışmada 09-15.05.203 tarihleri arasında ülkemiz genelinde etkili olan yağışlı sistem içerisinden 13.05.2013 günü İzmir çevresinde meydana gelen kuvvetli sağanak yağışın oluşumunu ve radar verileri incelenmiştir. Yağış sınıflandırmasında Kuvvetli Yağış; 12 saat içerisinde gerçekleşen 21-50 mm arasındaki yağış olarak belirtilmiştir [4]. İzmir ve çevresinde 11 adet otomatik meteoroloji gözlem istasyonu (OMGİ) ve 2 adet meydan istasyonu bulunmaktadır. 13.05.2013 günü gece saatlerinde gerçekleşen yağış hadisesinde, yaklaşık 9 saatlik zaman diliminde bu istasyonlara 15 ila 50 mm arasında değişen miktarlarda yağış düştüğü görülmüştür. Meteoroloji Genel Müdürlüğü hava tahmin uzmanları, bu tür yağışları gerçekleşmeden mümkün olduğunca erken tahmin etmeye ve gerekli merkezleri uyarmaya çalışmaktadır. Kıstaslar çerçevesinde yapılan uyarılar, kamu kurum ve kuruluşları, basın, yerel yönetimler ve vatandaşlarla paylaşılmaktadır. Bu şekilde meteorolojik kaynaklı kuvvetli olayların meydana getireceği olumsuzlukları en aza indirmeye katkı sağlanmaktadır. Uyarılar hazırlanırken, yapılan meteorolojik analizler, sayısal hava tahmin ürünleri ile birlikte uydu ve radar gibi uzaktan algılama ürünleri kullanılmaktadır. Bu şekilde daha kısa dönem içerisinde daha etkili uyarı yapabilmektedir. Bazı durumlarda nowcasting (kısa süreli kuvvetli hava olaylarının tahmini) uyarılarının, bölgesel ve zamansal açıdan daha önemli olduğu bilinmektedir. Geniş alanlar için yapılan uyarılardan sonra, uzaktan algılama ürünleri takip edilerek daha dar alanlar için uyarı yapılabilmektedir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğünde Sabah, Öğle ve Akşam olmak üzere günde 3 defa 24 saatlik tahmin raporları hazırlanmaktadır. 24 saatlik tahmin raporlarından Öğle ve Akşam raporları hazırlanırken; Sayısal Hava Tahmin modellerinden ECMWF ve MM5'in 00Z çıktıları görülmekte ve kullanılmaktadır. Bu nedenle aktüel haritalarda olduğu gibi yalnızca hadise gerçekleşene kadar görülebilen sayısal tahmin modellerinin çıktıları çalışmada incelenmiştir.

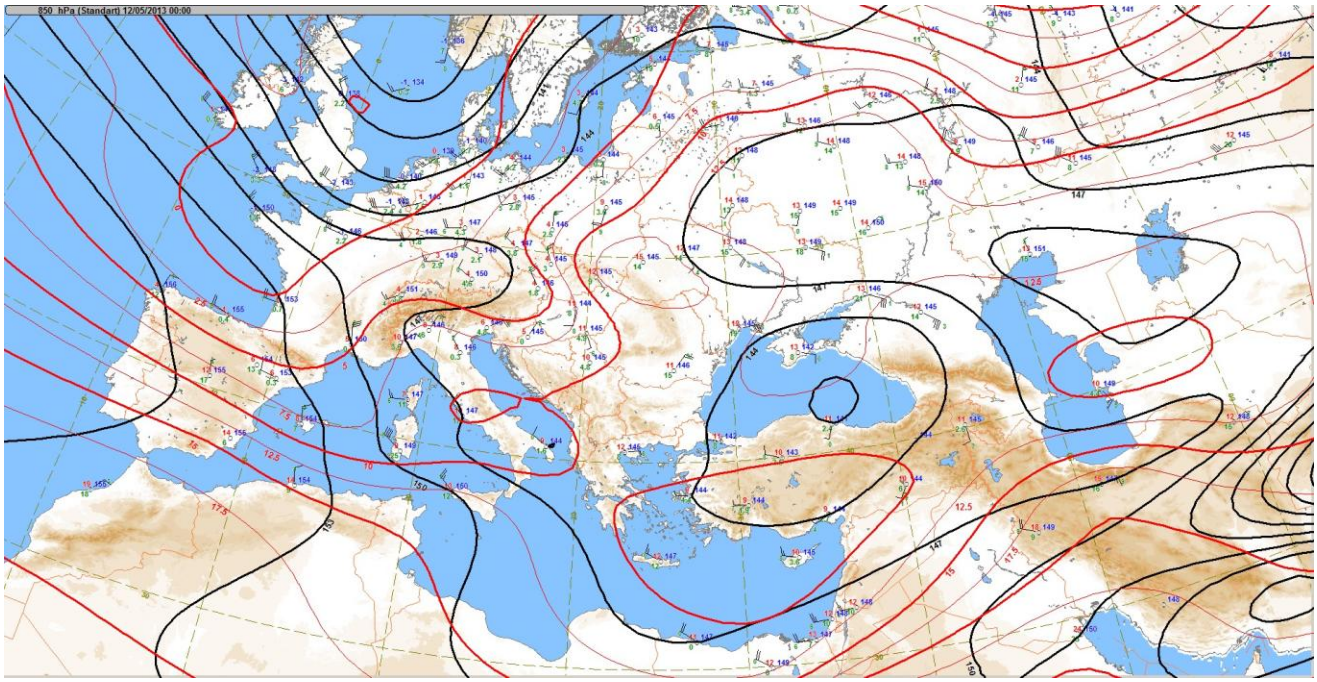
2 GÜNÜN SİNOPTİK GÖRÜNÜMÜ VE ANALİZİ

Gün içerisinde yapılan değerlendirmelerde 00Z aktuel haritaları ve sayısal hava tahmin modellerinin 00Z çıktıları kullanılmaktadır. Ülkemiz 09.05.2013 tarihinden itibaren alçak basınç merkezinin etkisi altına girmiştir. Bu soğuk ve yağışlı sistem önce sıcak cephesi daha sonra soğuk cephesinin taraması ile ülkemiz genelinde yer yer kuvvetli yağış oluşturmuştur. 12.05.2013 günü yapılan 00Z yer kartı analizinde ülkemizin, 1004 hPa lık değere sahip Alçak Basınç Merkezinin etkisinde olduğu görülmekte, basınç değerinin yer kartında 1004 hPa ve altında olması oluşabilecek kuvvetli yağışlar hakında bir fikir vermektedir [1]. Özellikle ülkemizin iç ve doğu kesimlerinin bu sistemin etkisinde kalacağı tahminlere hazırlanan yansıtılmıştır (Şekil 1).



Şekil 2: *12.05.2013 günü 00Z Yer Kartı*

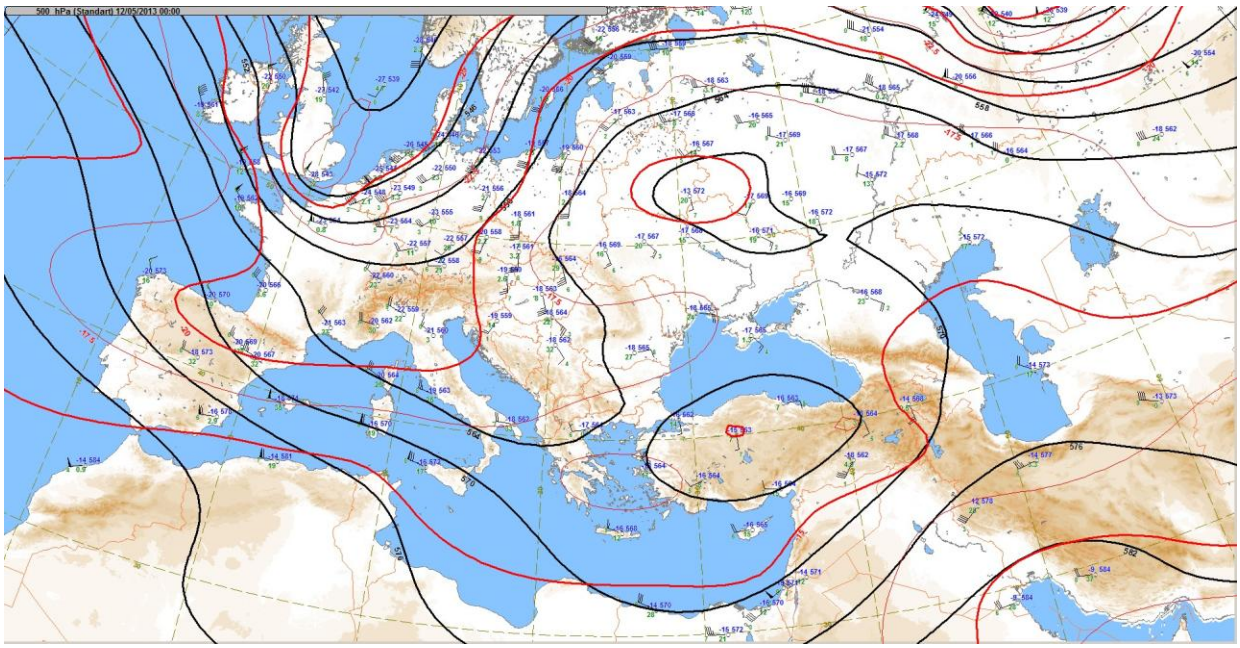
850 hPa kartında kontur değeri 141 dekametre olan alçak merkez ve Türkiye üzerinde 10ºC izoterm geçmektedir (Şekil 2). Ege Denizi üzerinde soğuk adveksiyonlar, doğu bölgelerde ise soğuk adveksiyonların olduğu görülmektedir.



Şekil 2: *12.05.2013günü 00Z 850 hPa*

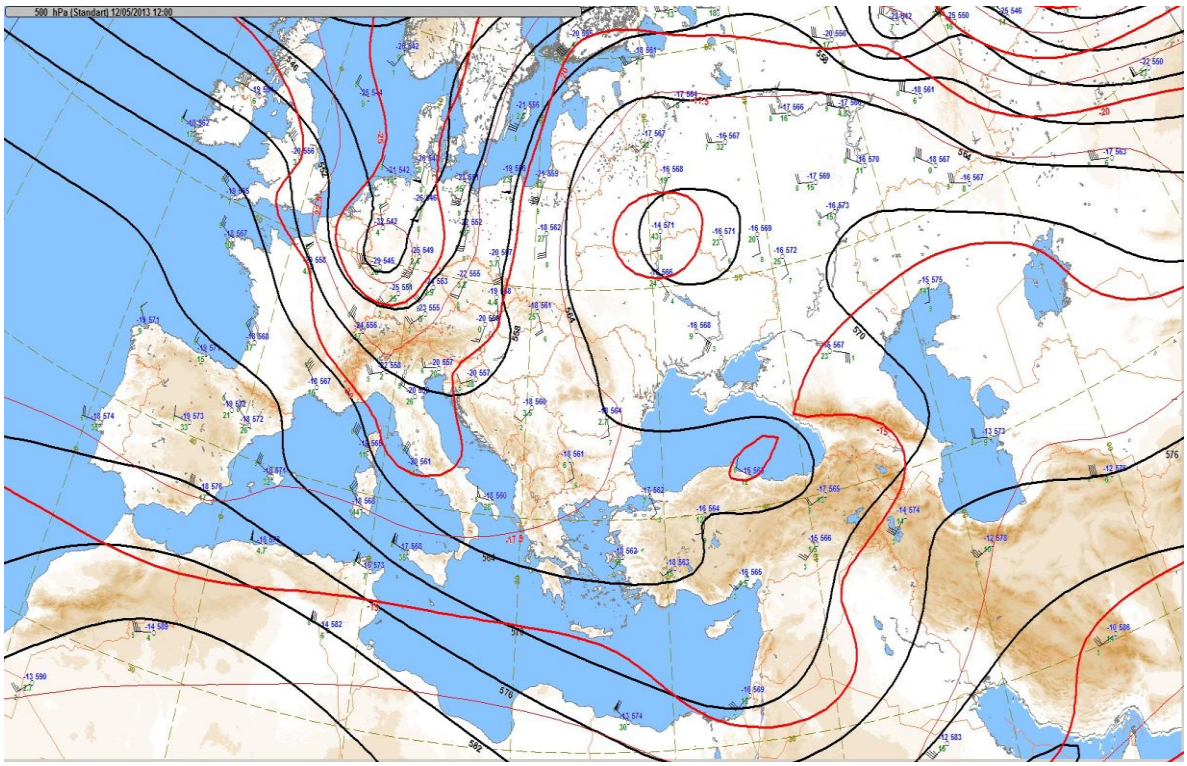
2.1 500 hPa Analizi ve Kararsız Sahaların Tahmini

500 hPa kartında 564 dekametrelik kontur değeri ile trof hattı Ankara- Antalya hattında uzanmakta ve önünde bir kararsızlık hattı oluşturmaktadır. Ankara üzerinde -15º C, İzmir'de ise -18º C lik sıcaklık değeri mevcuttur. 500 hPa da bulunan bu trof hattı gök gürültülü sağanak yağışlara neden olurken iç ve doğu kesimlerde, özellikle yer sıcaklığının yüksek olduğu Doğu Akdeniz gibi bölgelerde yer yer kuvvetli yağışlara sebep olması beklenebilir. (Şekil 3)



Şekil 3: *12.05.2013günü 00Z 500 hPa*

12Z 500 hPa kartı incelendiğinde iç kesimlerdeki trof hattının kuzeydoğuya doğru çekildiği ve Ege üzerinde sekonder (ikincil) bir trof hattının oluştuğu görülmektedir (Şekil 4). Ege denizini kuzey-güney doğrultusunda geçen bu hattın hemen önü, özelikle deniz neminin ve deniz-kara etkileşimi nedeniyle risk sahası olarak karşımıza çıkmaktadır. İzmir üzerinde 500 hPa' da -17° C ve yer seviyesinde 26° C derece maksimum sıcaklık ve iki seviye arasında da 43 derece sıcaklık farkı bulunmaktadır.

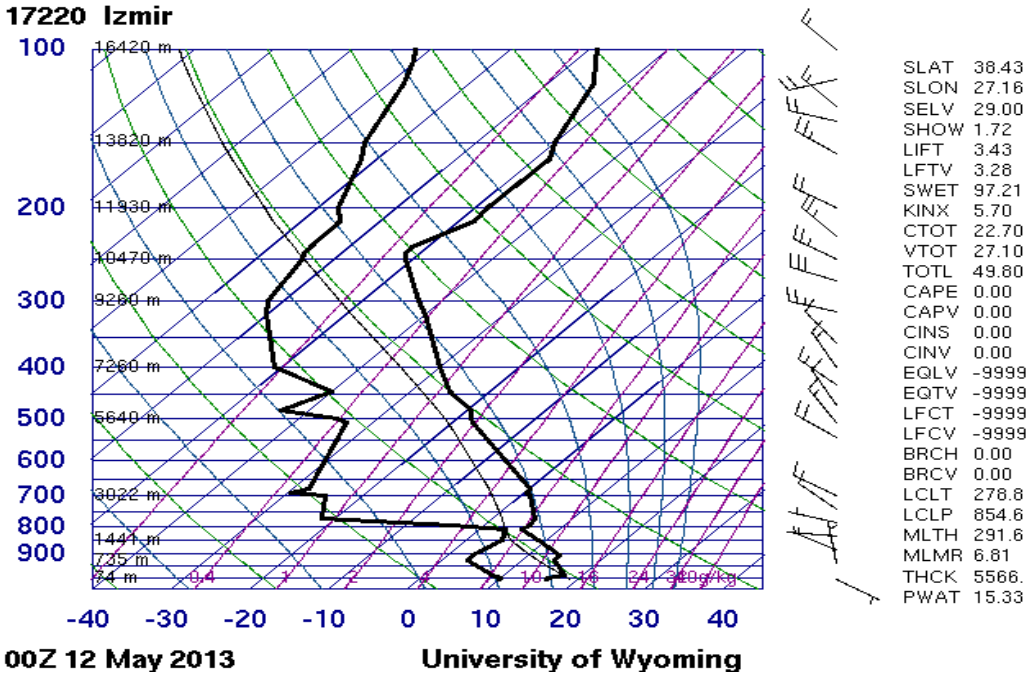


Şekil 4: 12.05.2013günü 12Z 500 hPa

Tahminler hazırlanırken yer-üst seviye sıcaklık farkının fazla olduğu yerlere daha fazla dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu fark risk sahaları belirlenirken dikkat edilecek önemli bir parametredir. Ülkemizde bu tip hareketlerin en yoğun olduğu mevsim ilkbahar ve yazdır. Hava tahmin uzmanları günlük meteorolojik rapor ve brifinglerde kararsızlıkları tespit ve tahmin etmek için büyük gayret sarf ederler [3].

2.1.1Temp Diyagramları ve Karasızlık İndeksleri

Şekil 5 de verilen 12.05.2013 günü 00Z temp diyagramı incelendiğinde, 900-800 hPa arasında kuru adyabatlara paralel bir soğuma olduğu görülmekte ve 800 hPa seviyesinde bir nemlilik olduğu, üst seviyelerin kuru bir karaktere sahip olduğu görülmektedir. Rüzgar, yer seviyesinde güney yönlerden, üst seviyelerde kuzeybatı yönlerden 20-35 knot civarındadır. Rüzgarda yön ve hız değişiminin belirgin bir kararsızlığa işaret etmediği görülmektedir.



Şekil 5: 12.05.2013günü 00Z Temp diyagramı

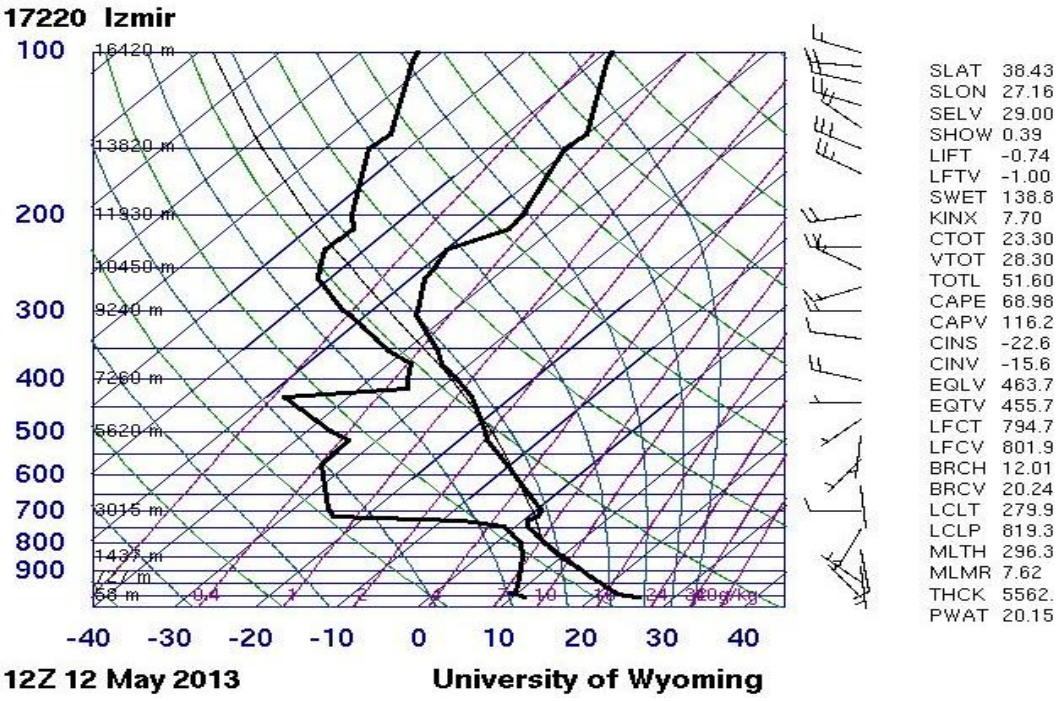
00Z temp gözleminin Karasızlık indekslerine bakıldığı zaman [5];

Showalter 1,72 değeri ile oraj başlangıç sınırı,

Lifted 3,43 değeri ile oraj ihtimali yok,

K İndeksi 5,70 değeri ile oraj ihtimali yok,

Total Total 49,80 değeri ile olası oraj sınırında değer vermektedir. Bu indeks değerlerine göre oraj oluşma ihtimalinin zayıf olduğu görülmektedir.



Şekil 6: 12.05.2013günü 12Z Temp diyagramı

Şekil 6 da verilen 12.05.2013 günü 12Z temp diyagramı incelendiğinde, Yer-750 hPa arasında kuru adyabatlara paralel bir soğuma olduğu görülmekte ve 850-750 hPa seviyesinde bir nemlilik olduğu, 750-450 hPa seviyeleri arasının kuru bir karaktere sahip olduğu görülmektedir. Rüzgar, yer seviyesinde güney yönlerden, üst seviyelerde batı yönlerden 20 knot civarındadır. Üst seviye rüzgarlarındaki bu değişim trof hattının olduğunu ve kararsızlık olabileceğini işaret etmektedir

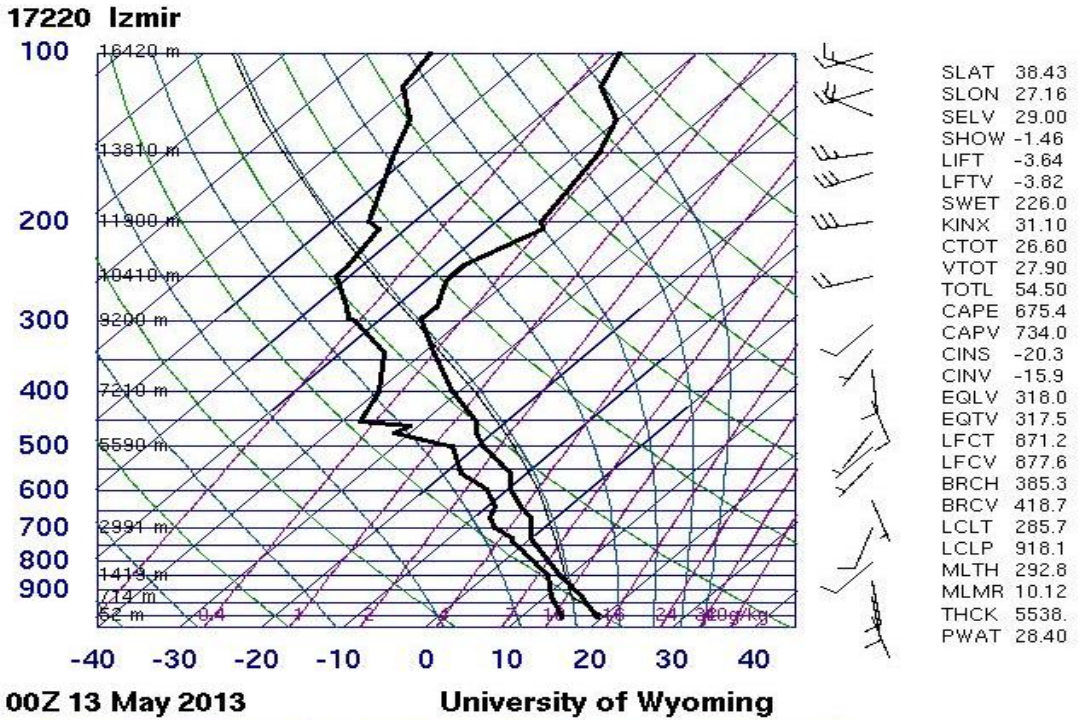
12Z temp gözleminin Karasızlık indekslerine bakıldığı zaman [5] ;

Showalter 0,39 değeri ile hava artık kararsız bir durum almış ve oraj ihtimali var,

Lifted -0,74 değeri ile oraj başlangıç sınırı,

K İndeksi 7,70 değeri ile oraj ihtimali yok,

Total Total 51,60 değeri ile şiddetli oraj ihtimali vermektedir. Görüldüğü gibi 00Z değerlerine göre maksimum sıcaklığın da etkisi ile indekslerde kararsızlığa doğru bir değişim olduğu görülmektedir. 500 hPa haritasındaki trof hattı ile birlikte artık kararsızlık karakteristiği oldukça artmıştır. Yalnız takip edilmesi gereken bir parametre yüksek seviyenin hala kuru olmasıdır.



Şekil 7: *13.05.2013günü 00Z Temp diyagramı*

Şekil 7'de 13.05.2013 günü 00Z temp diyagramı incelendiğinde yer seviyesinden üst seviyelere kadar nemli bir havanın hakim olduğu görülmektedir. Karasızlık indekslerine bakıldığı zaman [5];

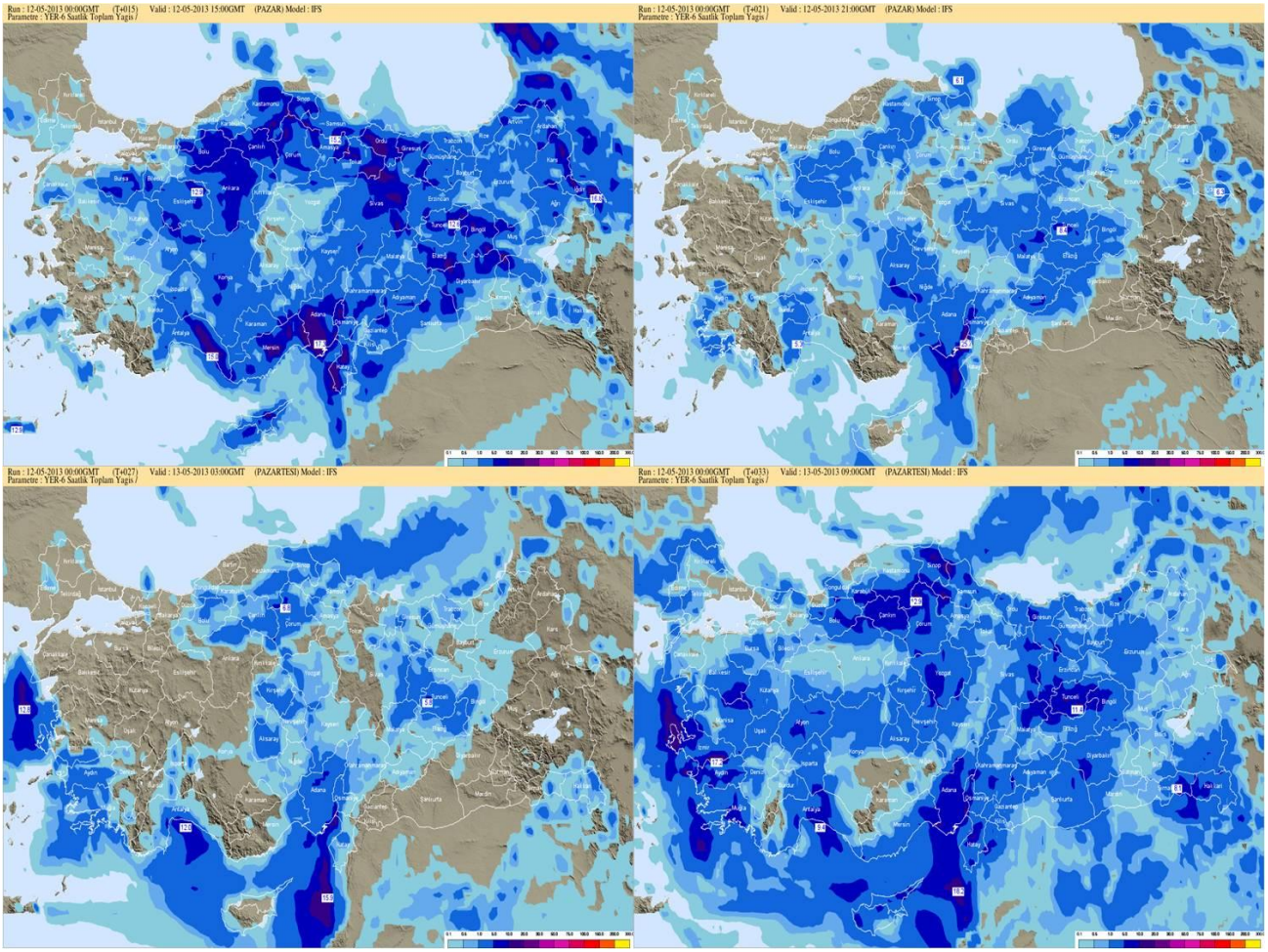
Showalter -1,46 değeri ile hava kararsız ve oraj ihtimali fazladır,

Lifted -3,64 değeri ile hava çok kararsız ve orta seviyeli oraj ihtimali fazla,

K İndeksi 31,10 değeri ile hızlı bir artış göstermiş ve %85 ihtimalle oraj durumu olduğu görülmektedir. Özellikle seviyelerin işba sıcaklığı da hesaba katıldığı için seviyelerdeki nem oranındaki artış göze çarpmaktadır.
Total Total 54,50 değeri ile geniş alanlarda kuvvetli oraj ihtimali vermektedir.

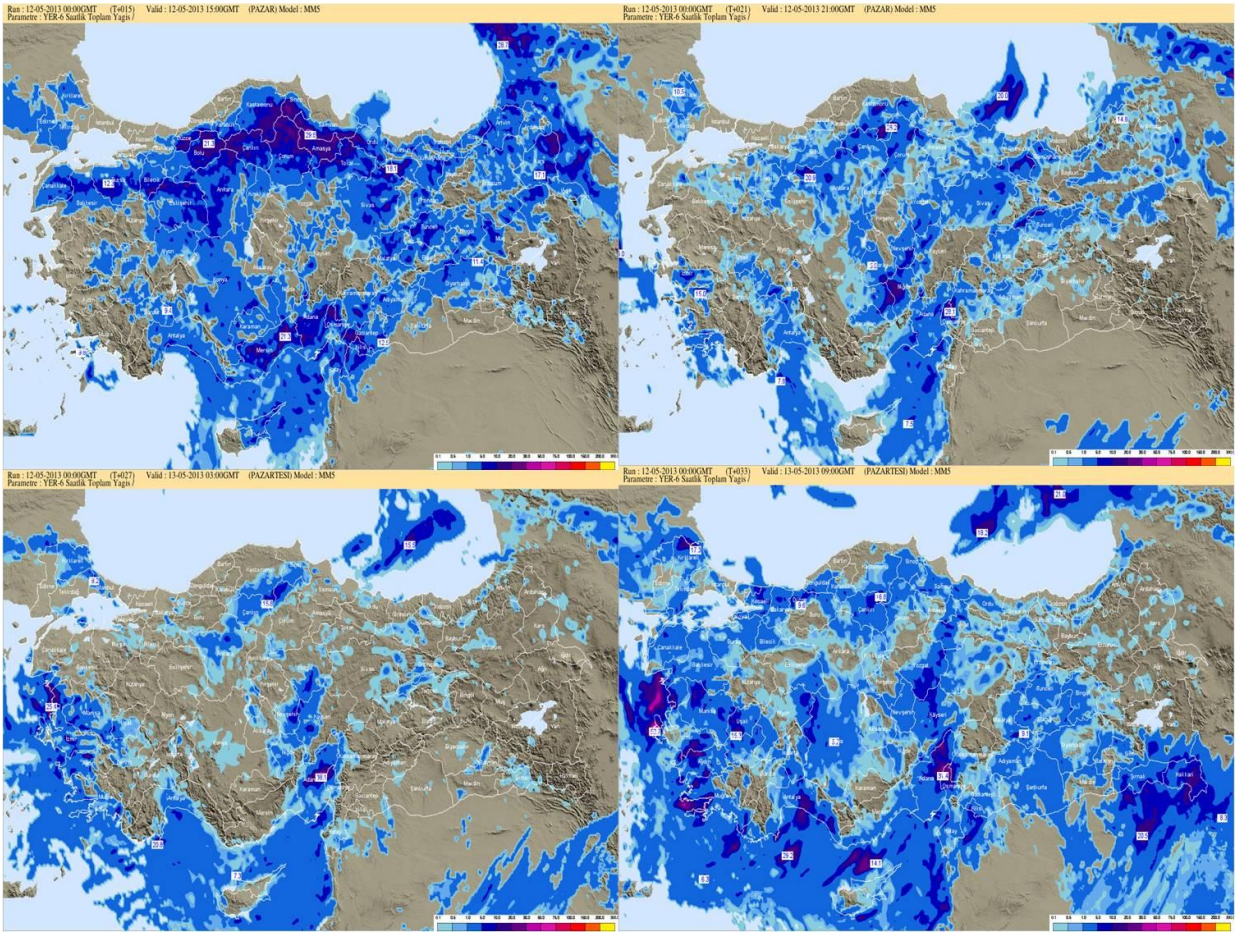
2.2 Sayısal Tahmin Modellerinin Değerlendirilmesi

Yer kartı çıktılarında ülkemizi etkileyen Alçak Basınç Merkezinin etkisini sürdürdüğü ve hatta zamanla genişlediği görülmektedir. 13.05.2013 günü 00Z yer kartı çıktısında Ege Denizi üzerinde 1004 hPa değerine sahip alçak basınç merkezi analiz edilmektedir.
850 hPa çıktılarında 12.05.2013 günü için çok fazla bir değişiklik olmamakla birlikte, 13.05.2013 günü 00Z haritasında Ege Denizi üzerinde 141 dam' lik ikincil bir Alçak Merkez oluşmuştur ve 06Z' de bu merkez ve soğuk havasının devam ettiği görülmektedir.
500 hPa haritalarında ülkemizin orta kesiminde bulunan trof hattının kuzeydoğuya doğru hareketi görülmektedir. Aynı zamanda 13.05.2013 günü 00Z haritasından itibaren Ege denizi üzerinde oluşmaya başlayan ikincil trof hattı, kuzeyden aldığı soğuk havasıyla giderek belirgin bir hal almaya başlamaktadır. 850 hPa' daki alçak merkeze paralel olarak 13.05.2013 günü 00Z haritasında da 558 dam' lik ve -20° C lik soğuk damlası olan alçak merkez bulunmaktadır. Özellikle 500 hPa seviyesinde bulunan alçak merkezin güneyindeki yaklaşık 50 knot civarında olan kuvvetli rüzgarların bu soğuk ve nemli havayı Ege kıyılarına doğru taşıdığı görülmektedir.
Yer seviyesi ve bunu destekler şekilde üst seviyelerde de devam eden alçak merkezin bulunması kuvvetli hava olaylarının oluşmasında etken olabilmektedir.
Sayısal modellerin yağış çıktıları incelendiğinde, ülkemizin iç ve doğu bölgelerinde devam eden yağışların öğle saatlerinde yer yer kuvvetlendiği görülmektedir. En yüksek sıcaklığın olduğu zaman dilimlerinde artan konvektif faaliyetlere paralel olarak yağış miktarlarındaki artışlar görülmektedir. 13.05.2013 günü 00Z çıktılarından itibaren Ege Denizi üzerinde oluşan ikincil trof hattının önünde oluşan yağışlar gözlenmektedir. Ancak bu bölgede de yağışın 03-09Z civarında yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 8: Sayısal Tahmin Modelleri yağış ürünleri.

Kararsızlık yağışlarında Sınırlı Alan modellerinin daha verimli olduğu bilinmektedir. Çözünürlüğünün de yüksek olması nedeniyle bu tür modeller hem miktar hem de alan açısından Global modellerden daha iyi sonuçlar vermektedir. Yağış verisi olarak saatlik, 6 saatlik ve 24 saatlik çıktı veren MM5 modelinin 6 saatlik çıktıları incelenmiştir.

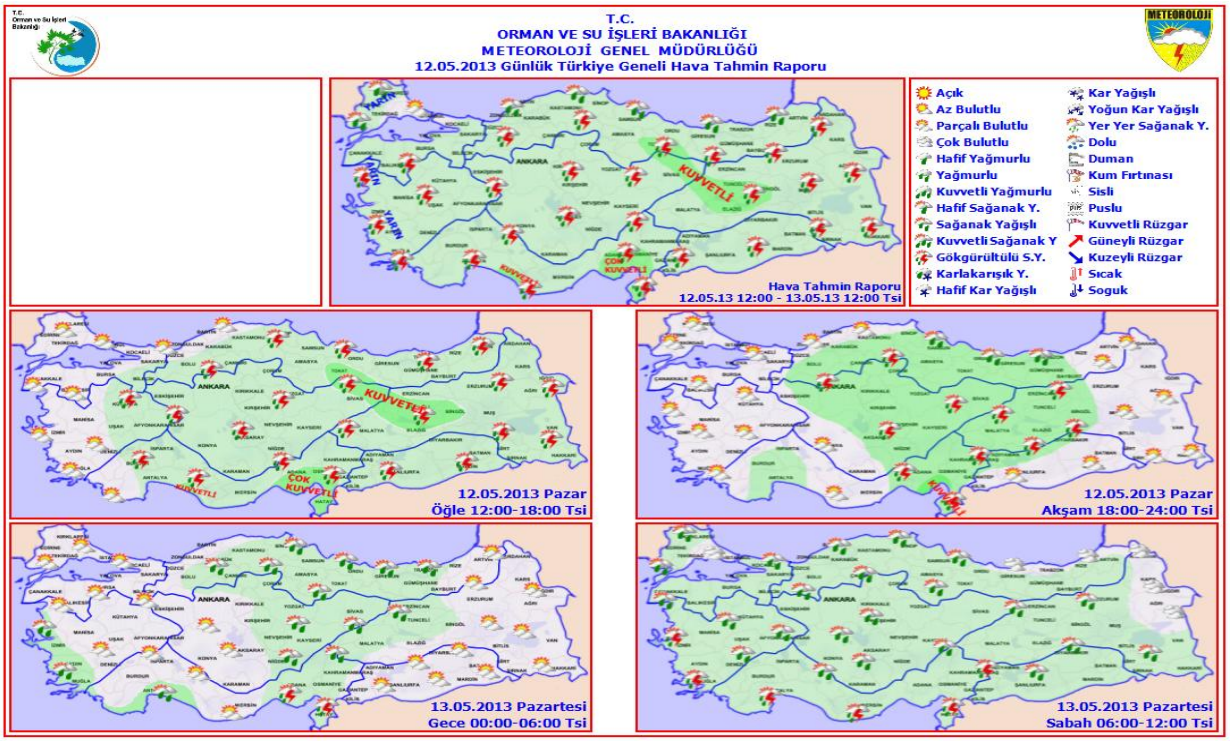


Şekil 9: MM5 Sayısal Tahmin Modelleri yağış ürünleri.

12.05.2013 günü itibariyle ülkemizin güney, iç ve doğu bölgelerinde yağışın etkili olduğu görülmektedir. Yine ikincil trofun etkilerini 21Z den sonra, özellikle de 03-09Z arasında Kıyı Ege'de kuvvetli yağışlar şeklinde görmekteyiz. İzmir çevresine 03-09Z arasında 6 saatlik dilimde 50 mm civarında yağış görülmektedir.

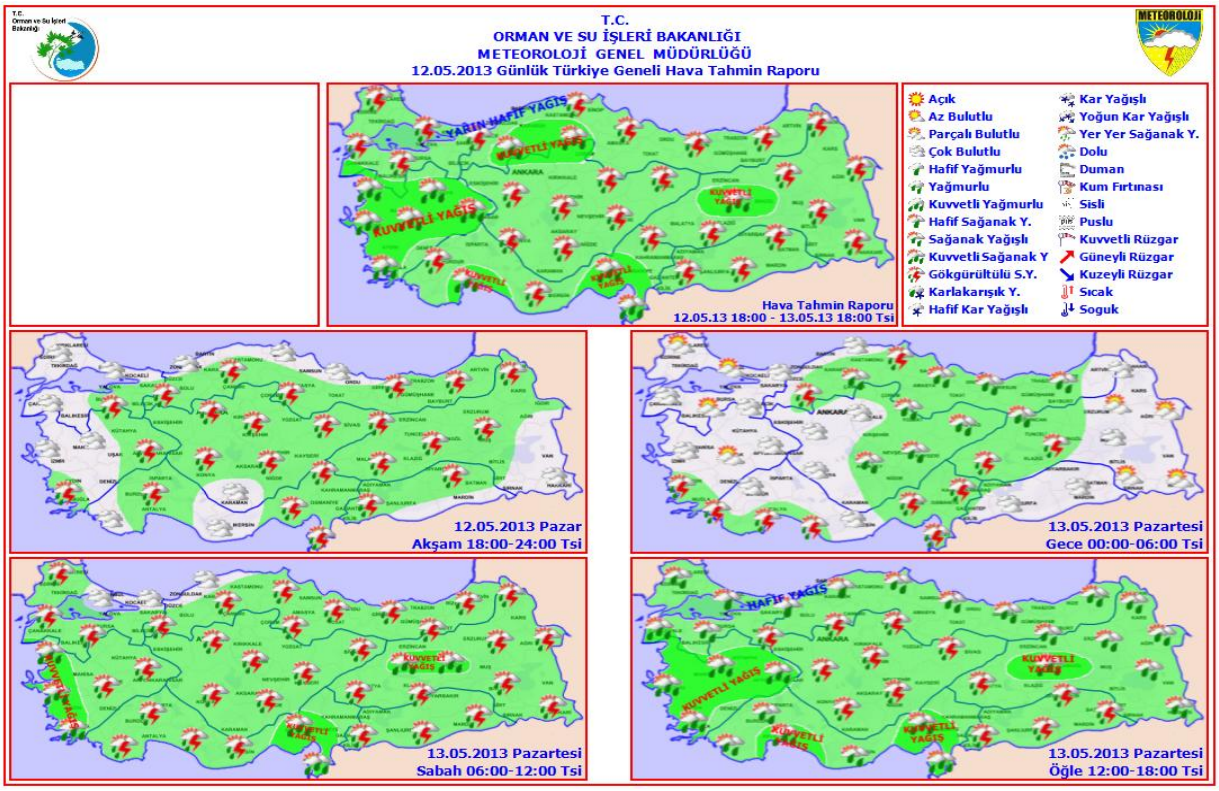
2.3 Tahminlerin Raporlara Yansıtılması

Tüm bu bilgiler ışığında 12.05.2013 günü öğle raporunda ülkemizin büyük bölümünün yağışlı, Adana, Osmaniye ve Hatay çevrelerinde çok kuvvetli, Tokat, Elazığ, Bingöl, Tunceli, Ordu, Sivas ve Antalya çevrelerinde kuvvetli yağışların görülmesi beklenmiştir.



Şekil 10: Öğle Hava Tahmin Raporu.

Kararsızlık yağışlarının karakteristiğine uygun olarak Öğle periyodunda kuvvetli yağışların yoğunlaştığı tahminlerden görülmektedir. İzmir ve Kıyı Ege'de yer ve üst seviyelerde meydana gelen derinleşme ve soğuk havanın çöküşü ile birlikte 00Z civarında (Lokal saat 3) bölgede yağışın başlaması beklenmiştir. (Şekil 10)

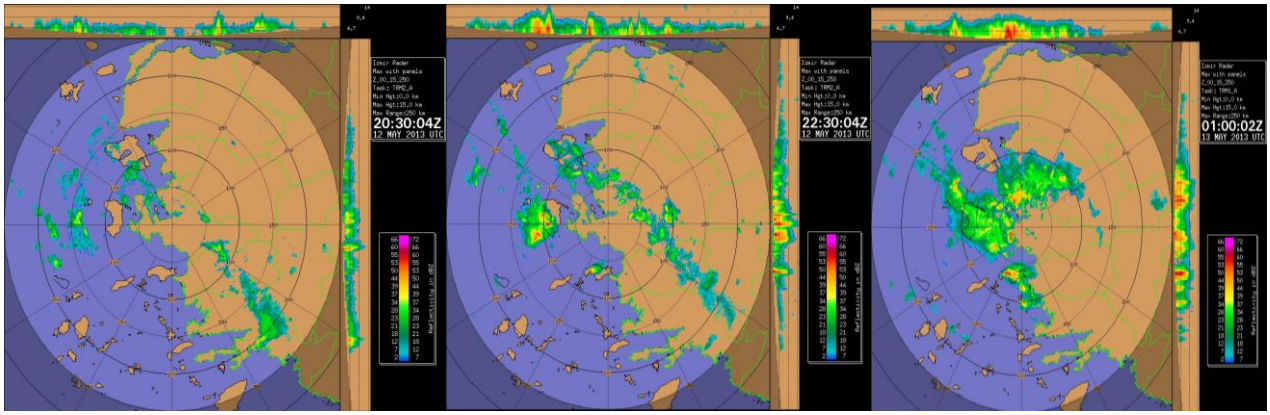


Şekil 11: Akşam Hava Tahmin Raporu.

12.05.2013 günü akşam yapılan değerlendirmeler ve hazırlanan akşam raporuna göre; Ülkemiz genelinde beklenen yağışların 13.05.2013 günü Kuzey ve Kıyı Ege ile Bolu, Karabük, Çankırı, Çorum, Antalya, Adana, Osmaniye, Hatay, Tunceli ve Bingöl çevrelerinde kuvvetli yağış şeklinde olması beklenmiştir. İzmir, Aydın ve Muğla çevresindeki yağışların 06-12 lokal periyodu içerisinde kuvvetli olacağı belirtilmiştir. (Şekil 11)

3. RADAR GÖRÜNTÜLERİNİN YORUMLANMASI VE UYARI YAYINLANMASI

13.05.2013 günü sabah saatlerinden itibaren Kıyı Ege'de başlaması beklenen kuvvetli yağışlar için belirlenen risk sahasının takibi önem arz etmektedir. Risk sahası olarak belirlenen sahaların gözlemlenebildiği Balıkesir, İzmir, Muğla, Antalya ve Hatay radarlarının takibi bu tür hava şartlarında zorunlu bir hal almaktadır. Özellikle konvektif faaliyetler için uydu, radar ve rasat karşılaştırması yaparak takip önemlidir. İzmir radar görüntüleri incelendiğinde 20Z' den itibaren Sakız adasının batısı ve Muğla çevresinde konvektif faaliyetlerin başladığı görülmektedir.



Şekil 12: Radar görüntüleri.

Bu görüntüler ve yapılan analizler sonucunda 03Z civarı başlaması beklenen kuvvetli yağışın daha erken gelebileceği görülmüş ve 20Z (23 lokal)'de uyarı hazırlanarak yayınlanmıştır. (Şekil 13)

Bu uyarı da Sakız adasının batısında görülen kütlenin 23Z' den sonra Kıyı Ege' de kuvvetli yağışlara neden olabileceği belirtilmiştir. Bu kütle 22:30Z itibariyle Sakız adasını etkilemeye başlamış ve radarın Maks görüntüsünden bulut merkezinin 50 dBZ yüksekliğinin ise 9,5 Km civarında olduğu, 00:06Z görüntüsünde artık İzmir kıyılarında etkili olmaya başladığı, merkezinin 50-55 dBZ, yüksekliği ise 9-10 Km civarında olduğu görülmektedir. 03Z civarında artık geniş bir alana yayıldığı ve bulut tavanının ve kuvvetli eko korunun alçaldığı, dağılma sürecine başladığı anlaşılmaktadır [2]. Otomatik meteoroloji istasyonlarının verileri incelendiğinde 00Z civarında yağışın başladığı ve özellikle 01 ila 03Z arasında kuvvetli yağışların gerçekleştiği görülmektedir.

T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Tarih : 12.05.2013	Saat : 23:00	Uyarı No : 0154	Uyarı Kodu: Normal

Uyarı Yapan Merkez	Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Genel Başlık	Kıyı Ege ile Antalya ve Çanakkale Çevrelerinde Kuvvetli Yağış!
Beklenen Hadise	Gökgürültülü Sağanak Yağış
Hadisenin Şiddeti	Kuvvetli Yağış
Beklendiği Yer	Yapılan son değerlendirmelere göre; bu gece saatlerinden sonra Kıyı Ege (İzmir, Aydın, Muğla ve Balıkesir'in batı ilçeleri) ile Çanakkale çevrelerinde kuvvetli (20-50 mm), Antalya çevrelerinde çok kuvvetli (50-75mm) sağanak ve gökgürültülü yağış beklendiğinden meydana gelebilecek olumsuzluklara (su baskını, sel, yıldırım, heyelan, dolu, ulaşımda aksamalar vb.) karşı dikkatli ve tedbirli olunması gerekmektedir.
Geçerlilik Periyodu	13:05.2013 01:00 - 13.05.2013 19:00 Tsi
Oluşması Muhtemel Riskler	Su Baskını - Ani Sel - Heyelan - Yıldırım - Ulaşımda Aksamalar

Yağış Şiddeti Sınıflandırması

Hafif Yağış	1 - 5 mm
Orta Kuvvette Yağış	6 - 20 mm
Kuvvetli Yağış	21 - 50 mm
Çok Kuvvetli Yağış	51 - 75 mm
Şiddetli Yağış	76 - 100 mm
Aşırı yağış	100 mm üzeri

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

Şekil 13: 154 nolu Uyarı.

Tablo 1: İzmir ve ilçelerinde gerçekleşen yağış miktarları.

		İZMİR	SEFERİHİSAR	SÖKE	FOÇA	ÇEŞME	K.PAŞA	DİKİLİ
13.05.2013	10:00	0	0	2,4	0,2	0	0	0
13.05.2013	09:30	0	0	2,2	0	0,2	0	0,2
13.05.2013	09:00	0	0	3	0	0	0	0,4
13.05.2013	08:30	0	0	8,4	0	0	0	0
13.05.2013	08:00	0	0	1,6	0	0	0	0
13.05.2013	07:30	0,2	0	1,4	0	0	0	0
13.05.2013	07:00	0,6	1	1	0	0	0	0
13.05.2013	06:30	0,4	1,4	1,4	0	0	0	0
13.05.2013	06:00	0	2	0,2	0	0,2	0	0
13.05.2013	05:30	0	2,8	**22,4**	0,2	0,6	0,2	0,2
13.05.2013	05:00	0,2	3,6	4,6	0,8	0	0	0,6
13.05.2013	04:30	1,6	1	0,4	0,6	0	0,4	1,4
13.05.2013	04:00	1,6	1,4	0,2	1	0	1,6	0,8
13.05.2013	03:30	2,8	1,2	0	0,6	0,2	2,4	2
13.05.2013	03:00	**3,6**	1,2	0,2	1	0,4	2,6	1,6
13.05.2013	02:30	3,2	2	0,2	0,6	1,4	**4,8**	**1,8**
13.05.2013	02:00	0,8	0,8	0	0,8	2,2	2,6	1,6
13.05.2013	01:30	0	7,2	0	**24,8**	3,4	0	0,6
13.05.2013	01:00	0	**15,4**	0	3,6	3,4	0	0
13.05.2013	00:30	0	0	0	1,2	**3,8**	0	0
13.05.2013	00:00	0	0	0	0,6	1,6	0	0
12.05.2013	23:30	0	0	0	0	0	0	0
12.05.2013	23:00	0	0	0	0	0	0	0
		15,0	41,0	49,6	36,0	17,4	14,6	11,2
SAATLER GMT OLARAK VERİLMİŞTİR.								

Seferihisar'da 00:30-01:00Z arasında gerçekleşen 15,4 mm ve Foça'da meydana gelen 01:00-01:30Z arasında meydana gelen 24,8 mm lik yağış miktarları dikkat çekicidir.

4. SONUÇLAR

Bütün bunların ışığında elbette genel sinoptik analiz ve sayısal tahmin ürünleri hava tahmin uzmanlarına önemli bilgiler vermektedir. Özellikle yağışın yeri, zamanı ve miktarı şeklinde 3 boyutlu bir bilgi sunmaktadır. Bu şekilde yapılan analizler sonucunda risk sahalarının belirlenmesi, bu sahaların Uydu ve Radar görüntülerinin takibinin yapılması önem kazanmaktadır. Zamanın çok önem kazandığı kuvvetli meteorolojik olayların gerçekleşeceği zaman, yer ve miktarın daha net tahmini ve uyarıların yayınlanması açısından uydu ve radar artık vazgeçilmez aygıtlarımızdır. Kuvvetli yağışların oluşum ve gerçekleşme mekanizması göz önünde bulundurulduğunda Uzaktan Algılama Ürünleri konvektif faaliyetlerin belirlenmesinde kolaylık sağlamaktadır. Bu olay incelemesinde de görüldüğü gibi; sayısal hava tahmin ürünlerinde meteorolojik olayların gerçekleşme zamanında bir kaç saatlik değişimler yaşanabilmektedir. Burada hava tahmin uzmanlarının yeterli bilgi ve donanımına sahip olup, anlık gelişmeleri takip ederek uzaktan algılama ürünleri ile destekleyerek meteorolojik olayların gerçekleşme zamanını en iyi şekilde tahmin etmesi ve gerektiğinde uyarıların hazırlanması önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Çöleri M., Günyel E.S., Ertürk A.G., Yurtseven M., Cessur H.A., 2004.** Çok Kısa Süreli Hava Tahmini (Nowcasting) Uygulamaları Çalışma Notu, Ankara.

[2] **Geçer C., 2002.** Radar Meteorolojisi, DMİ Yayınları, Ankara.

[3] **Hava Analiz ve Tahmin Tekniği Ankara 2007.** Sayfa 113-114.

[4] http://www.mgm.gov.tr/site/yardim1.aspx?=HadSid,

[5] **Yağan Y.,** Skew T- Log P Diyagramı Ders Notları MGM Yayınları.

Radar Görüntülerinde Oraj Hücrelerinin Analizi ve İzlenmesi

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

Mert Uluyazı
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
muluyazi@mgm.gov.tr

ÖZET

Bulutlar, meteoroloji radarları tarafından saptanabilen ekolar üretir. Radar kullanıcılarının görevi, yağışa neden olan ve olmayan bulutları birbirinden ayırt etmek ve ayrıca oraja neden olan Cb (Cumulonimbus) bulutlarını belirleyerek bu yağış ekolarının hareket ve gelişimlerini izlemektir. Çok kararsız ve nemli bir atmosferde dikey yönlü hava hareketlerinin artması, Cb bulutlarının gelişimini desteklemesi ile birlikte kısa sürede etkili yağışlar meydana getirir. Orta enlemlerde bulunan ülkemizde genellikle bahar aylarında cephesel siklonların etkisiyle konvektif gelişmeler son yıllarda daha sık gözlenmektedir.

Radar tarafından oraj hücrelerinin tespit edildiği yükseklik 3 ile 6 km arasındadır. Radar reflektivitesinin en yoğun olduğu alanlar, hücrelerin olgunlaşma safhasında olduğunun işaretidir. Bir orajın yaşam süresi olarak tanımlanan süre; hücrelerin oluşumu ve yere yağış olarak düşmesi, yaklaşık 30 dakikadır. Bir bölgede meteorolojik ve topografik şartlara bağlı olarak çok sayıda bireysel hücreler mevcut olabildiği gibi, çok hücreden oluşan birkaç yüz km uzunluğunda bir fırtına hattı da mevcut olabilir. Çok hücreli orajlar ise etkisini birkaç saat boyunca sürdürebilmektedir.

Meteoroloji radarları, geniş alanlarda yağışın ne kadar şiddetli olduğuna dair kullanıcılara önemli bilgiler sağlar. Meteoroloji radarları ile, bulut içindeki yağmur damlaları, buz tanecikleri, dolu, kar tanecikleri gibi hidrometeorlardan yansıtılan

enerjiden reflektivite değerleri hesaplanmaktadır. Bu reflektivite değerleri, birim hacimdeki damlacık sayısı ve damlacık çapının 6. kuvvetiyle ilişkili olarak hesaplanır ve birimi desibel'dir (dBZ). 35 dBZ'den düşük reflektivite değerleri hafif şiddette yağmuru, 35-50 dBZ arası orta şiddette yağmuru, 50 dBZ'nin üzeri şiddetli yağmuru ifade eder. 55 dBZ'nin üzerindeki reflektivite değerleri ise genelde doludur.

Bu çalışmada, tahmincilerin radar görüntülerini kullanarak oraj hücrelerini nasıl analiz etmesi ve izlemesi gerektiği konularında bilgiler verilmiş, örnek olaylar ve değerlendirmeler yapılmıştır.

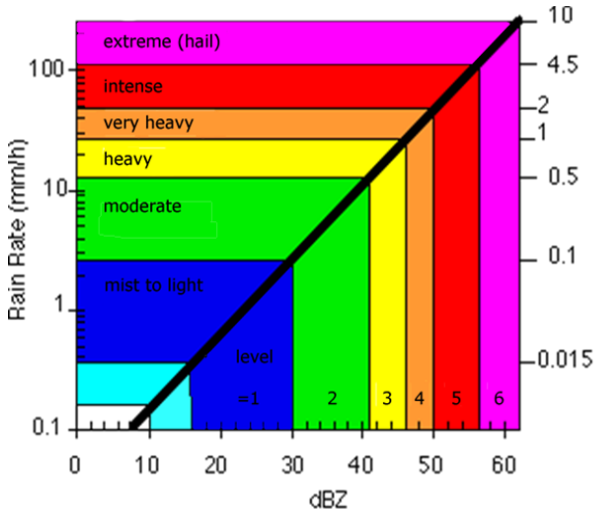
Anahtar Kelimeler — radar, Cb, oraj, dolu, reflektivite

1. GİRİŞ

Orajlar, Cb bulutlarının neden olduğu şimşek ve gök gürültüsü ile birlikte oluşan şiddetli sağanak yağışlardır. Şiddetli gök gürültülü sağanak yağışlar, genellikle lokal konvektif oluşumlardır. Şiddetli konvektif fırtınaların oluşumları ve gelişimleri radar ile takip edilebilmektedir. Bu olayların izlenmesinde, atmosferin kararsızlık durumunun belirlenmesi oldukça önemlidir. Yukarı atmosfer gözlemleri karasızlığın belirlenmesinde kullanılır.

2. ORAJLAR, RADAR GÖRÜNTÜLERİNDE ORAJLARIN TESPİTİ VE İZLENMESİ

Bir radar reflektivite görüntüsünde oraj hücrelerinin reflektivite değerleri 40 dBZ ve üzerindedir. Daha yüksek eko değerleri, yağışın ne kadar şiddetli olduğunu gösterir (Şekil 1).



Reflektivite (dBZ)	Yağış Şiddeti (mm/saat)
< 30	Hafif
30-40	Orta
40-45	Kuvvetli
45-50	Çok kuvvetli
50-57	Şiddetli
> 57	Aşırı (dolu)

Şekil 1: Radar reflektivitesi - yağış şiddeti ilişkisi.

2.1. Radar Reflektivitesi

Reflektivite (eko şiddeti), radar tarafından atmosfere gönderilen enerjinin hidrometeorlara çarpması ile hidrometeorlar tarafından geri yansıtılan enerjinin ölçüsüdür. Daha kuvvetli hidrometeorlar daha fazla enerji geri yansıttıklarından daha yüksek reflektivite değerlerine sahiptir. Bu reflektivite değerleri, birim hacimdeki damlacık sayısı ve damlacık çapının 6. kuvvetiyle ilişkili olarak hesaplanır ve birimi desibel'dir (dBZ). Genel olarak 35 dBZ'den düşük reflektivite değerleri hafif şiddette yağışı, 35-50 dBZ arası orta şiddette yağışı, 50 dBZ'nin üzeri şiddetli yağışı ifade eder. 55 dBZ'nin üzerindeki reflektivite değerleri ise genelde doludur.

Reflektivite, $\mathbf{z = \sum N_i D_i^6}$ formülüyle hesaplanır ve birimi mm^6/m^3'tür.

Bu formülde; D_i damlacıkların çapıdır ve birimi mm'dir. N_i ise D_i çaplı damlacıkların sayısıdır.

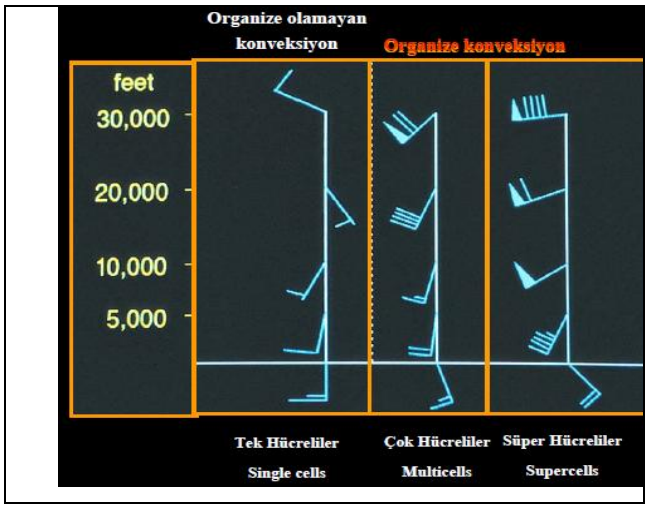
Reflektivite hesabı, radar yazılımları tarafından bu formüle göre otomatik olarak yapılır.
Reflektivite değerleri, radar görüntülerinde genelde sağ tarafta yer alan renk skalasında kullanıcılara kolaylık sağlaması açısından logaritmik olarak gösterilir:
$\mathbf{Z = 10 \log_{10} z}$
Burada Z logaritmik reflektivite değeri olup birimi desibel'dir [dBZ].
Küçük çaplı dolu içeren şiddetli sağanak yağışa ait reflektivite hesabının nasıl yapıldığını aşağıdaki bir örnekle açıklamak gerekirse;
1 m^3'ünde her biri 5 mm çapındaki 10 damlacık olan bir hedef varsayılırsa (Oraj Hücresi);
Her bir damlacık için $\rightarrow D^6 = 5^6\ mm^6 = 15.625\ mm^6$
$z = 10\ m^{-3} \times 15.625\ mm^6$
$\mathbf{z = 156.250\ mm^6/m^3}$
Logaritmik Radar Reflektivite Faktörü Değeri:
$Z = 10 \log_{10} z$
$=10 \log_{10} (156.250)$
$=10 \times (5,19)$
Z = 51,9 dBZ

2.2. Radar Görüntülerinde Orajlar

Orajlar, radar reflektivite görüntülerinde beliren şekillerine göre temel olarak 3 türde sınıflandırılır:

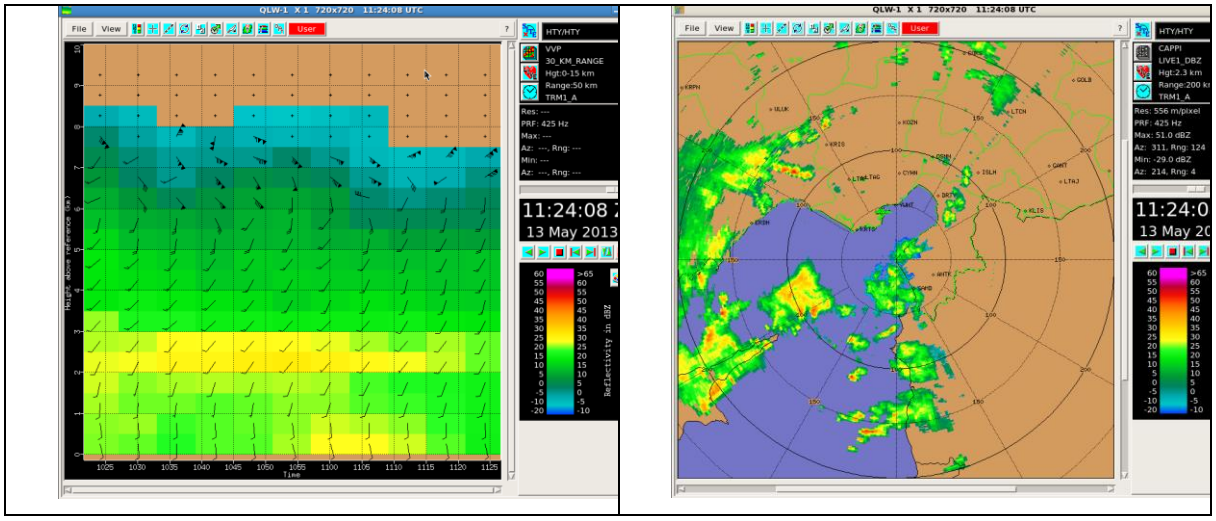
1. Tek hücreli orajlar (single cells)
2. Çok hücreli orajlar (multicells)
3. Süper hücreli orajlar (supercells)

Bu orajlarda, konvektif şartlara bağlı olarak oluşan dikey rüzgar profilleri Şekil 2'de görülmektedir.



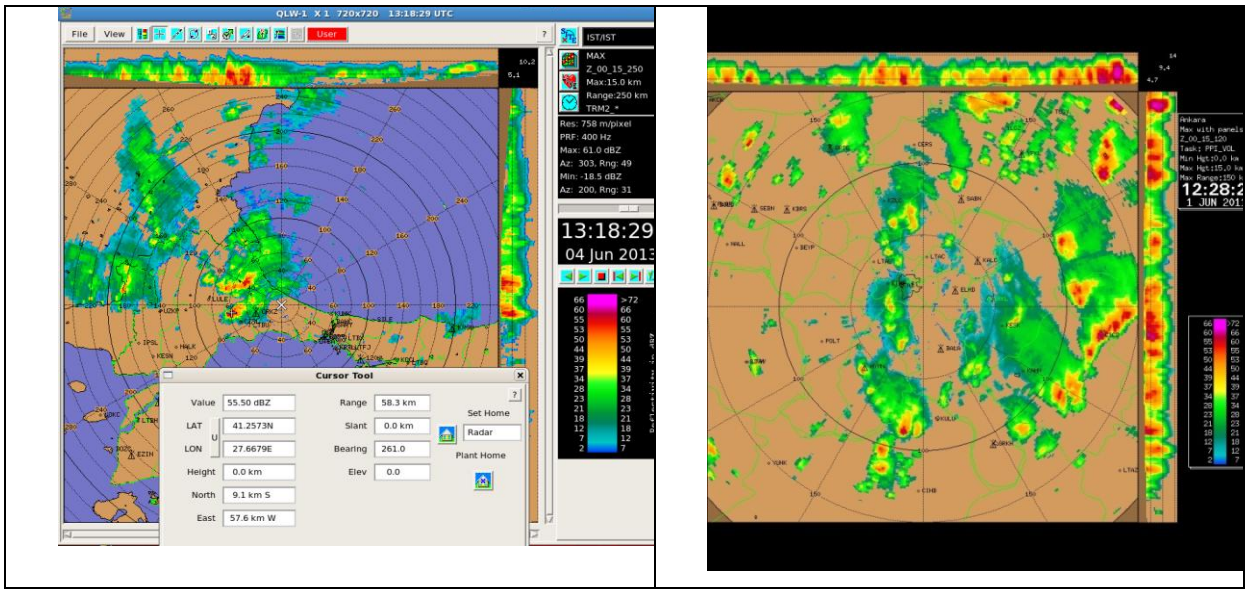
Şekil 2: Orajlardaki dikey rüzgar profilleri.

Doppler radarlar tarafından üretilebilen dikey rüzgar profili ürünü (VVP), rüzgar hızı ve yönünün (windbarbs) yükseklikle değişimini zamanın foksiyonu olarak grafiksel olarak gösterir. Bu üründe aynı zamanda reflektivite değerleri de arka planda gösterilir (Şekil 3). Bilinmesi gereken önemli bir husus ise, VVP ürününün radar merkezinden 30-40 km'ye kadar olan bir alan dahilinde üretilebilmesidir.



Şekil 3: (a) Hatay radarı yakınında tek hücreli bir oraja ait dikey rüzgar profili, (b) Tek hücreli orajın CAPPI reflektivite görüntüsünde reflektivite değeri 35-40 dBZ civarındadır.

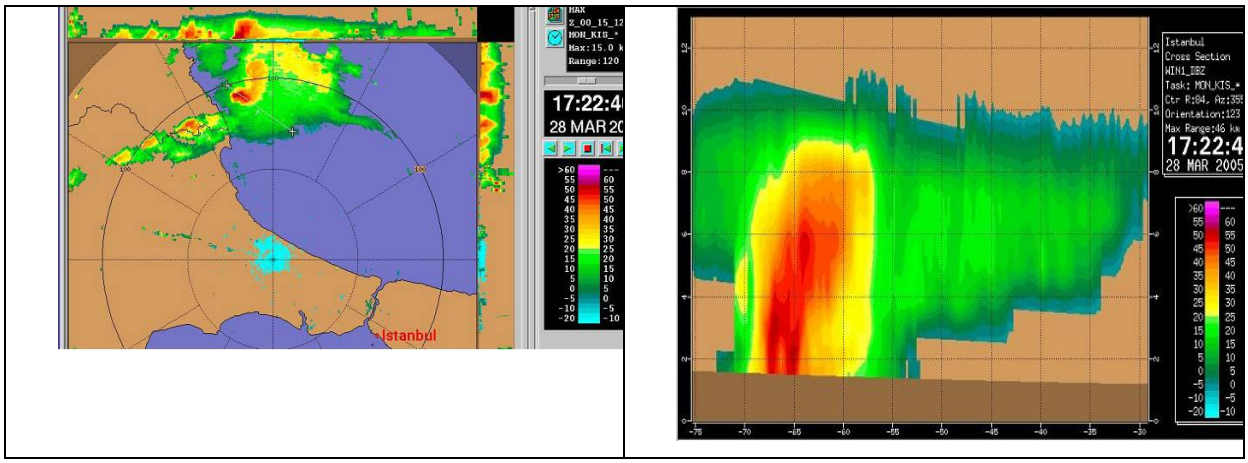
Tek hücreli orajlar (single cells), radar reflektivite görüntülerinde adından da anlaşıldığı gibi bireysel tek bir hücreden ibaret olup, yukarı yönlü hava akımları (updrafts) genellikle zayıftır ve çoğunlukla şiddetli olmayan hava koşulları üretirler. Ancak kararsızlık şartları yeterli olduğunda ise kısa süreli şiddetli hava koşulları üretebilirler. Buna ise reflektivite değerlerine bakılarak karar verilebilir. Şöyle ki; reflektivite değeri 40 dBZ civarlarında kaldıysa şiddetli hava koşulları üretmez, ancak 45-50 dBZ ve daha yüksek reflektivite değerlerine sahipse şiddetli sağanak ve dolu üretirler, yaşam ömürleri ise en fazla 30 dakika civarında olur.



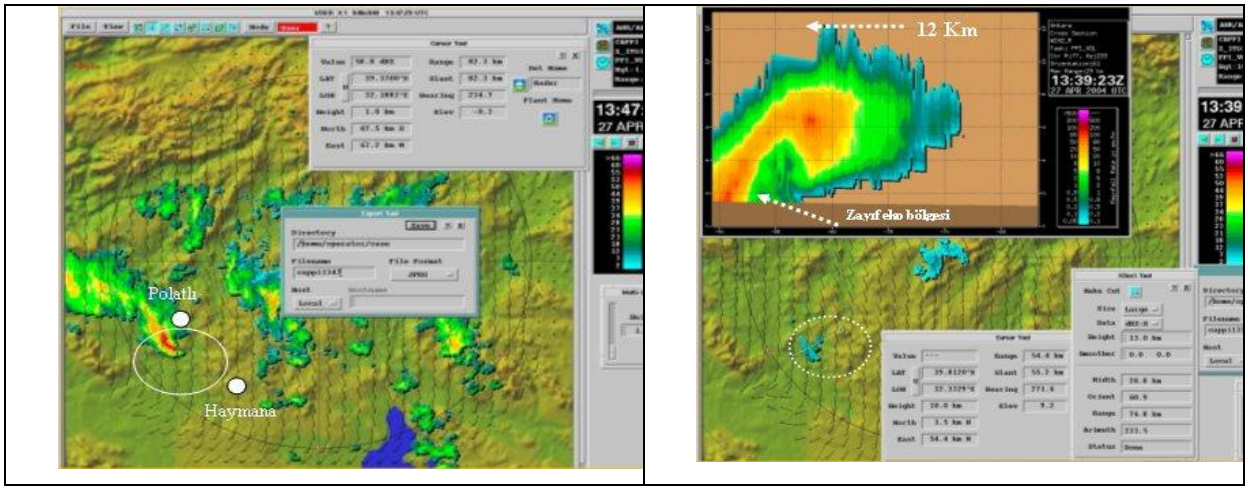
Şekil 4: İstanbul ve Ankara radarı MAX reflektivite görüntülerinde tek hücreli ve çok hücreli orajlar.

Çok hücreli orajlar (multicells), radar reflektivite görüntülerinde birden fazla tek hücrenin grup olarak birlikte hareket etmesi şeklinde görülürler. Bu tip orajların hareketleri radardan takip edilirse, her bir hücrenin komşu hücre ile etkileşim halinde olduğu ve hızlı bir şekilde gelişerek yeni hücrelere dönüşebildikleri gözlenir. Çok hücreli orajlar düz bir hat şeklinde grup olarak belirgin ve hareketliyse bu şekildeki çok hücreli hatlar squall hattı olarak adlandırılmaktadır. Tek hücreli ve çok hücreli orajlara ait radar eko örnekleri Şekil 4'te verilmiştir.

Süper hücreli orajlar (supercells), hortum üretebilen çok şiddetli orajlar olup radar görüntülerinde hook (çengel) eko şeklinde beliren bir yapıya sahiptir ve ayrıca dikey kesit görüntülerinde zayıf eko bölgesi (BWER) göze çarpar. Bunun nedeni, süper hücreli orajlarda çok şiddetli yukarı yönlü hava akımları (updraft) nedeniyle çok büyük yağış partiküllerinin yukarıda asılı olarak tutulmasıdır. Yukarı yönlü hava akımları içerisinde mezosiklonlar (dönen vorteks) mevcuttur. Süper hücreli orajlar uzun ömürlü korlara sahiptir ve sıklıkla şiddetli yağış, büyük çaplı dolu, kuvvetli rüzgarlar ve genellikle hortum üretirler.

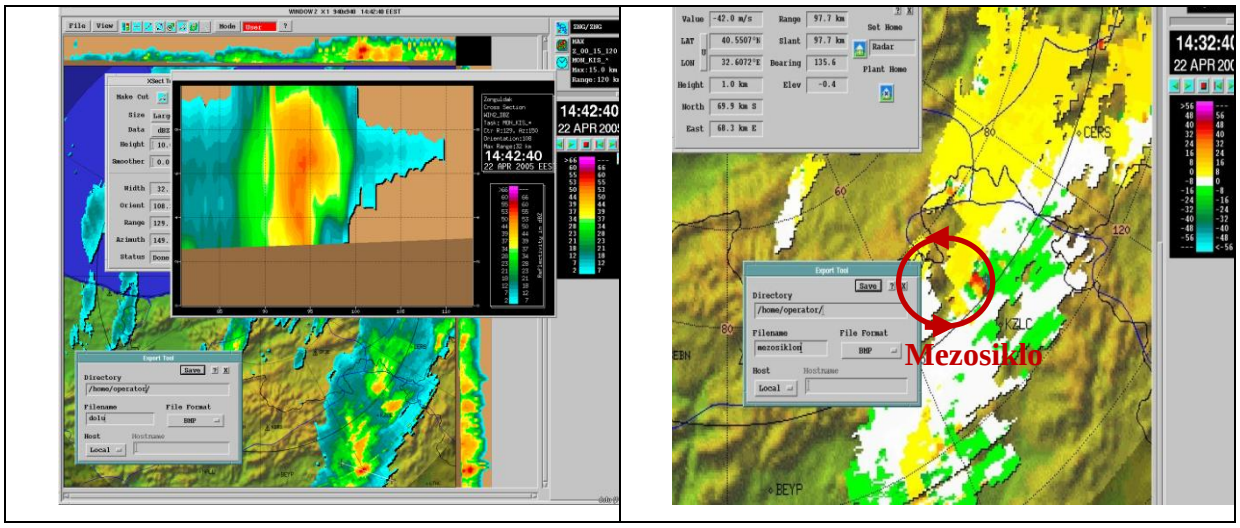


Şekil 5: İstanbul'un 100 km kuzeybatısında meydana gelen süper hücreli bir oraja ait MAX reflektivite görüntüsü üzerindeki eko yapısı ve dikey kesiti.



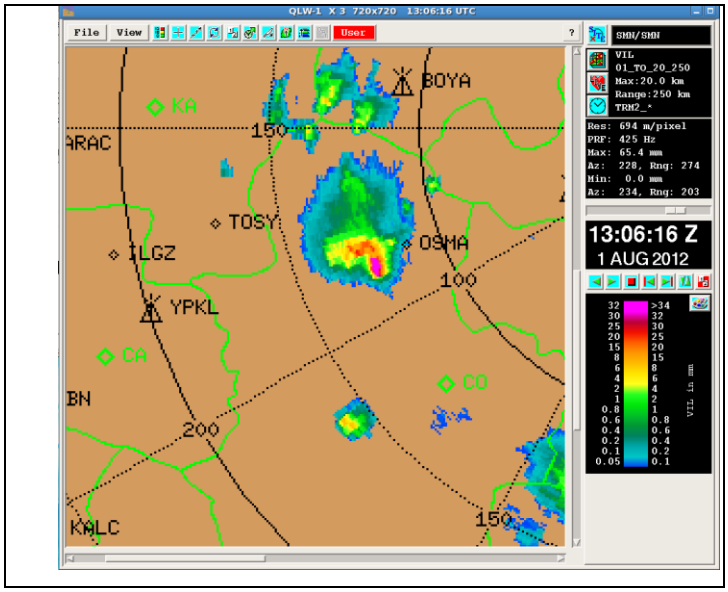
Şekil 6: Haymana ile Polatlı arasında meydana gelen süper hücreli bir orajda, CAPPI reflektivite görüntüsündeki çengel eko ve süper hücreli orajın dikey gelişimi görülmektedir.

Süper hücreli orajlar, radar reflektivite görüntüsünde diğer oraj hücrelerinden farklı bir yapıya ve hareket istikametine sahiptir. Süper hücreli orajlarda reflektivite görüntülerinde çengel ekonun belirmesinin yanı sıra hız görüntülerinde de TVS (Tornado Vortex Signature) olarak adlandırılan mezosiklon ekosu belirir. Tornado Dönüş İşareti, radar hız görüntüsünde çok dar bir alanda çok zor tespit edilebilen bir işarettir (Şekil 7). Doppler hız görüntüleri maksimum yakınlaştırma yapılarak dikkatlice incelenmelidir. Bir mezosiklon, 2-10 km çaplı bir alanda radara doğru yaklaşan ve radardan uzaklaşan hızları içerir. Bu hızların mutlak toplam değeri 25-75 m/s (~50-150 knot) arasındadır.



Şekil 7: Zonguldak radarında, süper hücreli bir orajın hız görüntüsündeki mezosiklon ekosu. Hız değeri 80 knot civarındadır.

Bir orajın etkili yağışa sebep olup olmayacağı, VIL (Vertically Integrated Liquid) ürününe bakılarak anlaşılabilir. VIL ürünü, şiddetli orajların tespitinde, özellikle bir orajın yağış potansiyelini veren iyi bir üründür. Yerden belirli bir yüksekliğe kadar tanımlanan tabaka aralığında noktasal olarak toplam su içeriği hesaplanarak yağış tahmini mm cinsinden gösterilir (Şekil 8).



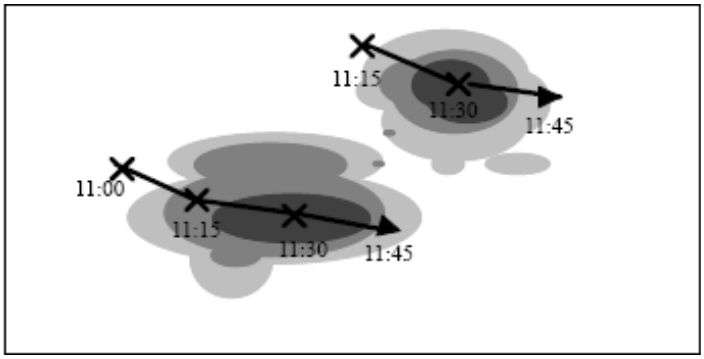
Şekil 8: Samsun radarında bir süper hücreli orajın yağış potansiyeli hakkında bilgi veren VIL ürünü.

2.3. Oraj Hücrelerinin Takibi

Oraj hücreleri, radar görüntü ekranında (QLW), genel olarak PPI, CAPPI ve MAX reflektivite görüntülerinden faydalanılarak belirlenir. Görüntülerden tespit edilen herhangi bir oraj hücresinin dikey gelişimini görmek amacıyla kesit alınabilir (cross-section). Cross-section, bir fırtınanın dikey yapısını detaylı olarak gösteren mükemmel bir uygulama olup kullanıcı arzu

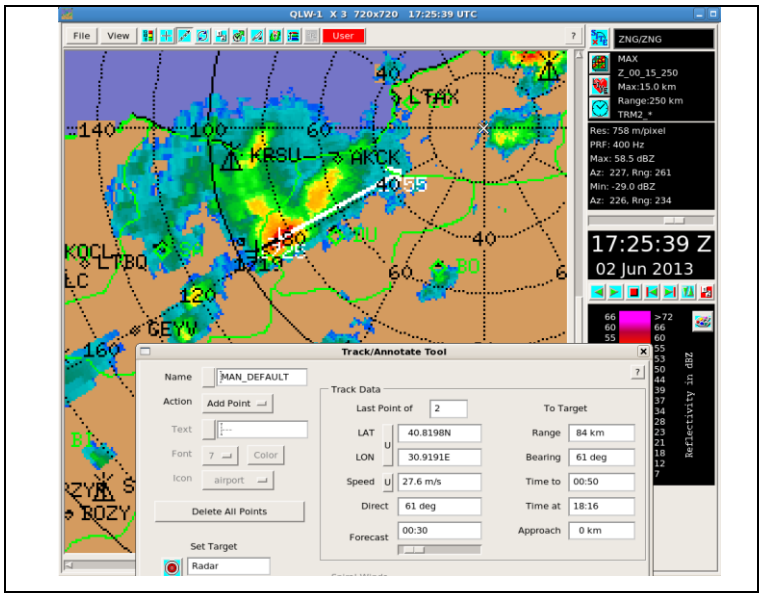
ettiği yerde ve doğrultuda konvektif dikey yapıyı görebilir. Cursor Tool vasıtasıyla istenilen noktadaki reflektivite değeri okunabilir. Ayrıca 4 kata kadar yakınlaştırma yapılarak hücre büyütülebilir. Lokal alanlardaki orajlara daha yakından bakmak, reflektivite değerlerini okumak, dikey yapılarını incelemek, vb. pratik uygulamalar yardımıyla orajların ne kadar kuvvetli oldukları, lokal sağanak yağışları ve dolu içerdikleri anlaşılabilir.

Radar reflektivite görüntüsünde oraj hücresi veya hücreleri oluşmaya başladıktan itibaren izlenmeye başlanmalıdır. Oraj hücrelerinin hareket yönü ve hızlarına göre belirli bir zaman sonra nerede olabileceğinin belirlenmesi amacıyla, IRIS/Display yazılımında QLW'de bulunan Track/Annotate Tool kullanılarak oraj hücreleri takip edilebilir. Bu tool, oraj hücrelerinin tahmini olarak hesaplanan hareket vektörlerini gösterir. Bir önceki taramada ekrandaki bir hücrenin, akabindeki herhangi yeni bir taramada hareketi sonucunda geldiği pozisyonu referans alarak, gelecek zamanlarda (örneğin 30 dak veya 1 saat sonra) hangi pozisyonlarda olacağını tahmin eder. Bu zamanın 2-3 saat gibi çok ileri seçilmesinin doğru sonuçlar veremeyeceği bilinmelidir.



Şekil 9: Oraj hücrelerinin takibi (şematik gösterim).

Aşağıda Şekil 10'da verilen örnekte, Track/Annotate Tool kullanılarak, tespit edilen tek hücreli bir orajın 17:19 Z ile 17:25 Z anındaki konumundan faydalanılarak hareket yörüngesi işaretlenmiş ve 30 dak. sonra (17:55 Z'de) geleceği tahmini yer belirlenmiştir. Burada önemli olan nokta, hücrelerin maksimum izlenme süresinin 1 saat civarlarında tutulması gerektiğidir.



Şekil 10: Track/Annotate Tool yardımıyla, Zonguldak radarında MAX reflektivite görüntüsünde oraj hücrelerinin takibi ve hareket hızının belirlenmesi.

3. SONUÇLAR

Atmosferde kararsızlık ve nemliliğe göre farklı oluşum ve etkiler gösterebilen orajların en etkin izlenme yolu meteorolojik radar görüntülerinin kullanılmasıdır. Tek hücreli orajlar hafif derecede tehlike arz ederken, çok hücreli orajlar orta derecede, süper hücreli orajlar ise yüksek derecede tehlike arz ederler. Çok hızlı ve ani bir şekilde sel ve taşkınlara sebep olan orajların takibi ve gerektiğinde erken uyarı verilebilmesi açısından radar görüntülerinin en iyi şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Radar ile oraj takibi yapılırken aynı zamanda oraj bölgesinde atmosferin kararsızlık ve nemlilik durumunun ne kadar şiddetli olduğu da 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*, DMİ 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] **Gmachl L., Morris D.,** *Radar Interpretation*, Oklahoma Mesonet, (1-2), Norman, 2004.

16 Haziran 2011 Tarihinde Ankara ve Çevresinde Gerçekleşen Dolu Yağışının Radar ve Uydu Görüntüleriyle Meteorolojik Analizi

Serkan TEPE
Meteoroloji 9. Bölge Müdürlüğü
Şube Müdürü
Ankara
stepe@mgm.gov.tr

Ayhan KAPTAN
Meteoroloji 9. Bölge Müdürlüğü
Mühendis
Ankara
akaptan@mgm.gov.tr

ÖZET

Dolu, havanın üst katmanlarında soğuktan donarak, yuvarlak buz taneleri biçiminde yağan zararlı etkileri olan bir yağış şeklidir. Dolu Kümülonimbüs (Cb) ve Towering Cumulus (TCu) tipi bulutlar içinde oluşan katı buz parçacıklarıdır. Kararsız havalarda, yukarı yönlü rüzgarların etkisiyle su damlacıkları, donma seviyesinin üzerine çıktığında, donar ve buz taneciği haline gelir. Buz tanesinin dolu olarak isimlendirilmesi için 5mm (0.2 inch) çapa sahip olması gerekir.

Dolunun en büyük zararı tarım alanlarına olmaktadır. Ayrıca inşaat, sanayi, spor vb. sektörler dolu yağışından olumsuz olarak etkilenen sektörlerdir. Kuvvetli dolu yağışları, oluştuğu bölgede zaman zaman doğal afetlere sebep olmaktadır. Bu yüzden dolu yağışının oluşumu analizi ve tahmin edilmesi ve gerekli uyarıların ilgililere ve vatandaşlara zamanında ulaştırılması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada 16 Haziran 2011 tarihinde Ankara ve çevresinde gerçekleşen sağanak ve gökgürültü sağanak yağış ile birlikte dolu yağışına sebep olan bulutların, radar görüntüleri kullanılarak, anlık oraj hücrelerinin nasıl analiz edildiği, dolu yağışının tespiti ve öncesinde Uydu görüntüleri, Meteoroloji Genel Müdürlüğünün SHT model ürünleri, kararsızlık indeksleri, güncel harita ve raporlar kullanılmıştır.

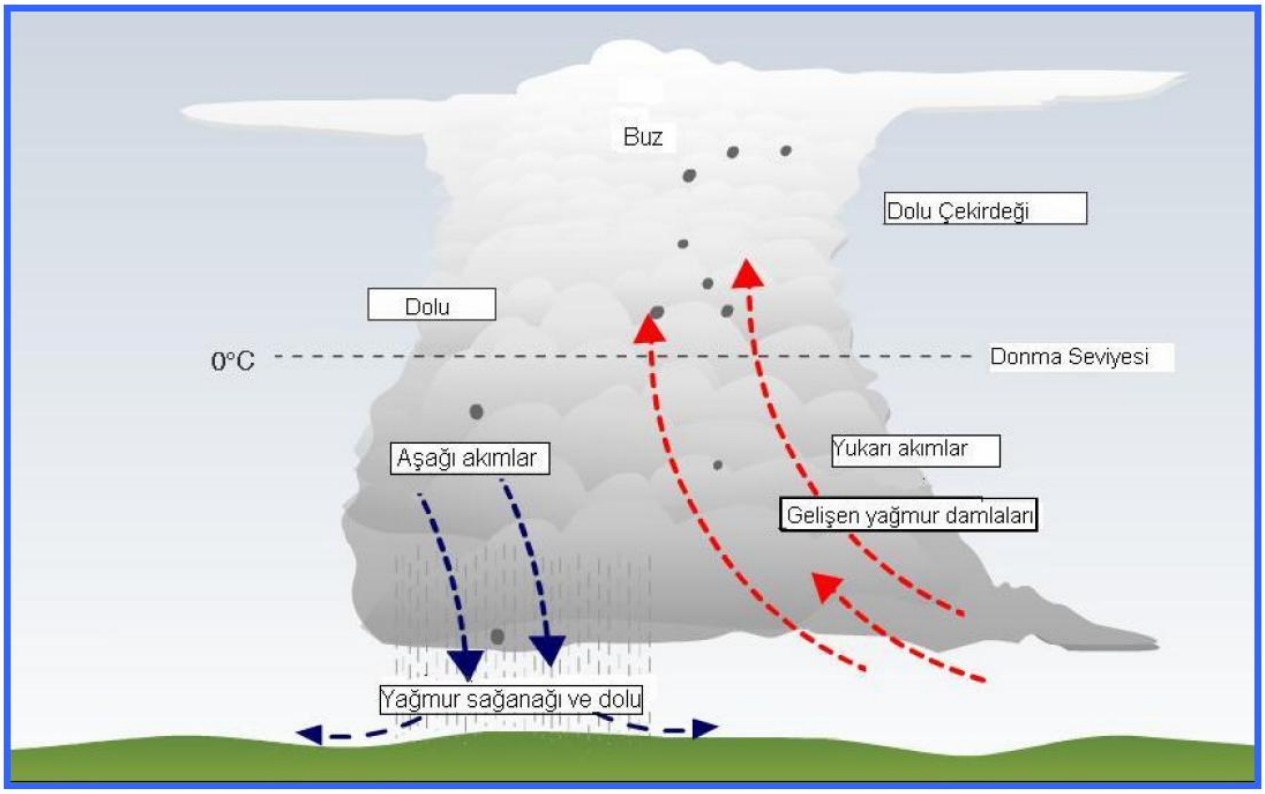
1. GİRİŞ

16 Haziran 2011 tarihinde Ankara'nın Çankaya, Balgat ve Gölbaşı ilçelerinde gerçekleşen sağanak ve gökgürültülü sağanak yağış ile birlikte etkili dolu yağışına sebep olan sinoptik ve düşey atmosfer koşulları ortaya konulmuştur. Dolu ile rüzgar ilişkisi, atmosferdeki düşey kararsızlık indeksleri incelenmiştir. Uydu ve Radar ürünlerinin kullanımı özellikle radar görüntülerinde oraj hücrelerinin analizi detaylı olarak incelenmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Analiz ve Tahmin Merkezinin olay öncesi ve sırasında vermiş olduğu raporlar ile Sayısal Hava Tahmini model verileri hakkında bilgiler verilmiştir.

Dolunun en büyük zararı tarım alanlarına olmaktadır. Ayrıca inşaat, sanayi, spor vb. sektörler dolu yağışından olumsuz olarak etkilenen sektörlerdir. Kuvvetli dolu yağışları, oluştuğu bölgede zaman zaman doğal afetlere sebep olmaktadır. Bu yüzden dolu yağışının oluşumu analizi ve tahmin edilmesi ve gerekli uyarıların ilgililere ve vatandaşlara zamanında ulaştırılması büyük önem taşımaktadır. Çankaya ve Balgat civarında gerçekleşen dolu yağışının meydana getirdiği doğal afet fotoğraflarla gösterilmiştir.

2. DOLU OLUŞUM MEKANİZMASI VE 16 HAZİRAN 2011 TARİHİNDE ANKARA VE ÇEVRESİNDE GERÇEKLEŞEN DOLU YAĞIŞININ METEOROLOJİK ANALİZİ

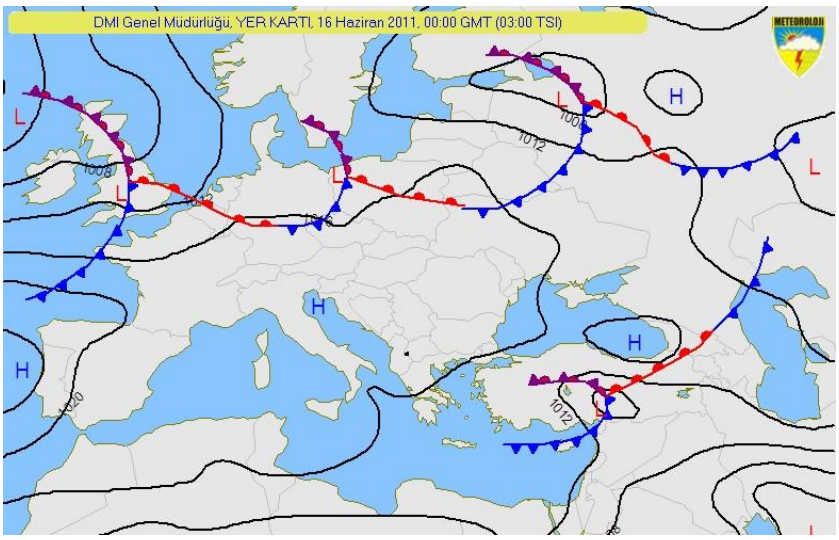
Dolu**,** havanın üst katmanlarında soğuktan donarak, yuvarlak buz taneleri biçiminde yağan zararlı etkileri olan bir yağış şeklidir. Dolu Kümülonimbüs (Cb) ve Towering Cumulus (TCu) tipi bulutlar içinde oluşan katı buz parçacıklarıdır. Kararsız havalarda, yukarı yönlü rüzgarların etkisiyle su damlacıkları, donma seviyesinin üzerine çıktığında, donar ve buz taneciği haline gelir. Buz tanesinin dolu olarak isimlendirilmesi için 5mm (0.2 inch) çapa sahip olması gerekir. Dolu yağışının meydana gelmesinde belirleyici faktör kuvvetli yukarı yönlü hava (updraft) hareketidir. Bu hareketlilik düşey karasızlığın bir sonucu olduğu gibi bulut tipi, bulutun içindeki sıvı su miktarı, donma seviyesi gibi faktörlerde dolu oluşumunda önemli rol oynar. Dolu yağışına yer ve yüksek seviye sıcaklık farkının daha fazla olduğu yaz mevsiminde daha fazla rastlanır.Dolu, aşırı soğumuş bulut ve yağmur damlacıkları birleşmesiyle gelişir. Gelişen buz parçacıkları büyür ve buna bağlı olarak havaya oranla daha hızlı düşer (Markowski ve Richardson 2010) (Şekil 1).



Şekil 1 : Dolunun Oluşum Mekanizması

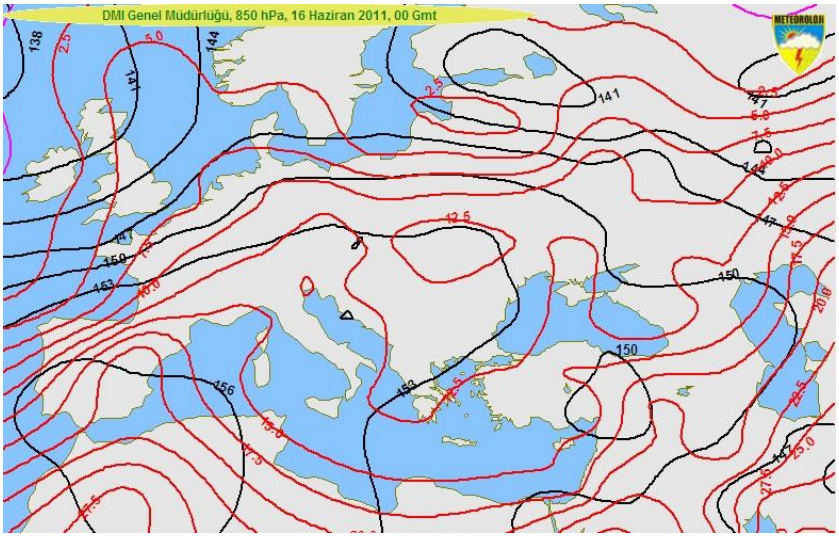
2.1. Güncel Haritaların Değerlendirilmesi

16 Haziran 2011 00:00 GMT yer kartında Türkiye'nin, Balkanlar üzerinden gelen yüksek basınç merkezi ile güneyinde bulunan alçak basınç merkezi ve buna bağlı cephesel sistemin etkisinde olduğu görülmektedir (Şekil 2).



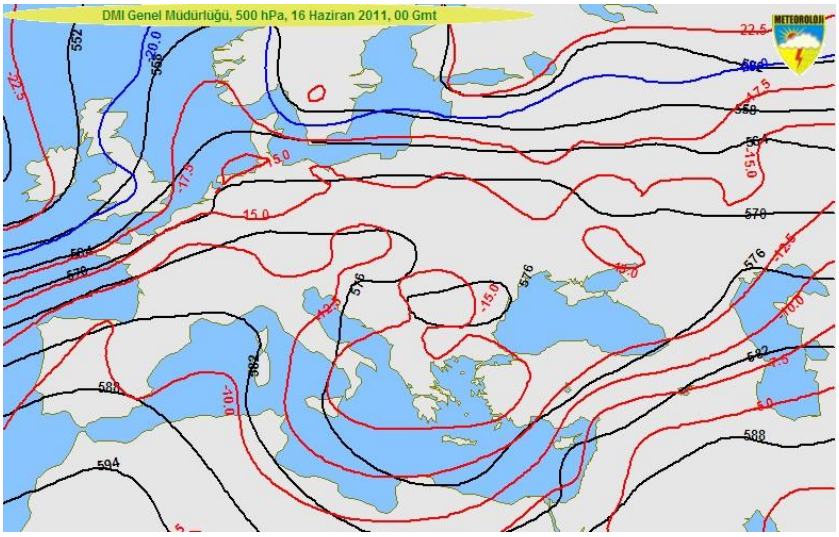
Şekil 2: Yer Kartı 00:00 GMT.

00:00 GMT 850 mb kartına göre Türkiye'nin 150 dekametrelik alçak merkezin etkisinde olduğu,sıcaklık dağılımının 12.5 ^{0}C ile 17.5 ^{0}C arasında olduğu görülmektedir(Şekil 3).



Şekil 3: *850 mb 00:00 GMT.*

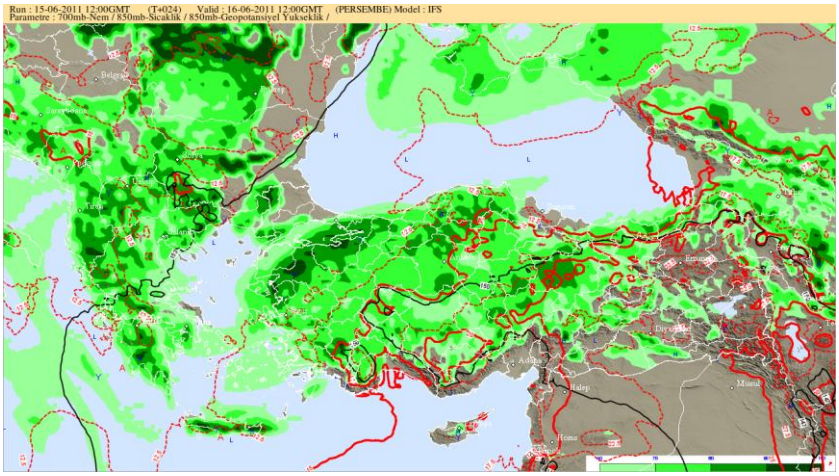
00:00 GMT 500 mb kartına göre Türkiye'nin 576 dekametrelik alçak merkez ile -15.0 ^{0}C soğuk havanın etkisine girdiği görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4: *500 mb 00:00 GMT.*

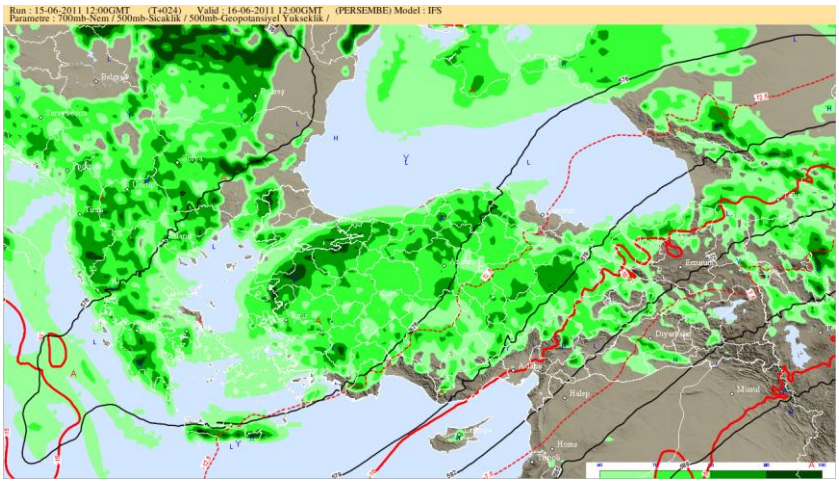
2.2. Sayısal Hava Tahmin (SHT) Modellerinin Değerlendirilmesi

SHT ürününe 850 mb haritasında 12:00 GMT'de Ankara üzerinde sıcaklığının 12.5 ^{0}C, 700 mb neminin %70-90 arasında olduğu görülmektedir (Şekil 5).



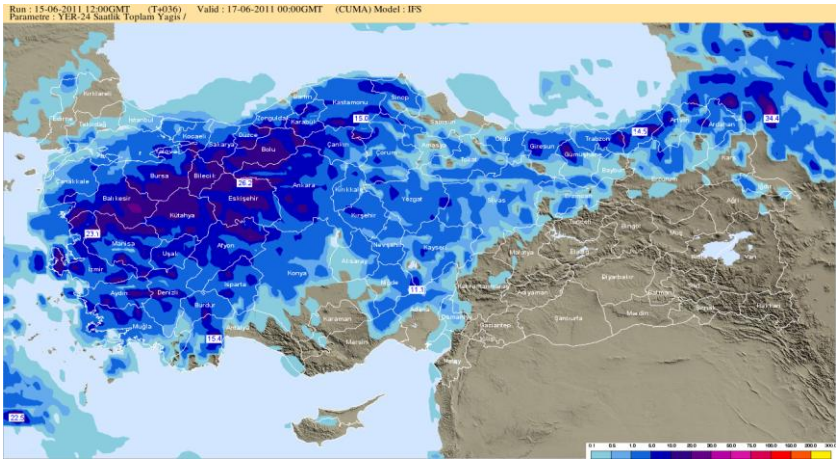
Şekil 5: ECMWF 850 mb. Sıcaklık (^{0}C) , Yükseklik (hPa), Nem (%)

500 mb haritasında 12:00 GMT'de Ankara üzerinde sıcaklığının -12.5 ^{0}C, 500 mb neminin %70-90 arasında olduğu görülmektedir. (Şekil 6).



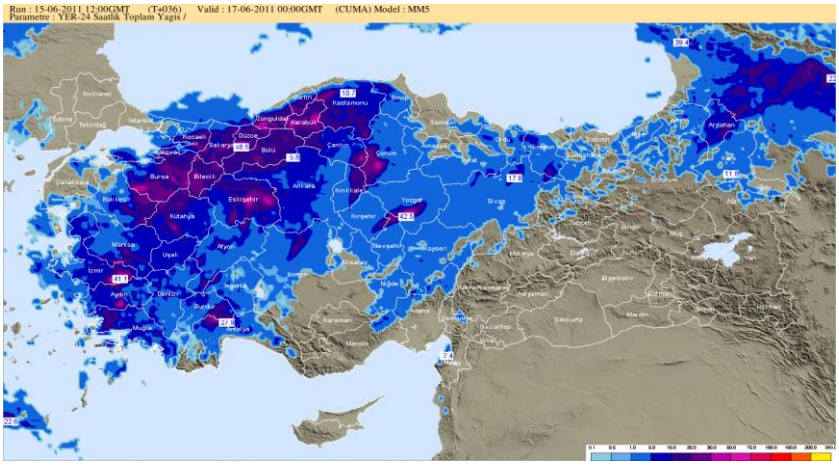
Şekil 6: ECMWF 500 mb. Sıcaklık (^{0}C) , Yükseklik (hPa), Nem %)

ECMWF 24 saatlik yağış ürününde Ankara'ya 10 mm, güney ilçelerine ise 20 mm civarında yağış düşeceği tahmin edilmektedir (Şekil 7).



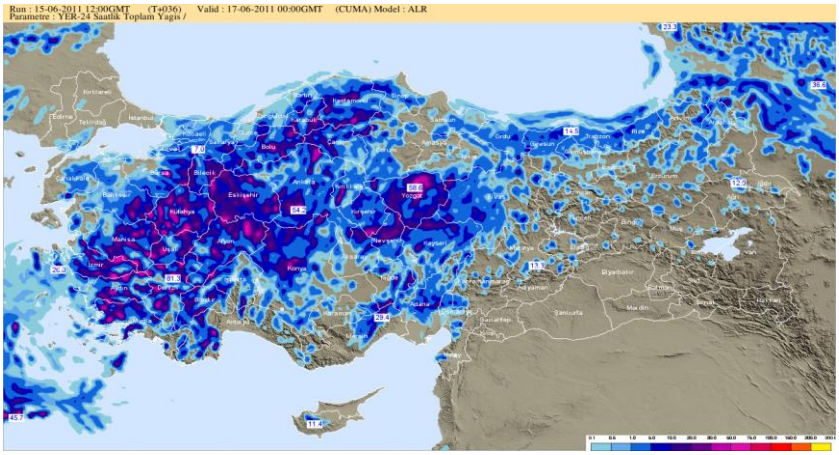
Şekil 7: ECMWF 24 Saatlik Yağış.

MM5 ürününe 24 saatlik yağış ürününde Ankara'ya 10 mm civarında yağış düşeceği tahmin edilmektedir (Şekil 8).



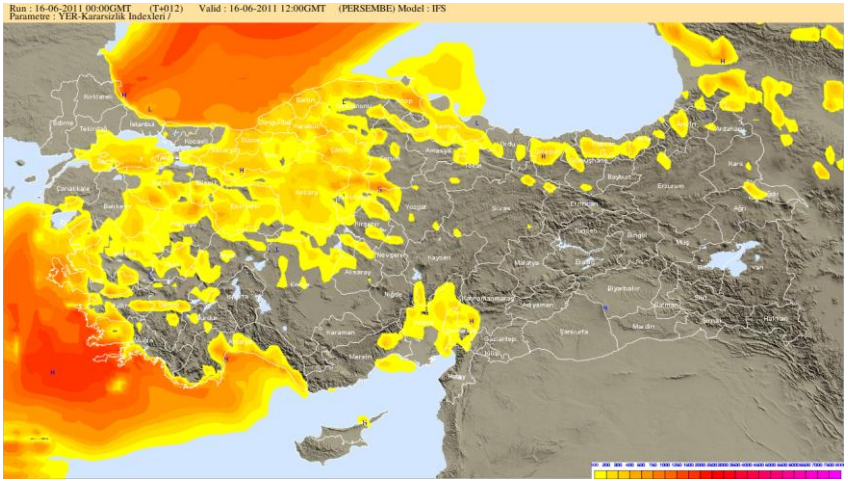
Şekil 8: *MM5 24 Saatlik Yağış*.

ALARO ürününe 24 saatlik yağış ürününde Ankara'ya 10 mm, güney ilçelerine ise 50 mm civarında yağış düşeceği tahmin edilmektedir (Şekil 9).



Şekil 9: *ALARO 24 Saatlik Yağış*.

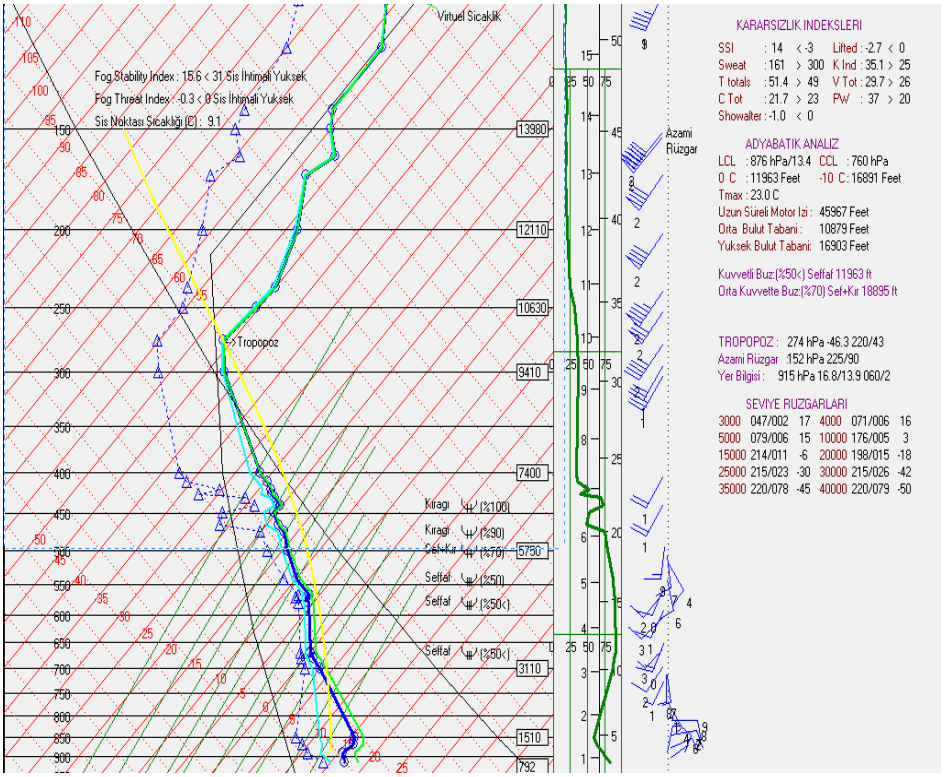
CAPE (Convective Available Potential Energy) kararsızlığın önemli göstergelerinden birisidir. Ankara ve çevresindeki bazı noktalarda 00 GMT de CAPE değerinin 1000 J/kg üzerinde yani orta derecede kararsız olduğunu tahmin edilmektedir. (Şekil 10).



Şekil10 : *IFS Model 12 Saatlik Kararsızlık Haritası*.

2.3. Temp Diyagramının Değerlendirilmesi

T Totals Indeksine göre (51.4) şiddetli yayılmış oraj olasılığının kuvvetli olabileceği, Showalter Indeksine göre (-1.0) havanın kararsız ve oraj ihtimali olduğu, Lifted Indeksine göre (-2.7) oraj ihtimali olduğu, K indeksine göre (35.1) oraj ile yoğun yağmur için %85 potansiyel olduğu analiz edilmiştir (Şekil 11).

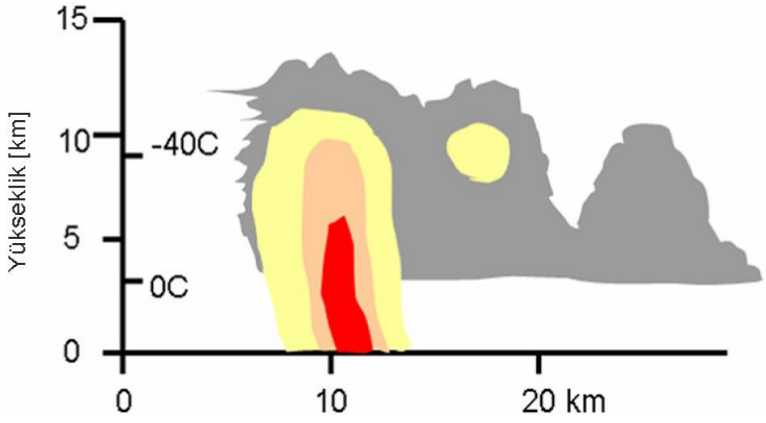


Şekil 11: *Ankara 00:00 GMT Temp diyagramı*

2.4. Dolu Profilinin Radar Dikey Kesiti

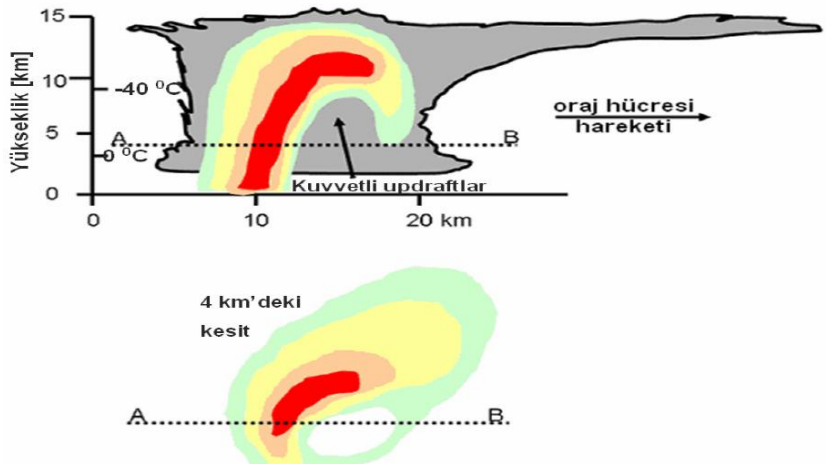
Dolunun dikey dağılımı oraj hücresinin yapısıyla yakından ilgili olup, çok hücreli (multicell) ve süper hücreli (süpercell) oraj olarak adlandırılır (Browning 1986). Şekil 12 ve 13 de gelişme safhasındaki ideal bir çok hücreli ve süper hücreli oraj yapısının radar kesitini göstermektedir.Farklı zamanlarda oraj hücre analizleri, orajların ömürlerinin değişik safhalarında, farklı yapılarda oluştuğunu açığa çıkarmıştır. Kesit diyagramı kuvvetli radar reflektivite (eko şiddeti) bölgesinin 2 ila 5 km büyüklüğünde olduğunu bilinmektedir.

Gri renk bulutu, sarı renkten kırmızıya kadar olan renk dolgusu,10 dBZ aralıkla radar reflektivitesini (>30dBZ) göstermektedir.



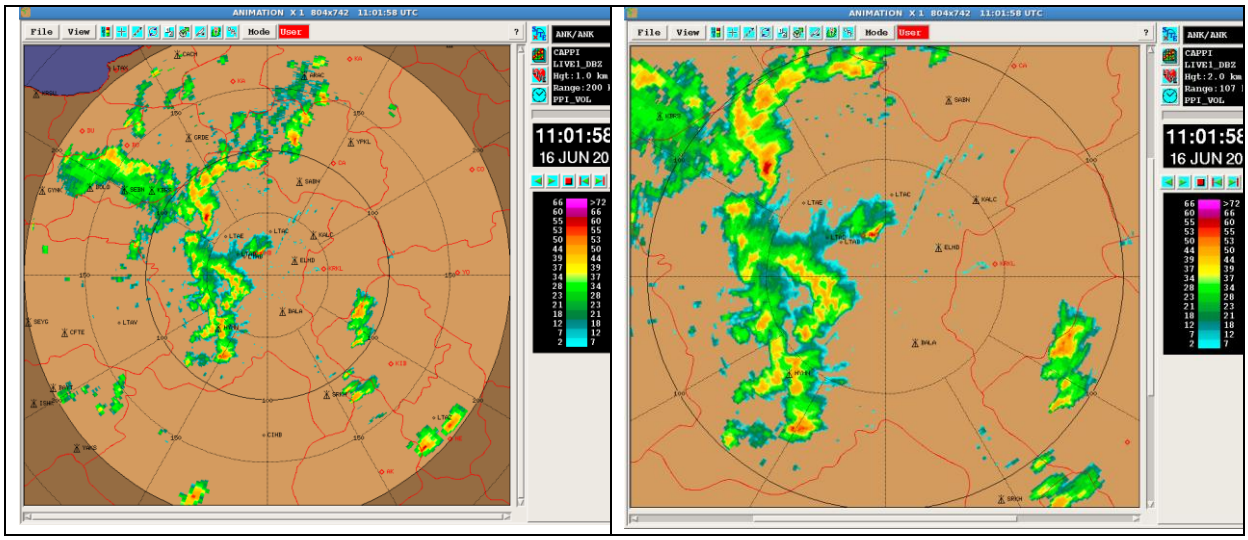
Şekil 12: Çok hücreli orajın dikey kesiti (Browning 1986)

Gri renk bulutu, açık yeşilden kırmızıya kadar olan renk dolgusu, 10 dBZ aralıkla radar reflektivitesini (>20dBZ) göstermektedir. Dolu yağışı, oraj durumunda meydana gelen yağıştır.



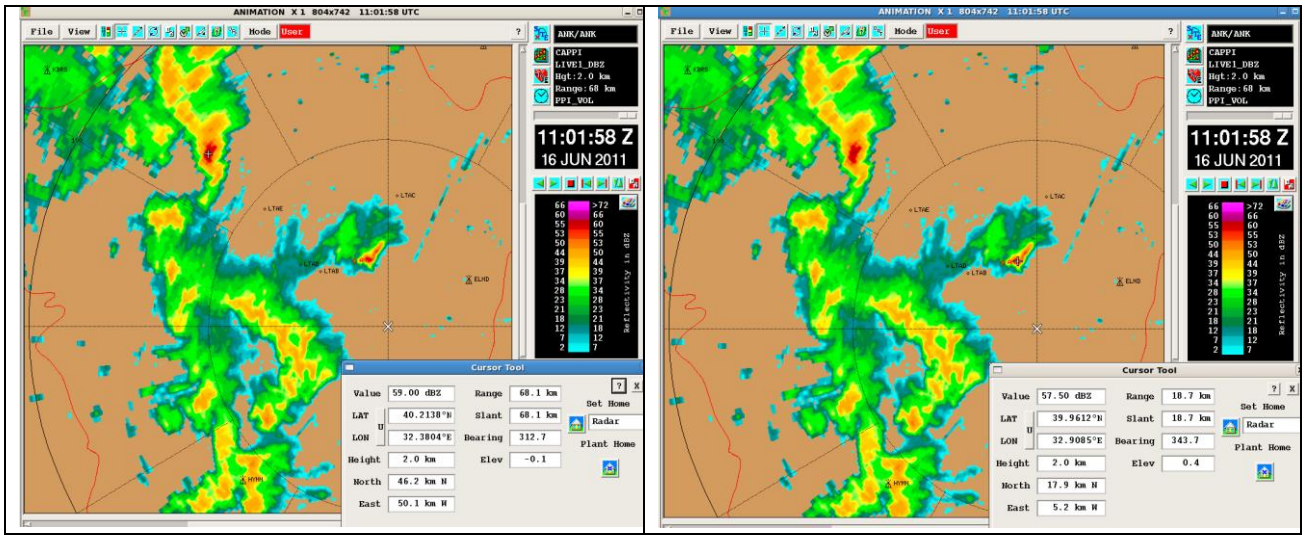
Şekil 13: Süper hücreli orajın kesit diyagramı (Kninht ve Ark.,1982)

Radar Reflektivite (eko şiddeti), bir radar ışınının yolu boyunca bulut partikülleri ve hidrometeorlardan yansıyan gücün ölçümüdür. Daha kuvvetli hidrometeorlar daha fazla enerji geri yansıttıklarından daha yüksek reflektivite değerlerine sahiptir. Bu reflektivite değerleri birimi desibel'dir (dBZ). Genel olarak 10-30 desibelden (dBZ) düşük reflektivite değerleri hafif şiddette yağışı (mm/saat), 35-50 dBZ arası orta şiddette yağışı, 50 dBZ'nin üzeri şiddetli yağışı ve 55 dBZ'nin üzerindeki reflektivite değerleri ise genelde doludur. Büyük çaplı dolu 60-75 dBZ reflektivite değerine sahiptir.
Şekil 14'de Ankara'nın Çankaya, Balgat ve Gölbaşı ilçelerinde gerçekleşen sağanak ve gökgürültülü sağanak yağış ve dolu yağışına sebep olan havanın genel durumu hakkında CAPPI (çoklu yükseklik açılarından elde edilen PPI taramalarını içeren hacim taraması) görüntüsü yerden 2 km yükseklikteki atmosfer içindeki hacim taramasına sahiptir.



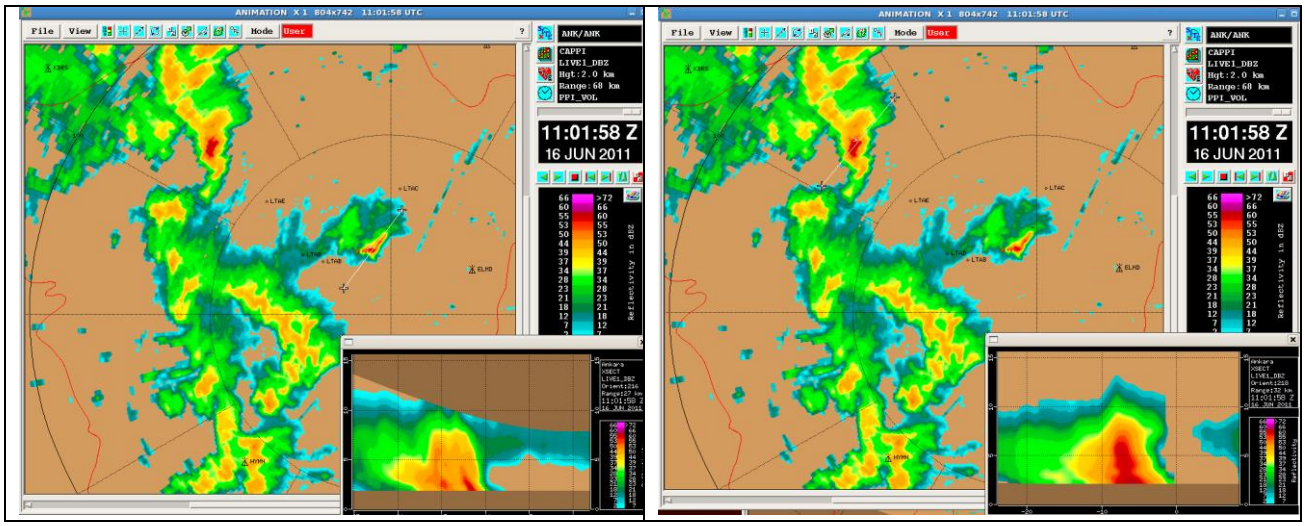
Şekil 14: (a) CAPPI-200km Görüntüsü (b) CAPPI-107km Görüntüsü

Elmadağ radarından 68.1 km ötede 2 km yukarıda 59 dBZ lik reflektivite değeri bize bu bölgede kuvvetli sağanak yağışla beraber dolu yağışının olduğunu göstermektedir. Çankaya ve Balgat civarında dolu yağışına sebep olan eko değeri ise radardan 18.7 km ötede 2 km yukarıda 57.5 dBZ lik reflektiviteye sahiptir (Şekil 15).

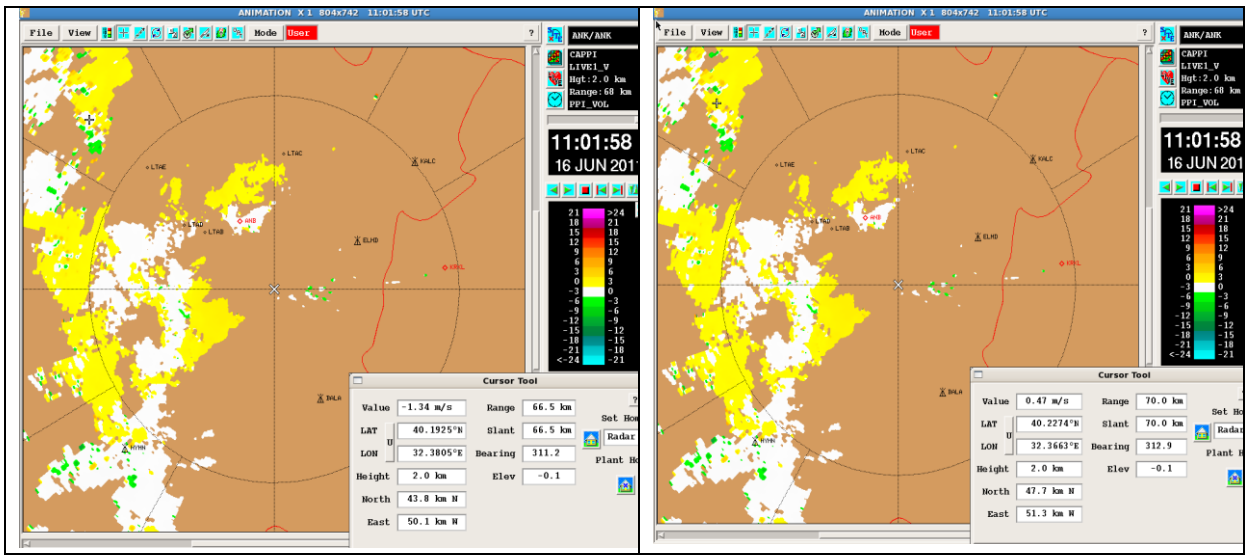


Şekil 15: (a) CAPPI-68km Görüntüsü (b) Oraj bulutu 57.5 dBZ reflektiviteye sahip

Çankaya ve Balgat civarında dolu yağışına sebep olan oraj bulutunun kuzeydoğu ve güneybatı doğrultusunda alınan dikey kesit görüntüsü tabanın 2 km den başlayıp tavanının 12 km ye kadar uzandığı ayrıca kuvvetli radar ekosu 2-7 km arasında görülmektedir (Şekil 16).

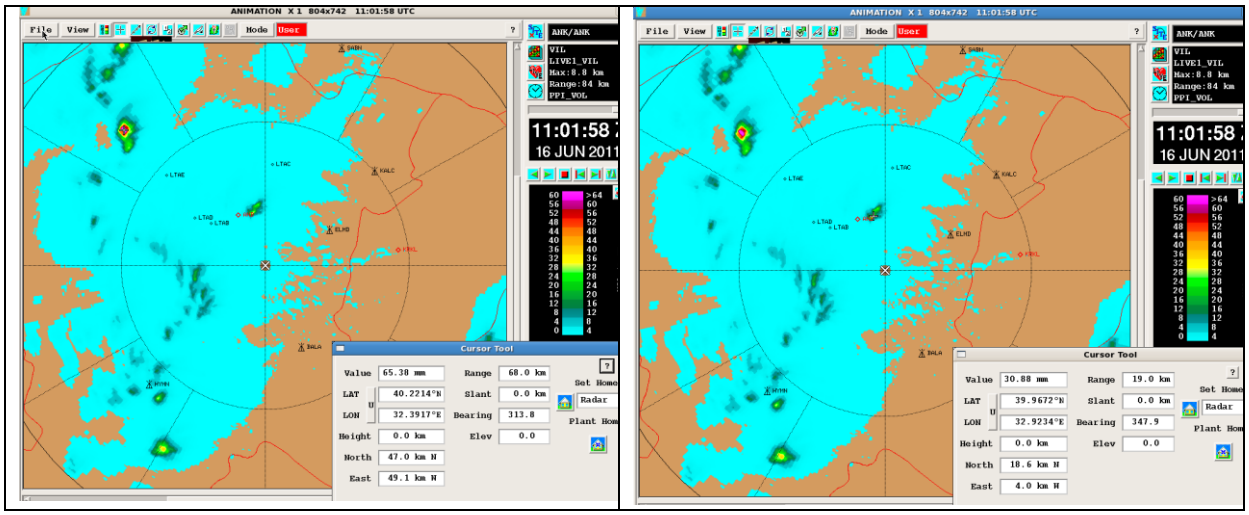


Şekil 16: Oraj bulutunun dikey kesiti

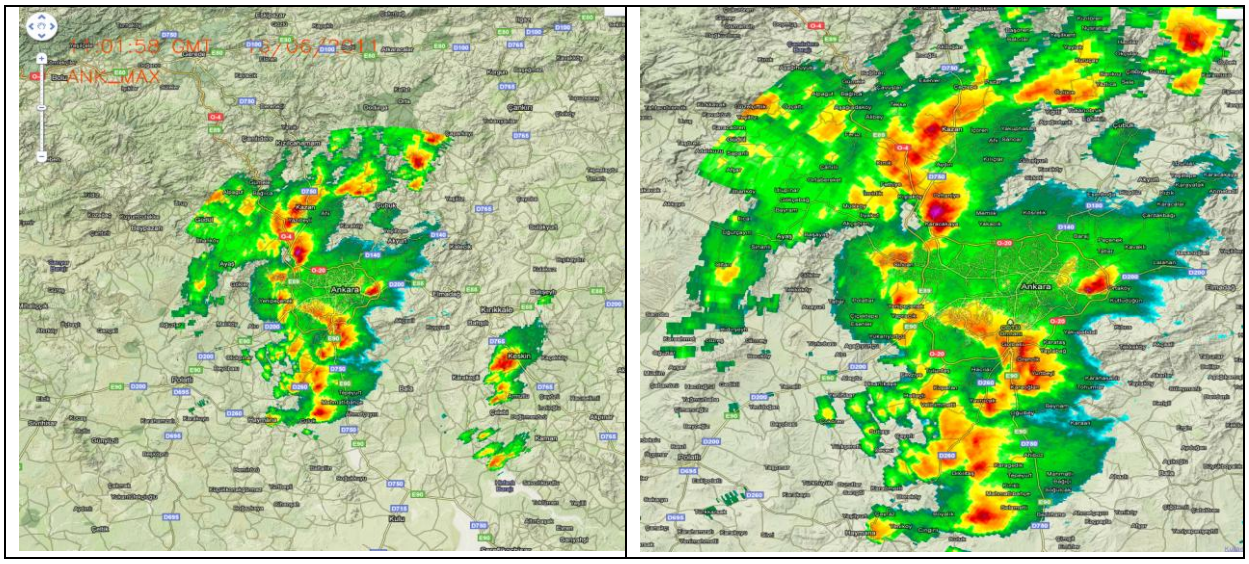


Şekil 17: Oraj hücresinin Negatif /Pozitif Hız görüntüsü

Şekil 18'de Oraj bulutunun yağış potansiyelini veren VIL (Vertically Integrated Liquid) değeri yerden 8.8 km ye kadar ki tabaka aralığında noktasal olarak 65.38 mm ve 30.88 mm yağış tahminini vermektedir.

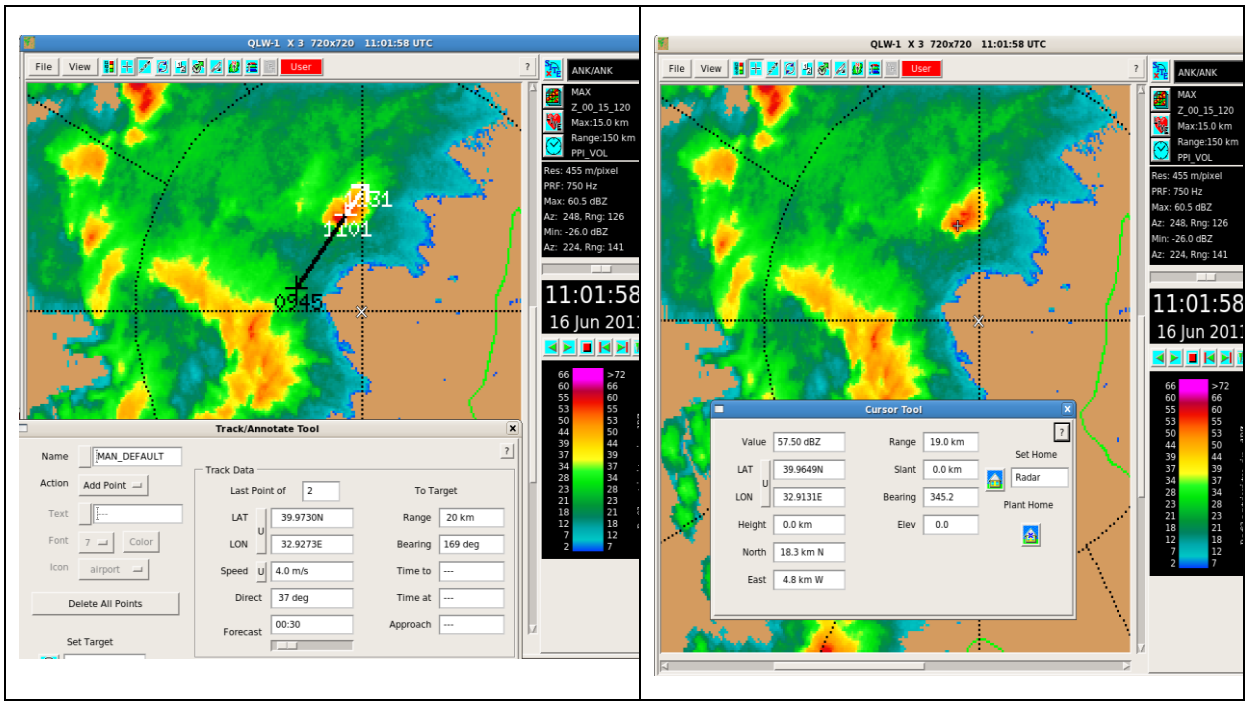


Şekil 18: Oraj hücresinin VIL Görüntüsü



Şekil 19: (a) Google Earth üzerinde MAX görüntüsü (b) Yakın Plan MAX görüntüsü

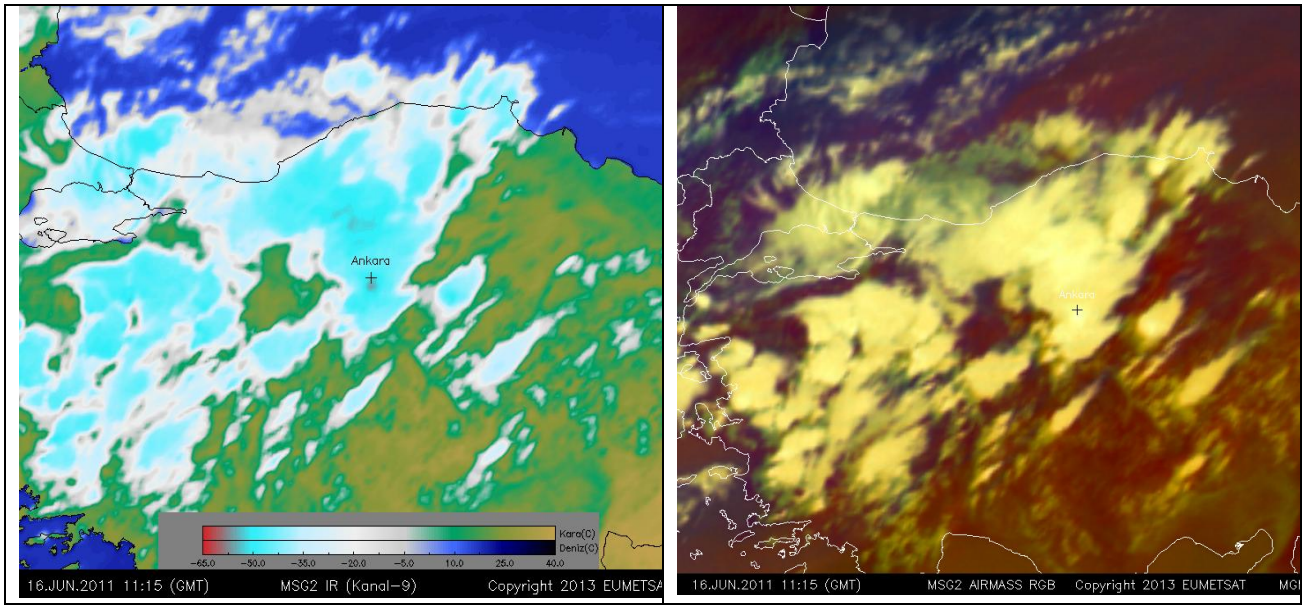
Oraj bulutunun 09:45 ve 11.01 GMT anındaki konumundan faydalanılarak hareket yörüngesi işaretlenmiş ve 30 dakika sonra 4m/sn hızla güneybatıdan kuzeydoğuya doğru hareket ederek (11:31 GMT'de) geleceği tahmini yerde 57.50 dBZ'lik bir reflektivite değerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 20).

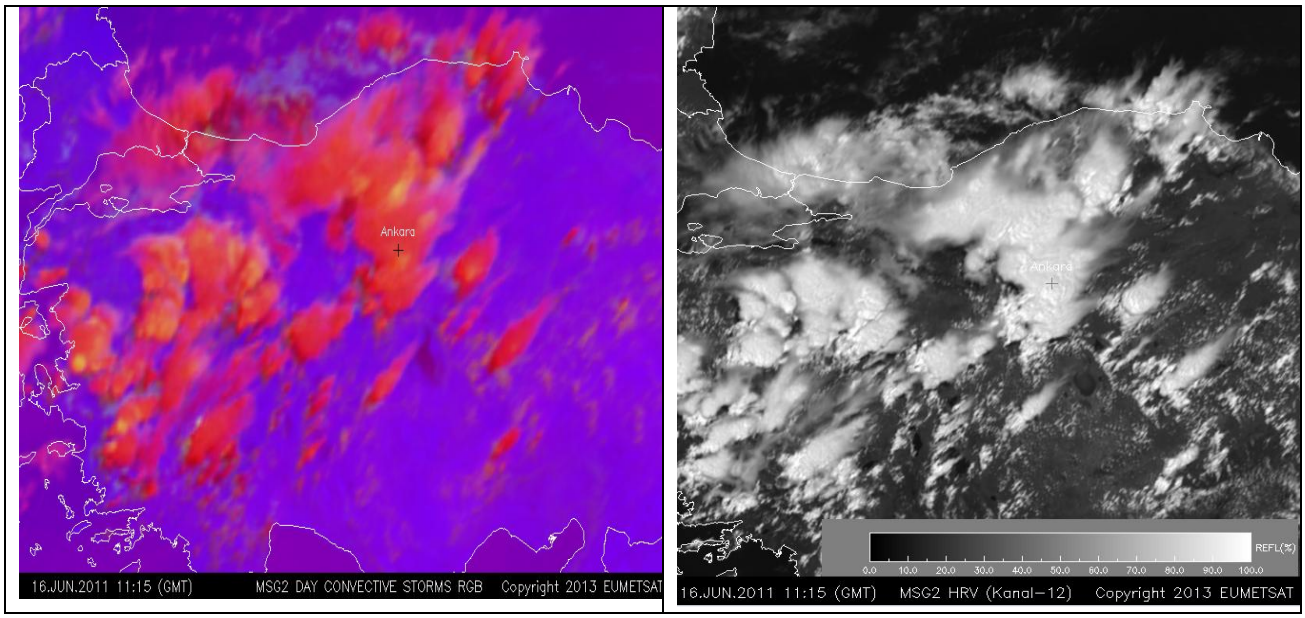


Şekil 20: Oraj bulutunun hareketi ve takibi

2.5. Uydu Görüntüsü

Olay yerine ait farklı MSG2 ye ait RGB ürünleri incelendiğinde troposferin orta ve üst seviyeleri hakkındaki bilgiler , konvektif aktivitenin yoğun bir şekilde gerçekleştiği ve bulut tepe sıcaklığının -50 ^{0}C ila -55 ^{0}C aralığında olduğu görülmektedir (Şekil 21).





Şekil 21:MSG2 IR (Kanal 9)-AIRMASS RGB- CONVECTİVE STORMS -HRV(Kanal 12) görüntüsü

2.6.Günlük Hava Tahmin Raporu

Olay günü MGM Hava Tahmin Merkezinin vermiş olduğu rapor aşağıdaki gibidir.

Yapılan son değerlendirmelere göre; Ülkemizin kuzey, iç ve batı kesimlerinde aralıklarla sağanak ve gökgürültülü sağanak şeklinde görülecek yağışların; sabah saatlerinde Kütahya, Balıkesir, Bursa ve Bilecik, **öğleden sonra Ankara**, Eskişehir, Çankırı, Bolu, Karabük, Kastamonu, Kütahya ve Bilecik **çevrelerinde lokal olarak kuvvetli** olması bekleniyor (Şekil 22).



Şekil 22: Sabah Hava Tahmin Raporu

2.7. Hazırlanan İhbarlar ve Fevk Raporu

Olay öncesi MGM tarafından yayınlanan uyarılar (Şekil 23).



T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

METEOROLOJİ

Tarih : 16.06.2011	Saat : 12:00	Uyarı No : 0232	Uyarı Kodu: Normal

Uyarı Yapan Merkez	Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Genel Başlık	KUVVETLİ YAĞIŞLARA DİKKAT
Beklenen Hadise	Gökgürültülü Sağanak Yağış
Hadisenin Şiddeti	Kuvvetli Yağış
Beklendiği Yer	Bu gün ülkemizde görülecek yağışların, Marmara'nın güney ve doğusu (Bursa, Balıkesir, Kocaeli, Sakarya ve Bilecik), İç Anadolu'nun kuzeybatısı (Ankara, Eskişehir, Çankırı), Batı Karadeniz'in iç kesimleri(Bolu, Düzce, Karabük, Kastamonu) ile Kütahya çevreleride lokal olarak kuvvetli olması bekleniyor.
Geçerlilik Periyodu	16/06/2011 12:00-20:00 TSİ
Oluşması Muhtemel Riskler	Ani Sel - Su Baskını - Heyelan-Dolu-Yağış anında kuvvetli rüzgar-Trafikte aksama



T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

METEOROLOJİ

Tarih : 16.06.2011	Saat : 13:00	Uyarı No : 0233	Uyarı Kodu: Kısa Süreli Acil

Uyarı Yapan Merkez	Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Genel Başlık	Ankara'da kuvvetli yağış ve dolu!!!
Beklenen Hadise	Gökgürültülü Sağanak Yağış
Hadisenin Şiddeti	Kuvvetli Yağış
Beklendiği Yer	Ankara'nın Çankaya ilçesi başta olmak üzere il geneli ve ilçelerinde kuvvetli gökgürültülü sağanak yağışla birlikte lokal olarak iri taneli dolu ve yağış anında çok kuvvetli rüzgar bekleniyor...
Geçerlilik Periyodu	16/06/2011 13:00-20:00
Oluşması Muhtemel Riskler	Ani Sel - Su Baskını - İri taneli dolu-Yağış anında kuvvetli rüzgar- Trafikte aksama



T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

METEOROLOJİ

Tarih : 16.06.2011	Saat : 14:15	Uyarı No : 0234	Uyarı Kodu: Normal

Uyarı Yapan Merkez	Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Genel Başlık	Ankara'nın Çankaya ve Gölbaşı ilçelerinde çok kuvvetli yağış!!
Beklenen Hadise	Gökgürültülü Sağanak Yağış
Hadisenin Şiddeti	Çok Kuvvetli Yağış
Beklendiği Yer	Ankara radarından alınan verilere göre il genelinde görülen kuvvetli yağışların, Çankaya ve Gölbaşı ilçelerinde etkisini dahada arttırması beklendiğinden ilgililerin ve vatandaşlarımızın çok dikkatli ve tedbirli olması gerekmektdir.
Geçerlilik Periyodu	16/06/2011 14:15- 19:00 TSİ
Oluşması Muhtemel Riskler	Sel - Su Baskını - Yıldırım -Dolu- Trafikte aksama

Şekil 23: Meteorolojik Uyarılar

Fevk Raporu (ANKA - 17130)

Başlama Tarihi : 16 Haziran 2011 Perşembe 13:50

Bitiş Tarihi : 16 Haziran 2011 Perşembe 14:50

Olayın tanımı : 44-Şiddetli yağış nedeniyle yerleşim alanlarında sel

Zarar Tanımı : 44-İnsan - hayvan - ulaşım ve yerleşim yerleri zarar gördü

Olay sonunda Ankara 9.Bölge Müdürlüğümüze 9.6mm, Esenboğa 5.8mm, Akıncı 3 mm Etimesgut 5.6mm ve Güvercinlik Havalimanı Müdürlüklerimize 12mm yağış düşmüştür.

10:15-14:35 arasında Bölge Müdürlüğümüz 95 hadisesi dolusuz hafif ve orta kuvvette oraj rasat edilmiştir.

2.8 Basında Çıkan Haberler ve Hasar Fotoğrafları

Yazılı basına yansıyan haberler ve olay yeri fotoğrafları (Şekil 24).

Ankara böyle dolu görmedi

Ankara'da aniden bastıran yağmur ve dolu, hayatı felç etti. Kentte altgeçitler suyla doldu; Ankara-Konya yolu ise dolu nedeniyle ulaşıma kapandı. Karayolunda dolunun kalınlığı 10 santimetreye ulaştı.

Cumhuriyet Haber Portalı/ Ajanslar



Ankara- Ankara'da öğlen saatlerinde başlayan yağmur ve dolu yağışı şiddetini artırarak devam etti. Yağış nedeniyle, kentteki pek çok alt geçit ve yol sular altında kaldı. Özellikle Çetin Emeç Bulvarı üzerindeki altgeçiti su basması nedeniyle 3 araç mahsur kaldı. Araçtaki yurttaşların kendi imkanlarıyla araçlarından çıktıkları öğrenildi.

Öte yandan, Konya-Ankara karayolunun Kepekli mevkisinde etkili olan dolu yağışı nedeniyle ulaşıma kapanan karayolunda çok sayıda araç yolda mahsur kaldı. Karayolunda yaklaşık bir saattir ulaşım sağlanamazken, kilometrelerce uzunlukta araç kuyruğu oluştu. Dolu kalınlığının karayolunda yaklaşık 10 santimetreye ulaştığı görüldü.

Bu arada, Ankara Büyükşehir Belediyesi yetkilileri, dolu yağışının bütün ızgaraları kapattığına işaret ederek bu nedenle yollarda su birikintilerinin oluştuğunu belirtti. Yağış nedeniyle özellikle Çetin Emeç Bulvarı, Konya-Ankara karayolu, Çankaya bölgelerinde sıkıntı yaşandığını ifade eden yetkililer, Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı ve ASKİ ekiplerinin çalışmalarını sürdürdüğünü kaydetti.

Çankaya ve Gölbaşı için uyarı

Ankara il genelinde görülen kuvvetli yağışların, Çankaya ve Gölbaşı ilçelerinde etkisini daha da arttırması bekleniyor.

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden yapılan **"meteorolojik uyarı"**da, Ankara radarından alınan verilere göre, il genelinde görülen kuvvetli yağışların, Çankaya ve Gölbaşı ilçelerinde etkisini saat 19'a kadar artırmasının beklendiği belirtildi.

İlgililerin ve yurttaşların sel, su baskını, yıldırım, dolu ve trafikte aksama gibi oluşması muhtemel risklere karşı çok dikkatli ve tedbirli olması istendi.

16 Haziran 2011

Dolu vurdu, altgeçitler doldu

A.A

16 Haziran 2011



Ankara'da aniden bastıran yağmur ve dolu hayatı felç etti.

Öğlen saatlerinde başlayan yağmur ve dolu yağışı şiddetini artırarak devam etti. Yağış nedeniyle, kentteki pek çok alt geçit ve yol sular altında kaldı. Özellikle Çetin Emeç Bulvarı üzerindeki altgeçiti su basması nedeniyle 3 araç mahsur kaldı. Araçtaki vatandaşların kendi imkanlarıyla araçlarından çıktıkları öğrenildi.
Öte yandan, Konya-Ankara karayolunun Kepekli mevkisinde etkili olan dolu yağışı nedeniyle ulaşıma kapanan karayolunda çok sayıda araç yolda mahsur kaldı. Karayolunda yaklaşık bir saattir ulaşım sağlanamazken, kilometrelerce uzunlukta araç kuyruğu oluştu. Dolu kalınlığının karayolunda yaklaşık 10 santimetreye ulaştığı görüldü.

Bu arada, Ankara Büyükşehir Belediyesi yetkilileri, dolu yağışının bütün ızgaraları kapattığına işaret ederek bu nedenle yollarda su birikintilerinin oluştuğunu belirtti. Yağış nedeniyle özellikle Çetin Emeç Bulvarı, Konya-Ankara karayolu, Çankaya bölgelerinde sıkıntı yaşandığını ifade eden yetkililer, Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı ve ASKİ ekiplerinin çalışmalarını sürdürdüğünü kaydetti.

Yağışın bir süre daha etkisini sürdürmesi bekleniyor.







Şekil 24: Basında çıkan haber ve fotoğraflar

3. SONUÇLAR

Dolu Kümülonimbüs (Cb) ve Towering Cumulus (TCu) tipi bulutlar içinde oluşan katı buz parçacıklarıdır. Atmosferde kararsızlık ve nemliliğe göre yukarı yönlü rüzgarların etkisiyle su damlacıkları, donma seviyesinin üzerine çıktığında, donar ve buz taneciği haline gelir. Orajların en etkin izlenme yolu meteorolojik radar görüntülerinin kullanılmasıdır. Çok hızlı ve ani bir şekilde sel ve taşkınlara sebep olan orajların takibi ve gerektiğinde erken uyarı verilebilmesi açısından radar görüntülerinin en iyi şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Radarlar, kapsama sahası içindeki bölgenin atmosferi hakkında sürekli takip edilerek, anlık 24 saat eko oluşumları, değişimleri, hareketleri hakkında kısa vadeli hava tahmini ve erken uyarı yapmaya olanak sağlamaktadır. Elbette bunun öncesinde Uydu görüntüleri, SHT model ürünleri, kararsızlık indeksleri, güncel haritalar incelenmelidir. Radar ekoları, hidrometeorların reflektivitesinin ölçüsü olduğundan daha büyük ve daha yoğun hidrometeorlar daha güçlü yansıma değerleri verir. Çok lokal alandaki orajları yakınlaştırarak gözlemlemek ve dikey kesitlerini alınarak, lokal sağanak yağışları ve dolu yağışına sebep olacağını görebiliriz. 55 dBZ'nin üzerindeki reflektivite değerleri genellikle doludur. Radarın kapsadığı bölgedeki atmosferde; şiddetli fırtına, yağış ve dolu uyarıları yayınlanacaksa o bölgenin mutlaka radar ile izlenmesi gerekir.

KAYNAKLAR

[1] **IRIS Product & Display Manual,** Version 8.12.0, (2-1, 5-1), Vaisala Oyj, Vantaa, 2008.

[2] **Gmachl L., Morris D.,** *Radar Interpretation,* Oklahoma Mesonet, (1-2), Norman, 2004.

[3] **Çöleri M., Yayvan M., Deniz A., Turgut Ü., Eryılmaz A., Geçer C., Güser A.,** *Hava Analiz ve Tahmin Tekniği*, DMİ Yayınları, Yayın No:2006-1, (113-127, 178-208, 209-230), Ankara, 2007.

[4] Taylor, Neil M., 1999: **Climatology of Sounding Parameters Identifying the Potential for Convectivestorm Development Over Central Alberta.**

[5] **Rinehart R. E.,** *Radar for Meteorologists*, Rinehart Publications, (81-96, 137-154), Grand Forks, 1997.

[6] Yağan, S., Yağan, Y., 2006: **Dolu Tahmini, Analizi Dolu Durumu Yüksek Atmosfer Klimatolojisi,** DMİ, Teknik Rapor

5 MART 2013 TARİHİNDE KAR YAĞIŞI ANINDA OLUŞAN GÖK GÜRÜLTÜSÜNÜN UYDU VE RADAR ÜRÜNLERİ İLE METEOROLOJİK ANALİZİ

Metehan BÜYÜKKAYA
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Trabzon Havalimanı Meteoroloji Müdürlüğü
Trabzon
mbuyukkaya@mgm.gov.tr
Öznur ÇANLI
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
11. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü
Trabzon
ocanli@mgm.gov.tr

Destan KURNAZ
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
11. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü
Trabzon
dkurnaz@mgm.gov.tr

ÖZET

Kar genellikle yıldız biçimindeki buz kristalleri yağışıdır.Bu kristallerin bir araya toplanmasıyla kuşbaşı şeklinde meydana gelen yağışa,kar adı verilir.Gökgürültüsü,şimşeğin sebep olduğu iyanizasyon ve ışınmanın bir sonucu olarak,şimşek kanalı içinde kalan havanın ani genleşmesi ve etrafına basınç yapmasından dolayı meydana gelir. Sinoptik haritalar,Skew T-log diyagramı,uydu ve radar ürünleri ile oluşan sistemin analizi yapılmıştır.O günkü hadise kayıtlarına bakılmış,deniz suyu sıcaklığı,hava sıcaklığı,rüzgar ve basınç değerleri alınmıştır.Kar yağışı anında absorbe durumunun yoğun olduğu ve reflektivitenin düşük olduğu görülmüştür.5 Mart 2013 tarihinde kar yağışıyla birlikte meydana gelen gök gürültüsünün deniz etkisi ile meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kar, Gökgürültüsü, Uydu ve Radar ürünleri

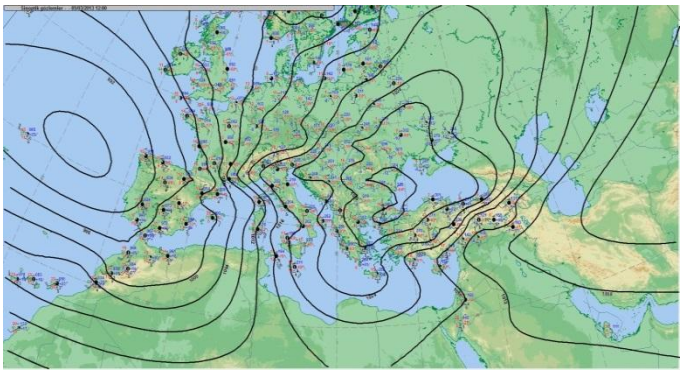
1. GİRİŞ

Kar genellikle yıldız biçimindeki buz kristalleri yağışıdır.Bu kristallerin bir araya toplanmasıyla kuşbaşı şeklinde meydana gelen yağışa kar adı verilir.Gökgürültüsü,şimşeğin sebep olduğu iyanizasyon ve ışınmanın bir sonucu olarak,şimşek kanalı içinde kalan havanın ani genleşmesi ve etrafına basınç yapmasından dolayı meydana gelir.

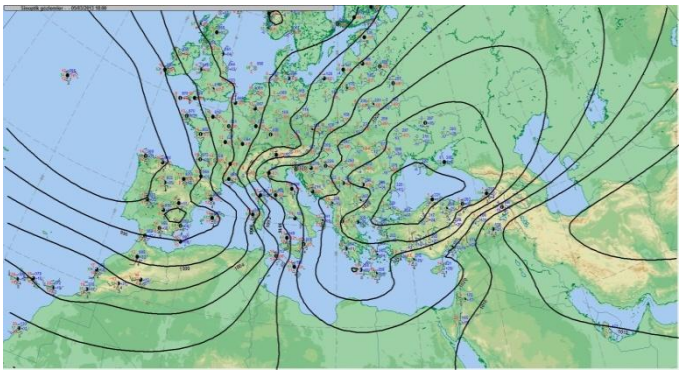
Deniz etkisi yağışlar ülkemizde en çok Marmara ve Karadeniz kıyılarında görülür. Siklon geçişleri sonrasında kutupsal soğuk hava kütlesinin sıcak denizler üzerinden geçerken ısınması ve deniz üzerindeki buharlaşma sonucu nem kazanmasıyla oluşan bir tür kararsızlık yağışlarıdır.

2. AKTÜEL KARTLAR VE TEMP ANALİZİ

Yer kartında görüldüğü gibi alçak basınç merkezi bölgemizi terk etmiş olup yerini yavaş yavaş yüksek basınç merkezine bırakmıştır ve rüzgarların kuzey ve kuzey batılı yönlerden estiği görülmektedir.1800Z'te 1032hpa'lık yüksek basınç bölge üzerine yerleşmiştir (Şekil-1,Şekil-1.1).



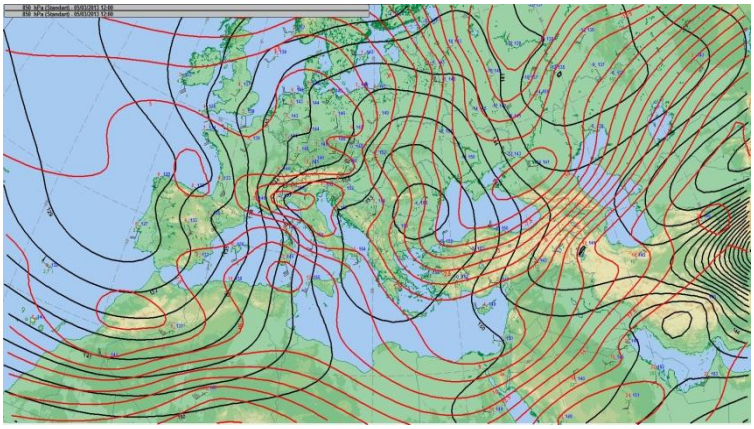
Şekil-1:5 Mart 2013 12Z yer kartı



Şekil-1.1:5 Mart 2013 18Z yer kartı

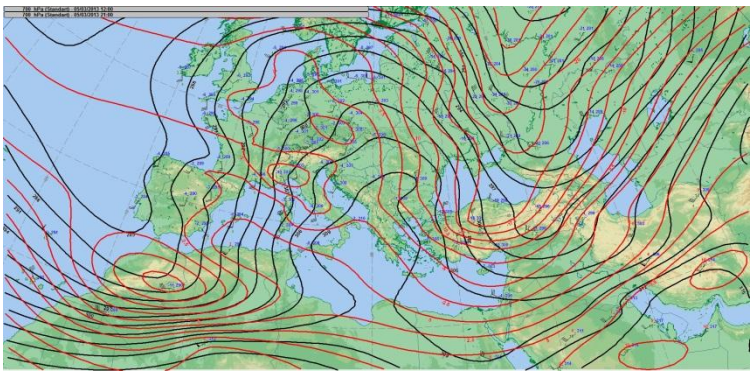
Deniz etkisiyle oluşan kar yağışlarının oluşumunda kararsızlık, fetch mesafesi ve rüzgar sheari çok önemli rol oynar.Kararsızlık yönünden değerlendirdiğimizde deniz suyu sıcaklığı ile 850 mb sıcaklığı arasında en az 13 derece fark olması gerekir.5 Mart 2013 Trabzon 0600GMT sinoptik rasadında deniz suyu sıcaklığı 9.5 °C, 850mb hava sıcaklığının ise -7.5 °C olduğu görülmektedir. Aradaki fark 17°C'dir (Şekil-2).

SMTT60 LTCG 050600 AAXX 05064 17038 11470 73008 10062 20001 30177 40229 52011 69942 70282 87200 333 20055 32/// 70048 83718 86830 92428 555 000**95** =

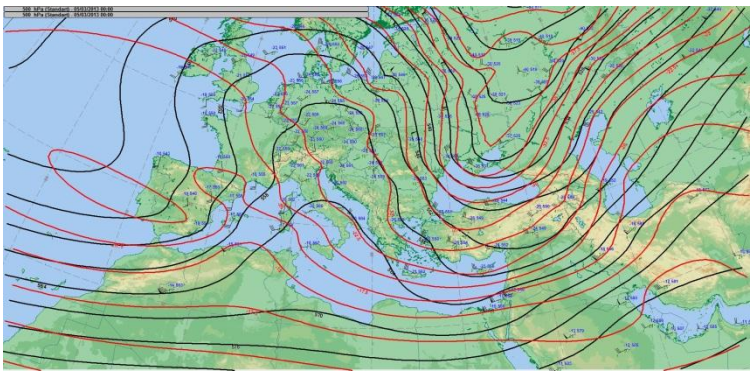


Şekil-2:5 Mart 2013 850mb 12Z haritası

0000Z'de ki 700mb sıcaklığı derinleşerek -17.5°Ccivarına inmiş olup bölgemize yağacak kar yağışını desteklemektedir(Şekil-3).500mb'da normal şartlarda -35 derece ve daha soğuk havalarda kar yağışı beklenilmesine rağmen bu gibi durumlarda -30°C ve daha sıcak havalarda bile bölgemizde kar yağışı olduğu görülmektedir (Şekil-3.1).

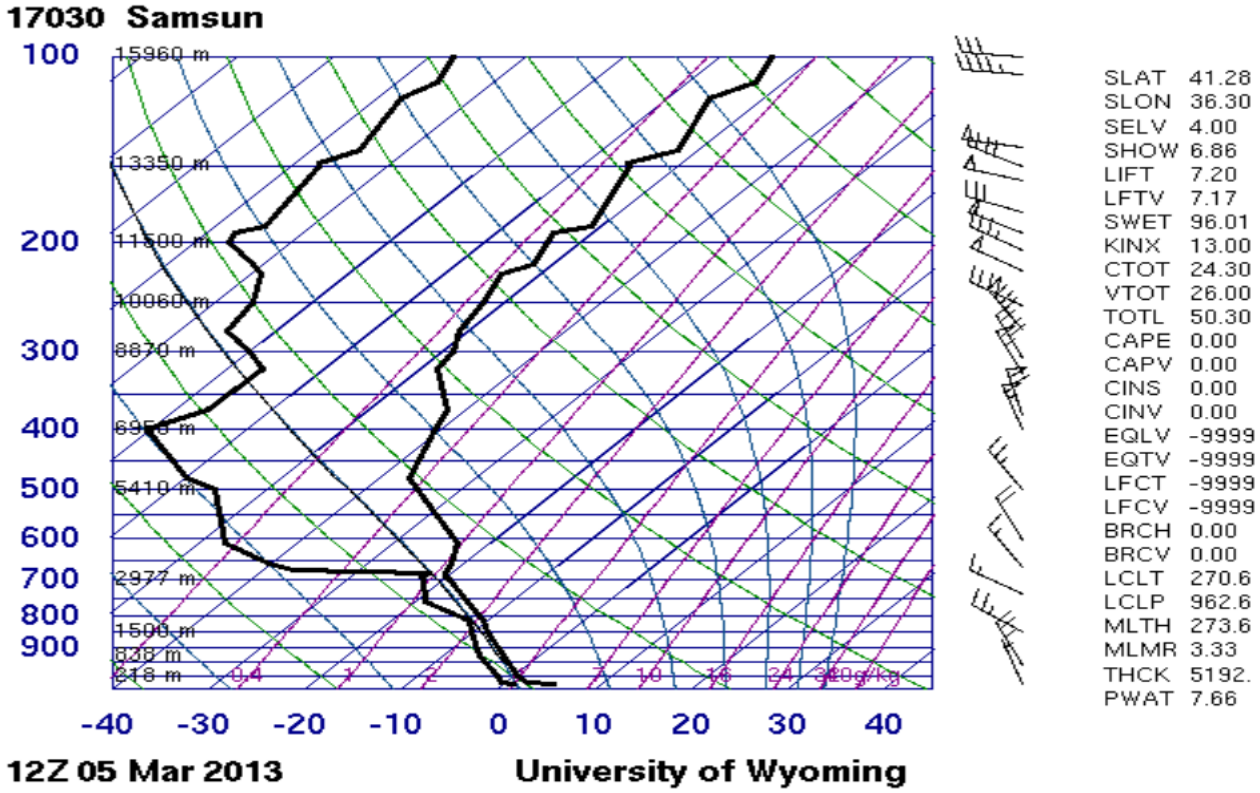


Şekil-3:5 Mart 2013 700mb 12Z haritası



Şekil-3.1:5 Mart 2013 500mb 00Z haritası

Samsun temp diyagramında 700mb'a kadar nemlilik ve 700mb'dan sonra kuru hava ve tepe enverziyonu vardır.Dolayısı ile bulutların bu seviyeye kadar tepe yapacağı düşünülebilir. Bulut tepesinin yaklaşık 3km civarı olduğu rüzgar yön farkının 60 dereceyi geçmediği görülüyor (Şekil-4). Ayrıca ortalama 20kt civarı bir rüzgar var ki bu şartların deniz etkisi yağışları için oldukça uygun olduğu söylenebilir.850mb sıcaklığı -8.5°C,deniz suyu sıcaklığının 9 °C civarında olduğu düşünülürse termal kararsızlığında deniz etkisi yağışlar için uygun olduğu görülmektedir (Şekil-4.1).



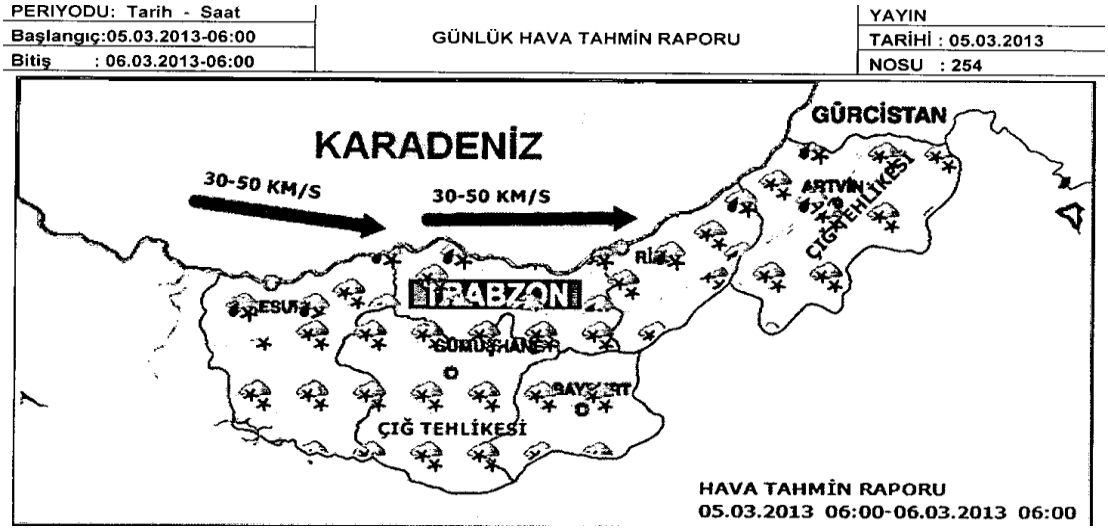
Şekil-4: 5Mart 12Z Skew-T diyagramı

17030 Samsun Observations at 12Z 05 Mar 2013

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1027.0	4	5.0	0.7	74	3.94	340	4	276.0	287.0	276.7
1026.0	12	2.2	-0.5	82	3.61	325	6	273.3	283.3	273.9
1024.0	28	2.0	-0.6	83	3.59	295	11	273.3	283.2	273.9
1015.0	98	1.4	-1.0	84	3.52	305	22	273.3	283.1	273.9
1000.0	218	0.2	-1.7	87	3.39	320	24	273.4	282.7	273.9
997.0	242	0.0	-1.9	87	3.36	320	24	273.4	282.7	274.0
958.0	559	-2.1	-4.3	85	2.92	335	25	274.4	282.6	274.9
925.0	838	-3.9	-6.4	83	2.57	320	24	275.3	282.6	275.7
912.0	949	-4.7	-7.0	84	2.48	315	24	275.6	282.7	276.1
850.0	1500	-8.5	-10.2	88	2.08	305	23	277.2	283.2	277.6
816.0	1816	-10.5	-11.8	90	1.91	304	21	278.4	283.9	278.7
757.0	2389	-14.7	-19.0	70	1.13	301	18	279.9	283.3	280.0
736.0	2600	-16.4	-20.1	73	1.06	300	17	280.3	283.5	280.5
700.0	2977	-19.3	-22.1	78	0.94	310	20	281.1	284.0	281.2
691.0	3073	-20.3	-22.8	80	0.89	314	18	281.0	283.8	281.2
684.0	3148	-20.5	-22.3	85	0.94	317	17	281.6	284.5	281.8
673.0	3268	-20.9	-36.9	22	0.24	323	14	282.5	283.3	282.5
668.0	3323	-21.0	-38.0	20	0.22	325	13	282.9	283.7	283.0
658.0	3434	-21.3	-40.3	16	0.17	326	14	283.8	284.4	283.9
609.0	4002	-23.5	-47.5	9	0.09	334	18	287.6	288.0	287.7
603.0	4072	-24.1	-47.9	9	0.08	335	19	287.8	288.1	287.8
500.0	5410	-34.5	-55.5	10	0.04	325	24	290.9	291.1	290.9

Şekil-4.1:Skew T rüzgar yönleri,yer ve 850mb sıcaklığı

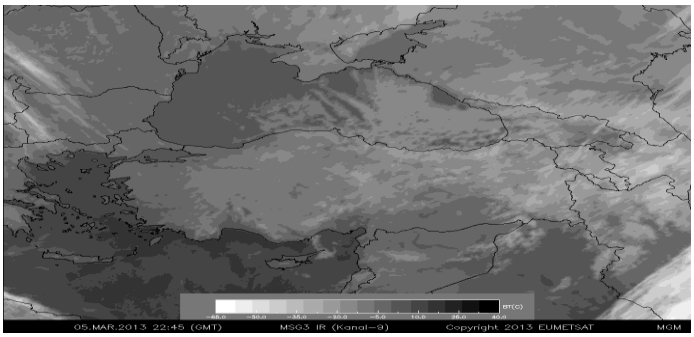
6 Mart 2013 tarihinde sabah hazırlanan hava tahmin raporunda rüzgarın batı ve kuzey batı yönlerden orta kuvvette eseceği ve sahil kesimlerde karla karışık yağmur ve kar, iç ve yüksek kesimlerde kar yapışının beklendiği görülmektedir (Şekil-5).



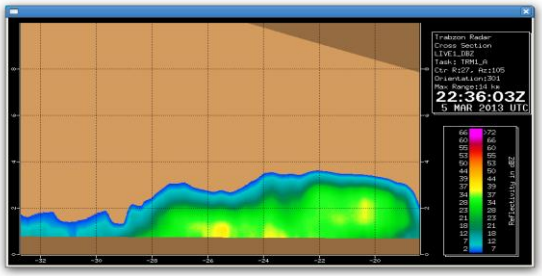
Şekil-5:Trabzon BTUM hava tahmin raporu

3. UYDU VE RADAR ANALİZİ

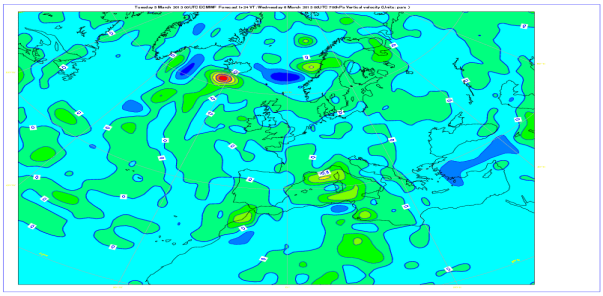
Uydu görüntülerinde Karadeniz üzerinden gelen sığ bulutluluklar göze çarpmaktadır. Bulut tepe sıcaklıkları -20 - -30 °C civarında görülmektedir. Bu sıcaklığa göre bulut tavanının 3000-4000 metre civarında olduğu anlaşılmaktadır (Şekil-5). Radar,kar yağışının en fazla 30dbz'e kadar yansıma verir.Radar görüntüsünde değerlerine göre hem yüksek dbz hem de bulut tavanı daha yüksektir. Eğer dbz değerleri artıyorsa kaç yağışı içerisinde graupel diye adlandırılan küçük ve yumuşak dolu formunda yapılar oluştuğu anlaşılabilir.Graupel ile buz parçacıkları arasındaki elektrik akımıyla gök gürültüsü meydana gelir. 5 Mart 2013 tarihine ait radar görüntüsünde 30 dbz üzeri ekolar ve bulut tavanının 3,8 km civarında olması graupel oluşumu için güçlü işaretler vermektedir (Şekil-6). 700mb düşey hız haritaları Doğu Karadeniz'de düşey hızları Orta Karadeniz'e göre daha yüksek göstermektedir (Şekil-7). Dolayısı ile bu bölgede oluşan deniz etkisi yağışları daha gelişmiş ve daha yüksek tepeye sahip bulutlardan meydana gelmiştir. Yükselen bulutlar içerisinde oluşan graupel gök gürültülü kar yağışının oluşmasına neden olmuştur. Kar yağışı anında oluşan gök gürültüsü Trabzon Havalimanı 22:40 Speci rasadında –TSSN olarak kodlanmış ve hadise kayıtlarındaki yerini almıştır (Tablo-1).



Şekil-5: 5Mart 2013 22:45 GMT MSG3 EUMETSAT uydu görüntüsü



Şekil-6: 5 Mart 22:36 GMT Trabzon radarından alınan kesit



Şekil-7: 5Mart 2013 00Z 700mb düşey hız haritası

S 2240 LTCG 052240Z 23011KT 200V260 9999 **-TSSN** SCT012 FEW020CB BKN028 02/M01 Q1031 RESHSN BECMG TL2320 NSW RMK RWY29 23011KT =

Tablo-1:Trabzon Havalimanı Meydan Meteoroloji Müdürlüğü 22:40Z speci rasadı ve 5 Mart 2013 hadise kayıtları.

Maksimum Rüzgar		
Saat	Yön	Hız
706	290	36
Hadise Kayıtları		
Hadise	Başla	Bitiş
86	2050	2105
85	2105	2220
85	2220	2240
95	**2240**	**2250**
17	2250	2309
15	2250	2309
85	2309	2359

4. SONUÇLAR

Gök gürültülü kar yağışı ender görülen bir meteorolojik hadisedir. Bu hadise 5 Mart 2013 tarihinde Trabzon'da yaşandığı gibi uygun şartlar oluştuğunda gözlemlenmektedir. Tahminciler özellikle deniz kıyısında çalışanlar deniz etkisi kar yağışı için gerekli şartlarla birlikte dinamik yükselme koşullarını takip etmeli ve özellikle dikey hızların yüksek olduğu durumlarda gökgürültülü kar yağışını tahminlerine yansıtmaktan çekinmemelidir.

KAYNAKLAR

[1] Melik Ahmet TAŞTAN ders notları 2013

[2] Dr.Ozan Mert GÖKTÜRK (Göl ve Deniz etkisiyle oluşan kar yağışları 2005)

[3] Wyoming Üniversitesi

[4] Mehmet Can Tanyeri http://skewtmaster.com

[5] Mgm uydu ve radar verileri

[6] TUMAS

"TC-SAS Kazası"nın Uzaktan Algılama Ürünleri Kullanılarak İncelemesi

Dr. Levent YALÇIN
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Tahminler Dairesi Başkanlığı
Ankara
lyalcin@mgm.gov.tr

Hüseyin Yüksel ÖZALP
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Tahminler Dairesi Başkanlığı
Ankara
yozalp@mgm.gov.tr

Melik Ahmet TAŞTAN
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Tahminler Dairesi Başkanlığı
Ankara
matastan@mgm.gov.tr

ÖZET

12 Ağustos 2012 tarihinde Tekirdağ'ın Marmara Ereğlisi ilçesi açıklarında yaşanan uçak kazası, öğretmen pilot 65 yaşındaki Hikmet Aral ve öğrenci pilot 39 yaşındaki Lisa Şener'in hayatlarını kaybetmeleriyle sonuçlanmıştır. Olay gününe ait meteorolojik uydu ve radarlardan alınan görüntülerde bölge üzerinde güçlü konvektif fırtınalar gözlemlenmiştir. Bu gözlem ve tahminler meteorolojistler tarafından da raporlanarak ilgili birimlere iletilmiştir. Tek motorlu 'SR22' tipi 'Cirrus' uçak kazası, uçuş güvenliği açısından meteorolojik şartların pilotlar tarafından dikkate alınması gerektiğini göstermiştir. Herkesin erişimine açık ve anlaşılması kolay olan bu uzaktan algılama ürünlerinin, her uçuş öncesi uçuş personeli ve yer hizmetleri tarafından etkin kullanımı ile bu tarz kazaların önlenebileceği düşünülmektedir. Bu çalışma, konunun muhataplarının dikkatini bu ürünlerin kullanımına çekmek gayesiyle hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Meteorolojik uydu ve radar ürünleri; tahmin ve uyarılar; sivil havacılık; uçuş güvenliği

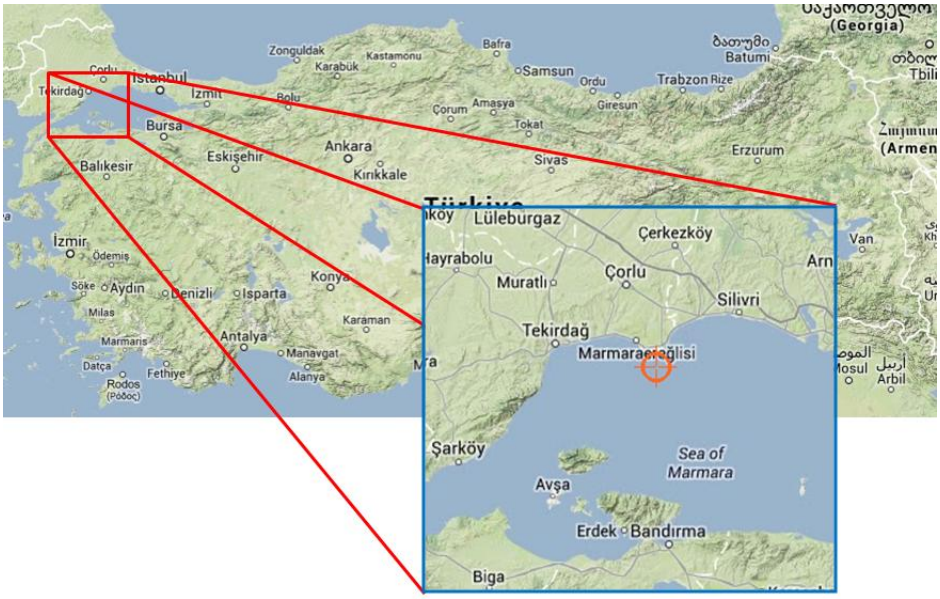
1. GİRİŞ

Meteorolojik, hidrolojik ve iklim kaynaklı afetler her yıl can ve mal kayıplarına yol açmakta ve sosyal gelişmeyi engellemektedir. 1980 ile 2007 yılları arasında, dünya çapında yaklaşık 7500 doğal afet meydana gelirken, 2 milyon can kaybı ve tahmini 1.2 trilyon ABD Dolarından fazla ekonomik kayba neden olmuştur. Bu kayıpların, doğal afetlerin % 90'ı, can kayıplarının % 71'i ve ekonomik kayıpların % 78'i, kuraklık, sel, rüzgar fırtınaları, tropikal siklonlar, şiddetli yağış fırtınaları, ekstrem sıcaklıklar, toprak kaymaları, orman yangınları gibi hava, iklim ve su kaynaklı afetler ile direkt olarak meteorolojik ve hidrolojik şartlara bağlı hastalık ve enfeksiyonlar sebebiyle olmuştur [1].

1980-2011 yılları arasında dünyada meteorolojik karakterli doğal afetlerden, 3455 adet sel/taşkın, 2689 adet kuvvetli yağış fırtınası, 470 adet kuraklık ve 395 adet ekstrem sıcaklık olayı meydana gelmiştir [2].

Son yıllarda kuvvetli meteorolojik hadiselerin tespit ve tahmin edilmesinde teknolojik gelişmelere paralel olarak ilerleme kaydedilmektedir. Meteorolojik yer ve yüksek seviye gözlemleri, sayısal tahmin ürünleri, meteorolojik uydu ve radar ürünlerinin kullanımının yaygınlaşması tahmincilere erken uyarı şansı tanımaktadır. Hem meteorolojik hadiselerden kaynaklı afetler, hem de ulaşım ve tarım gibi sektörlerin maruz kaldığı olayların tahmini ve ilgililere duyurulması imkanı gelişen iletişim araçları sayesinde artmıştır. Havacılık sektörü de meteorolojik faaliyetlerden doğrudan etkilenen bir yapıdadır. Özellikle meteorolojik uzaktan algılama araçlarının kullanımıyla konvektif fırtınaların oluşum, gelişim ve son bulma süreçleri detaylı bir şekilde izlenebilmektedir. Bu tespitin olabildiğince erken yapılması ve ilgililerin konu hakkında bilgilendirilmesi ve uyarılması muhtemel kaza riskini en aza indirebilecektir.

12 Ağustos 2012 tarihinde Öğrenci pilot 39 yaşındaki Lisa Şener ile öğretmen pilot 65 yaşındaki Hikmet Aral yönetimindeki, TC-SAS tescilli SR22 Cirrus tipi pervaneli uçak Ayvalık'a gitmek üzere Hezarfen Havaalanından havalandıktan sonra 11:14 GMT sularında Tekirdağ'ın Marmara Ereğilisi'nin yaklaşık 5 kilometre açıklarında (Şekil 1), düşmüş ve pilotlar hayatlarını kaybetmişlerdir. Bu çalışmanın amacı, kazanın olduğu güne ait meteorolojik koşulların incelenmesi ve konunun muhataplarının dikkatini bu ürünlerin kullanımına çekmektir.



Şekil 1: TC-SAS kazasının meydana geldiği alan.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Günümüzde meteorolojik tahminlerin dayanağı sinoptik haritalar ve dikine profil bilgisi içeren diyagramlar ile sayısal hava tahmin modellerinden elde edilen çıktılardır. Bu tip tahmin yöntemleri ile küresel, ulusal ve bölgesel bazda kısa, orta ve uzun vadeli tahminler yapılabilmektedir. Ancak konvektif fırtınalar gibi yerel hadiseler her ne kadar genel hava kütlesinin karakteriyle açıklanabilseler de, gerçekleşme zamanlarının ve bölgelerinin tam olarak belirlenmesi saat ve koordinat bazında çoğu kez mümkün olamamaktadır. Bu tip meteorolojik hadiselerin mekansal ve zamansal gelişimlerinin takip ve tahmin edilmesinde meteorolojik uydu ve radarlar çok önemli rol oynarlar.

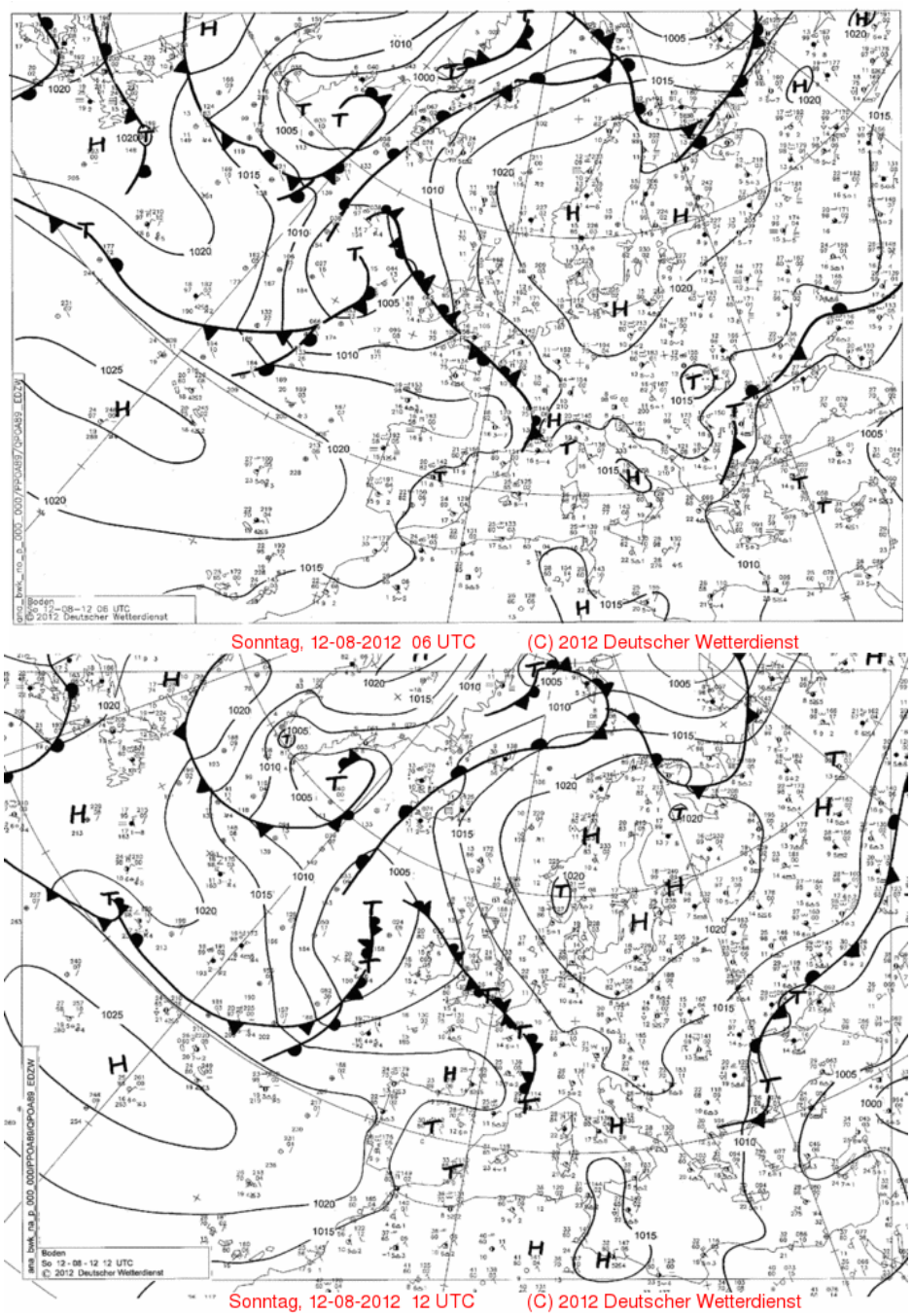
İncelemeler sırasında 12 Ağustos 2012 tarihine ait bazı meteorolojik haritalar, Skew-T diyagramları, şimşek gözlemleri, meteorolojik uydu ve radar ürünleri analiz edilerek değerlendirilmiştir.

A. *2.1. 12 Ağustos 2012 Gününe Ait Sinoptik Değerlendirme*

2.1.1. Yer Kartı

12.08.2012 06 GMT yer haritasında 1010 Mb'lık Basra Alçak Basınç Merkezinin sıcak havasıyla beraber bir boyun şeklinde Güneydoğu Anadolu'dan iç ve batı bölgelere doğru uzandığı dikkati çekmektedir. 12 GMT yer haritasında ise Basra Alçak Basınç Merkezinin etkisini artırdığı, basıncın düştüğü ve 1005 Mb'lık merkezin iç bölgeleri tamamen içine

aldığı, Marmara Denizi üzerinde soğuk cephe aktivasyonunun görüldüğü yüksek yer sıcaklığı değerlerinin etkisini sürdürdüğü görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2: 12.08.2012 yer kartı, 06-12 GMT.

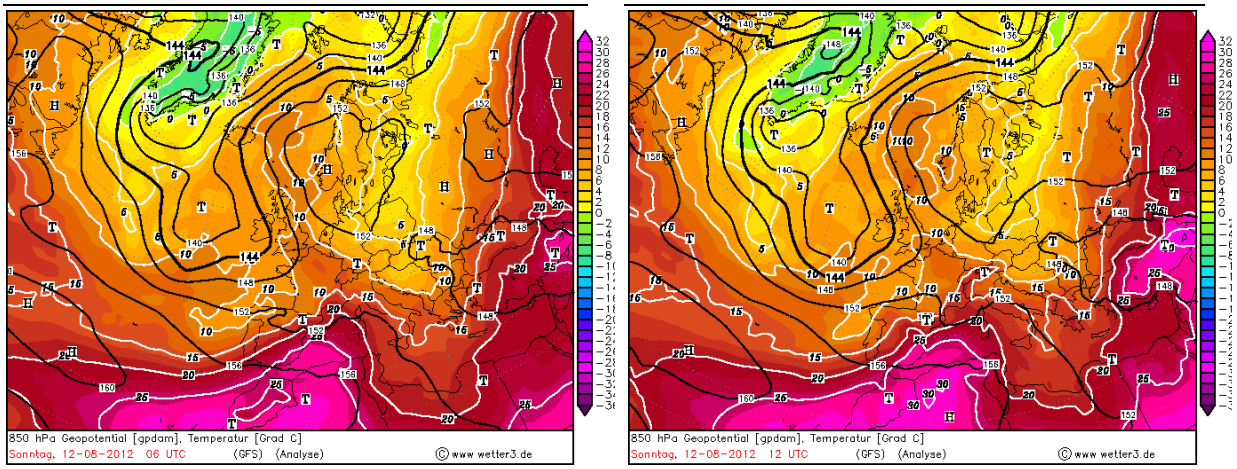
Yine bölgede mevsim normalleri üzerinde seyreden sıcaklıklar kaydedildiği de önemli bir ipucudur (Tablo 1). Tekirdağ iline ait Ağustos ayı en yüksek sıcaklık ortalaması 27.9 °C'dir. Son üç gün boyunca sıcaklıklar normallerin 3-5 °C üzerinde gerçekleşerek, nemlilikle birlikte bölge üzerinde önemli bir enerji birikimi sağlamıştır. Deniz suyu sıcaklığı da Tekirdağ'da 28 °C olarak ölçülmüştür. Bu değer Tekirdağ'ın 24.7 °C olan Ağustos ayı ortalama değerine göre 3.3 °C gibi ciddi sayılabilecek oranda yüksektir. Yüksek deniz suyu sıcaklıkları, diğer şartlar da uygunsa konvektif faaliyetlerin etkisinin daha da artmasına yol açarlar.

Tablo 1: 10-12 Ağustos 2012 Marmara Bölgesinde ölçülen en yüksek sıcaklıklar

İller	En yüksek sıcaklık		
	10.08.2012	11.08.2012	12.08.2012
İstanbul	33	32	28
Edirne	32	33	27
Tekirdağ	**33**	**31**	**30**
Kırklareli	32	30	26
Kocaeli	33	32	32
Sakarya	33	33	33
Çanakkale	34	32	27
Bilecik	32	32	28
Balıkesir	34	33	29
Bursa	34	33	30
Yalova	33	32	28

2.1.2. 850 hPa haritası

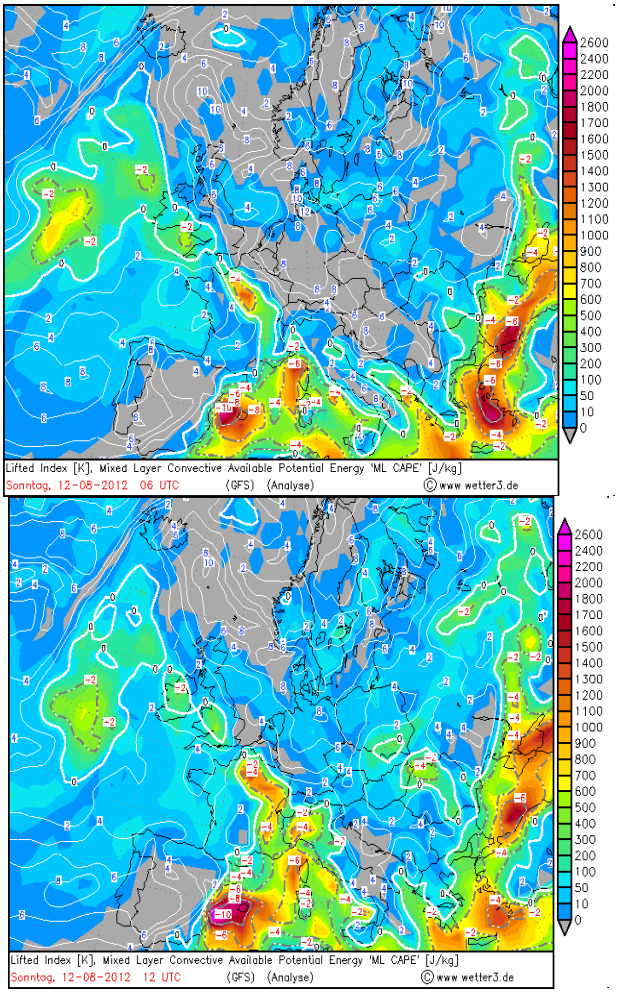
12.08.2012 06 GMT 850 hPa haritasında Ülkemiz üzerinde 148 dam'lik Alçak Merkez kuzeybatıda 15 °C'lik, iç bölgelerde 20, Güneydoğu'da 25 °C'lik sıcak havasıyla etkili olmaktadır. 12 GMT 850 hPa haritasında yükseklik değerleri aynı kalırken, yerde Basra'nın etkisiyle birlikte sıcaklık değerleri hızlı bir artış göstermekte, iç bölgelerde 25 °C izotermi, kuzeybatıda 20 °C izotermi etkili olmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3: 12.08.2012 850 mb yükseklik ve sıcaklık haritaları, 06-12 GMT.

2.1.4. CAPE ve Lifted İndeks Haritaları

12.08.2012 06 ve 12 GMT'de haritasında Trakya'da Lifted index değerinin -4, CAPE değerinin 1000 joule olması, potansiyel enerji birikimine ve bu birikim sonucu konvektif yapıların oluşabileceğine işaret etmektedir (Şekil 5).



Şekil 5: 12.08.2012 CAPE ve Lifted indeks haritaları, 06-12 GMT.

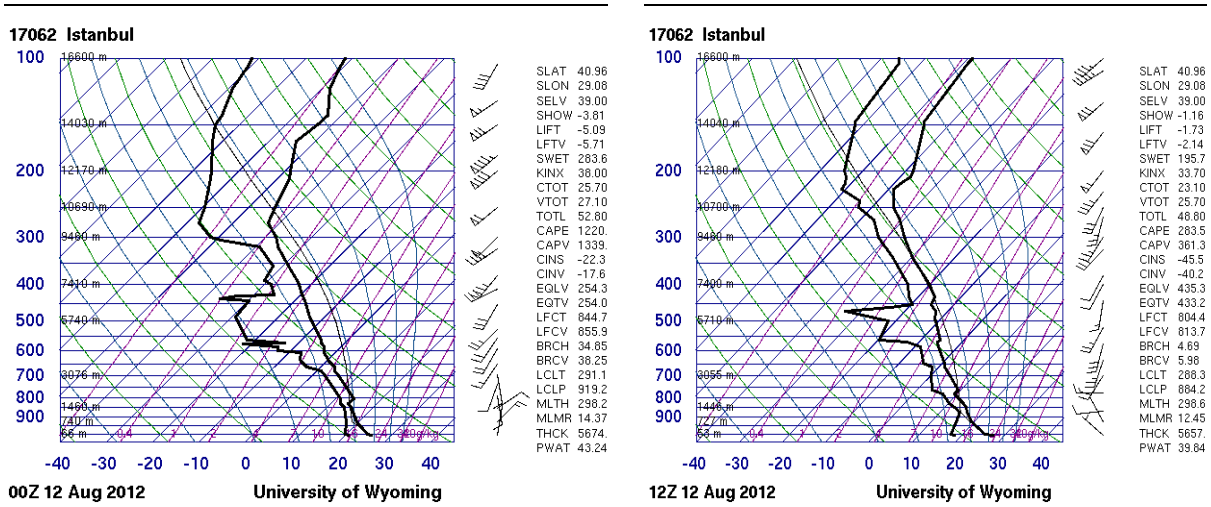
2.1.5. Skew T Log P Diyagramı

Bölgeye en yakın radiosonde merkezi olan İstanbul (17062) yüksek seviye gözlemlerinden elde edilen temp diyagramı ve kararsızlık indeksleri bölge üzerinde konvektif fırtınaların etkili olacağı yönünde güçlü işaretler vermiştir. Özellikle 00 GMT temp diyagramında CAPE=1200 J, LI=-5, K=38, TT=52, SWEAT=283, PW=43 değerleri anlamlıdır (Şekil 6).

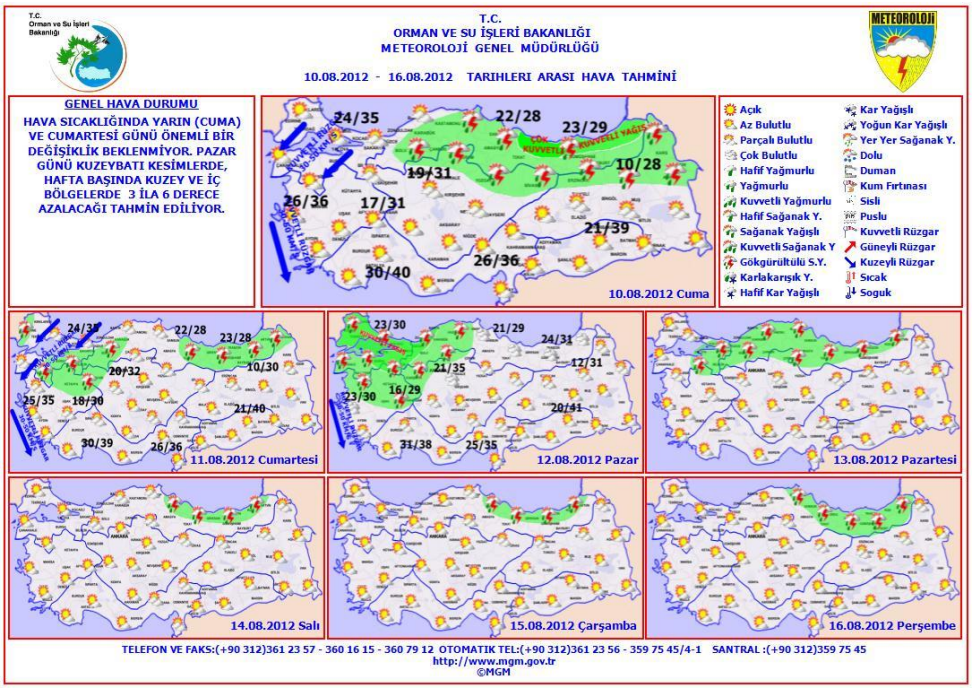
Şekil 6: İstanbul için 12 Ağustos 2012 tarihli 00 Z ve 12 Z temp diyagramları [3].

3. OLAY GÜNÜNE AİT TAHMİN VE UYARILAR

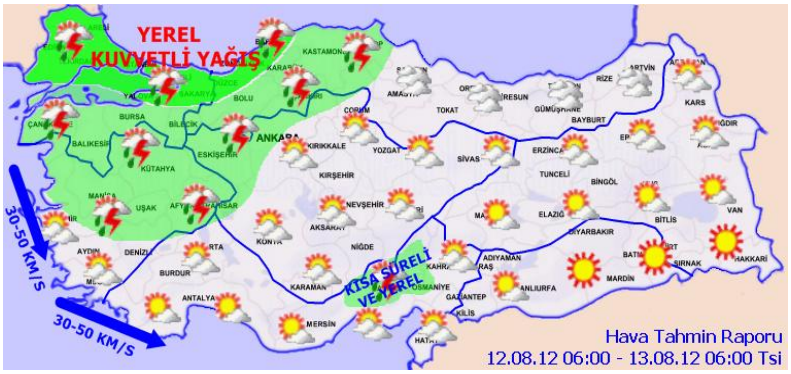
9 Ağustos 2012 tarihli MGM Tahminler Dairesi Başkanlığınca yapılan ve kamuoyu ile paylaşılan 7 günlük hava tahmin raporunda Marmara Denizi üzerinde kuvvetli konvektif



fırtına beklendiği "gök gürültülü kuvvetli sağanak yağış" ibaresiyle bildirilmiştir (Şekil 7). 12 Ağustos 2012 günü 06:00 TSİ'de yayınlanan sabah hava tahmin raporunda Marmara Bölgesi üzerinde kuvvetli gök gürültülü sağanak yağış hadisesi beklendiği vurgulanmıştır (Şekil 8). Ayrıca aynı saat itibariyle bölgede beklenen kuvvetli yağış için yayınlanan 420 sayılı meteorolojik uyarıda "... yaşanabilecek olumsuzluklara karşı (sel, su baskını, yıldırım, yerel dolu yağışı ve yağış anında kısa süreli fırtına) ilgililer ve vatandaşların dikkatli ve tedbirli olmaları..." istenmiştir (Şekil 9).



Şekil 7: 9 Ağustos 2012 tarihli MGM 7 günlük hava tahmin raporu.



Şekil 8: 12 Ağustos 2012 tarihli Günlük hava tahmin raporu.

Meteorolojik Uyarı

T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Tarih : 12.08.2012	Saat : 06:00	Uyarı No : 0420	Uyarı Kodu: Seçiniz...

Uyarı Yapan Merkez	Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Genel Başlık	Bugün İstanbul, Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, Kocaeli, Yalova, Bursa, Sakarya,Bilecik Zonguldak, Düzce ve Bartın'da Kuvvetli Yağış!
Beklenen Hadise	Gökgürültülü Sağanak Yağış
Hadisenin Şiddeti	Kuvvetli Yağış
Beklendiği Yer	Bugün öğle saatlerinden sonra ülkemizin kuzeybatı kesimlerinde (İstanbul, Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, Kocaeli, Yalova,Bursa, Sakarya,Bilecik, Zonguldak, Düzce ve Bartın'da) görülecek gök gürültülü sağanak yağışların kuvvetli olması beklendiğinden yaşanabilecek olumsuzluklara karşı (Sel, Su Baskını, Yıldırım, Yerel Dolu Yağışı ve Yağış Anında Kısa Süreli Fırtına) ilgililerin ve vatandaşların dikkatli ve tedbirli olması gerekmektedir.
Geçerlilik Periyodu	12.08.2012 06:00 - 12.09.2012 18:00

Şekil 9: 420 sayılı meteorolojik uyarı.

4. UYDU VE RADAR GÖRÜNTÜLERİNİN YORUMLANMASI

Meteoroloji Uyduları hava olaylarını küresel olarak inceleme olanağı sağlayan uzaktan algılama araçlarıdır. Dünya çevresindeki yörüngelerinde hareket ederlerken, sensörleri (radyometre) tarafından kaydedilen verileri belirli aralıklarla yer istasyonlarına gönderirler. Uyduların en önemli faydalarından biri, yer gözlem istasyonları kurulamadığı için verilerin toplanamadığı okyanus, deniz, çöl, dağlık alanlar, kutup bölgeleri vs. gibi çok geniş alanlardan meteorolojik bilgilerin elde edilmesidir.

Uyduların uzaktan algılama sistemleri, cisimler tarafından yansıtılan ve cisimlerin vücut sıcaklığına bağlı olarak yaydıkları elektromanyetik radyasyonun, uzaya yerleştirilen platformlar (uydu) üzerinde bulunan radyometreler (pasif algılama) ve radarlar (aktif algılama) tarafından ölçülmesi prensibine dayanır.

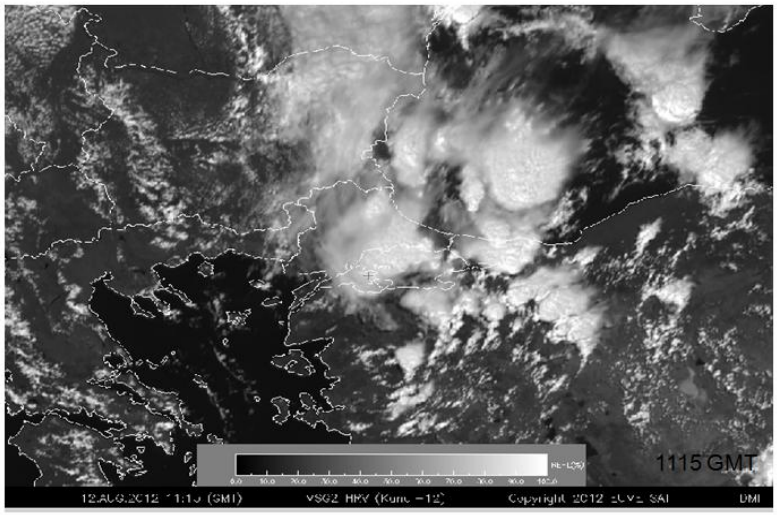
Olay günü incelenirken, ülkemizde daha çok konvektif faaliyetlerin takibinde kullanılan MSG uydusuna ait "*HRV*", "*infrared 9. Kanal*" ve "*RGB Convection*" ürünlerinden faydalanılmıştır.

Yüksek çözünürlüklü görünür kanal (HRV) sahip olduğu 1 km çözünürlük (alt-uydu noktasında) ile Ekvator üzerinde konumlandırılmasına rağmen alt-uydu noktasından çok uzakta bile etkili görüntüleme yapabilmektedir.

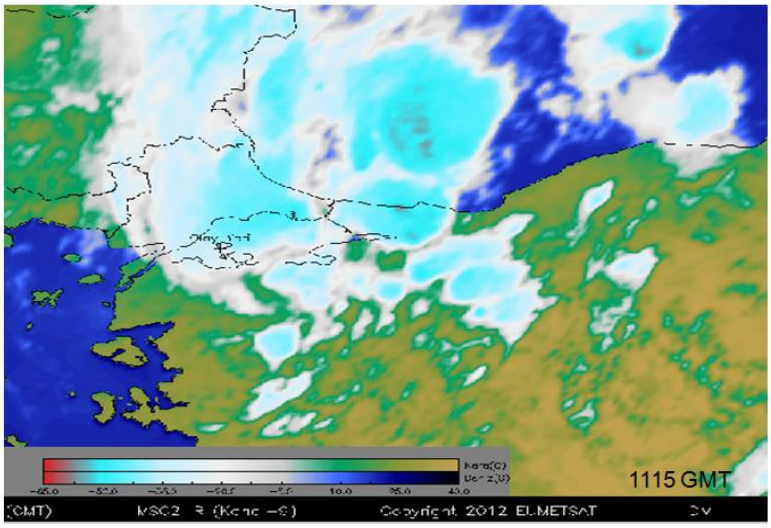
Olay anına ait HRV görüntüsünde yüksek yansıma değerleriyle ülkemizin kuzeybatı kesimlerinde güçlü konvektif yapılar göze çarpmaktadır (Şekil 10).

İnfrared 9. kanal görüntüsünde bulut tepe sıcaklıklarının geniş bir alanda -50 derece civarında olduğu görülmektedir. O güne ait yüksek seviye gözlemleri ile bulut tepe sıcaklığı karşılaştırıldığında bulut tepesinin 10 km civarında olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 11).

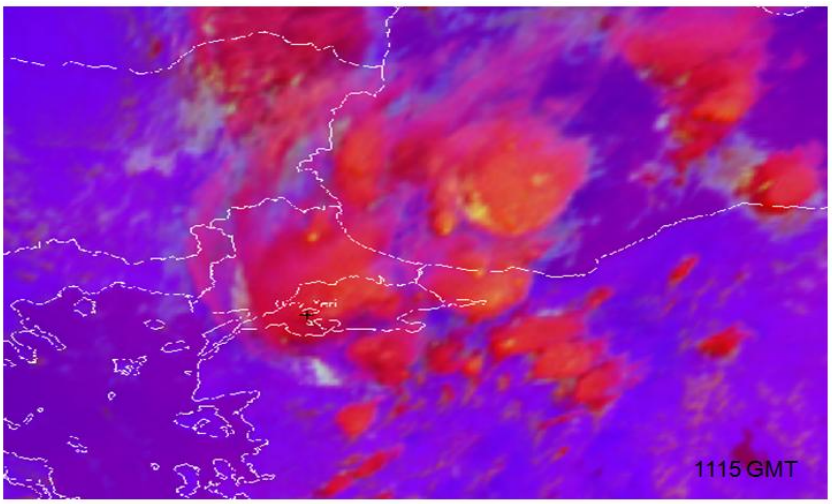
RGB Convection görüntüsü bazı kanal farklarının renklendirmesi sonucu oluşur. Su buharı 5. ve 6. kanal farkı kırmızı; 4. ve 9. kanal farkı yeşil; 3. ve 1. kanal farkı mavi kombinasyonuyla konvektif faaliyetlerin takibinde özellikle kuvvetli yukarı yönlü hareket alanlarının (updraft) belirlenmesinde kullanılır. Olay saatine ait görüntüler incelendiğinde Tekirdağ'ın güneyinde konvektif bulutluluk net olarak görünmesine rağmen kuvvetli yukarı yönlü hareket dolayısıyla ani ve hızlı gelişen konvektif fırtınaya dair net işaretler görülememektedir. Kuvvetli yukarı yönlü hareketlerle bulut tavanına taşınan ince buz parçacıkları bu üründe sarı renkte görülmektedir. Bu durum Batı Karadeniz açıklarında oluşan bulutlarda belirgin şekildedir (Şekil 12).



Şekil 10: 12.08.2012 HRV uydu görüntüsü, 11:15 GMT [4].



Şekil 11: 12.08.2012 IR, kanal 9 uydu görüntüsü, 11:15 GMT [4].





Şekil 16: TC-SAS Uçuş rotası ve şimşek gözlemleri, 11:00 - 11:15 GMT.



Şekil 17: Marmara Çevresinde Meydana Gelen Şimşek Gözlemleri (09:00/15:00 UTC).

5. SONUÇLAR

Konvektif faaliyetler tahminciler tarafından günler öncesinden geniş ölçekte fark edilip tahmin edilse dahi, olayın tam olarak meydana geleceği yer ve saatin uzun süre önceden bilinmesi her zaman mümkün olamamaktadır. Bu nedenle genel uyarıların yanında, 0-6 saat için yapılan ve "Nowcasting" olarak adlandırılan kısa süreli tahminler yapılıp, gerekli görüldüğünde Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından meteorolojik uyarılar yayınlanmaktadır. MGM tarafından yapılan "kuvvetli gök gürültülü sağanak yağış"

uyarılarının yerel takibi en iyi şekilde meteorolojik uzaktan algılama aygıtları olan uydu ve özellikle radar tarafından yapılabilmektedir. Genel anlamda yorumlanması çok zor olmayan uydu ve radar ürünleri, MGM tarafından web sayfasında ücretsiz olarak paylaşılmaktadır. Bu ürünlerin havayolu yer ve uçuş hizmetleri personeli, bilhassa hava trafik kontrolörleri ve pilotlar tarafından da kullanımı, üzücü kazaların önlenmesi ve uçuş programlamasında kayda değer faydalar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

[1] **WMO Disaster Risk Reduction Programme,** *http://www.wmo.int/pages/prog/drr/projects_en.html*

[2] **UNISDR,** *United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Annual Report 2011, (14)*

[3] **NOAA**. *http://www.crh.noaa.gov/lmk/soo/docu/indices.php*

[4] **Kerkmann J,** *Understanding Convective Clouds through the Eyes of Meteosat Second Generation*

[5] **Houze R.A.,** *Cloud Dynamics, Academic Press, 573 pp. San Diego,, 1993:*

[6] **wetter3.de.** *Archiv Tool*. http://www.wetter3.de, Son Kontrol: 22.10.2013

[7] **Wyoming Üniversitesi.** *Skew_t Diyagramı.,* *http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html* Son Kontrol: 22.10.2013

[8] **MGM.** *Uydu ve Radar Görüntüleri ve Eğitim Dokümanları*

[9] **NTSB.** *Şimşek Gözlemleri (Faruk İpek özel arşiv)*

ANTALYA (ORTA AKDENİZ SULARI) HAVZASINDA KARLA KAPLI ALANLARIN DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Ömer Faruk Kaya
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Meteoroloji 4.Bölge Müdürlüğü
Antalya
ofarukkaya@mgm.gov.tr

Murat Güler
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Meteoroloji 4.Bölge Müdürlüğü
Antalya
mguler@mgm.gov.tr

METEOSAT İkinci Nesil Uydusu üzerindeki SEVIRI aygıtındaki veriler kullanılarak üretilen Snow Recognition – (SR) Karla Kaplı Alanlar uydu görüntüsünün Antalya Havzası sınırları içinde bulunan görüntü parçasında bulunan karla kaplı alanların, Isparta(17240) Rawinsaonde gözlemlerinden elde edilen 850 ve 700 mb standart seviyeleri sıcaklıkları arasındaki ilişki incelenmiştir.

Antalya Havzası içerisinde kalan her bir piksel adet bazında karla kaplı alanların sayısı belirlenerek günlük bazda toplam sayılarında ki değişimle Isparta Rawinsonde Gözlem İstasyonundan elde edilen 850 , 700 mb standart seviyelerinin sıcaklıklarının günlük farkları karşılaştırılarak aralarındaki ilişki ortaya konmaya çalışılmıştır.

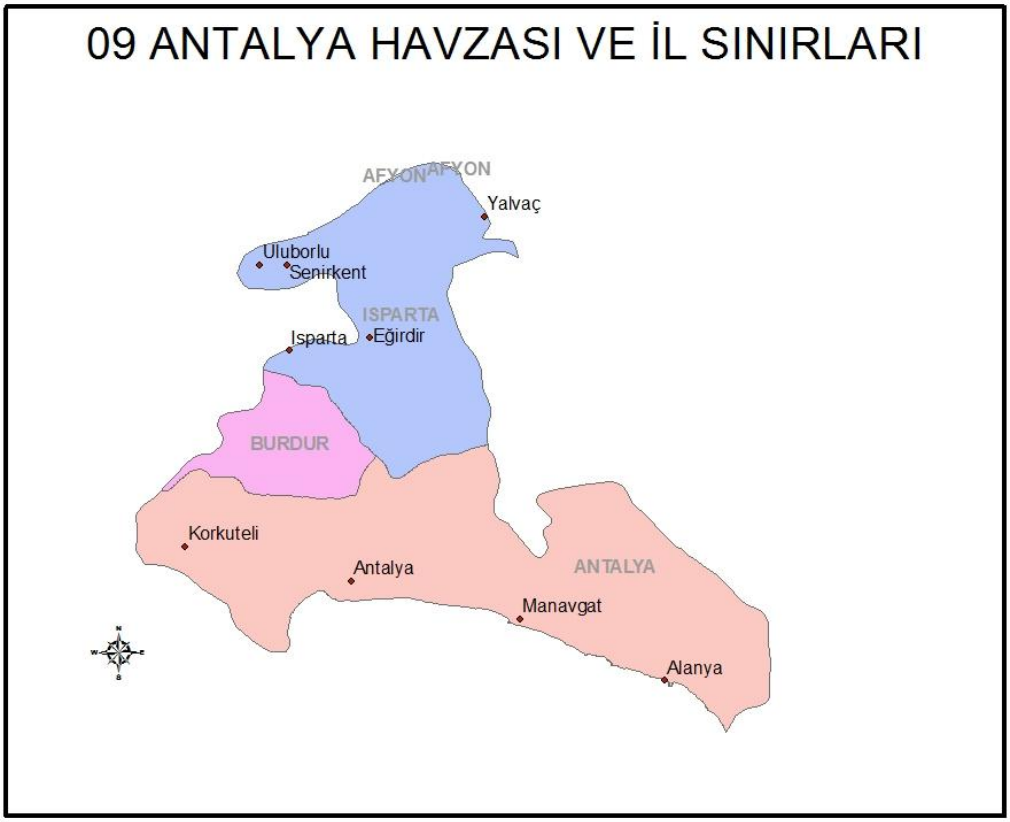
Çalışma sonucunda, ilkbahar aylarında hızlı sıcaklık artışı ile ortaya çıkabilecek hızlı kar erimelerinin alansal bazda tahmin edilmesi ve oluşabilecek sel ve su baskınları tahminlerinde referans oluşturacak sonuçlar elde edilmesi düşünülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Kar, Havza, Erime, Bahar, Antalya, Öngörü, HSAF

1. GİRİŞ

Bahar aylarında Orta Akdeniz'den gelen cephesel sistemlerin önünde oluşan güney ve güneybatılı rüzgarlarla birlikte hızlı sıcaklık artışları yüksek rakımlı bölgelerde biriken kar kütlelerinin erimesini hızlandırarak akarsularda su seviyesini artmasına neden olmaktadır. Çalışma alanı Antalya (Orta Akdeniz Suları) Havzası kış sonu ve bahar aylarının ilk günlerinde Akdeniz'den gelen cephesel sistemlerden oldukça fazla yağış almaktadır. Akdeniz üzerinden gelen sistemler ile sıcaklık artışından ortaya çıkan kar erimeleri havzadaki sel riskini artırmaktadır. Bu nedenle havzadaki karla kaplı alanlar, 850 ve 700 hpa sabit basınç seviyelerindeki sıcaklık değişimlerinden nasıl etkilendikleri tespit edebilirse, riskli aylarda kuvvetli yağışlarla birlikte kar erimelerinden ortaya çıkan risk artışı konusunda tahmincilere ön fikir vereceği düşünülmektedir.

2. ÇALIŞMA ALANI 09 NOLU ANTALYA(ORTA AKDENİZ SULARI) HAVZASI



Şekil 1*: Antalya Havzası ve il sınırı*

09 Antalya Havzası tamamen Akdeniz Bölgesinde bulunmaktadır. Havzanın toplam yüz ölçümü 19.171 km² dir. Havzanın Afyon % 0,05'i Afyon, % 10,32'si Burdur, % 31,18'i Isparta ve % 58,45'i ise Antalya İl sınırlarında bulunmaktadır. (Tablo-1)

Tablo 1: Havzada bulunan illerin dağılımı

İl	Yüz Ölçümü	% Oranı
Afyon	9.291.108	0,05
Burdur	1.977.608.557	10,32
Isparta	5.978.182.624	31,18
Antalya	11.205.900.484	58,45
Toplam	19.170.982.624	100

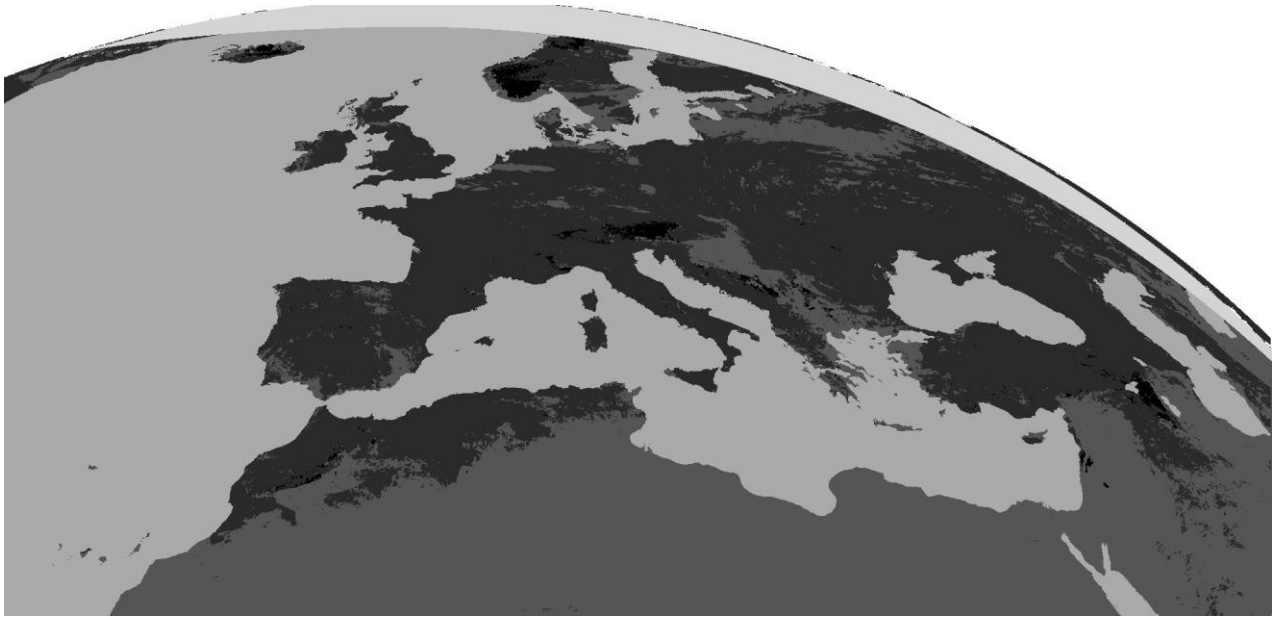
Havza açık bir havza olup başlıca akarsuları Aksu, Köprü, Alara ve Manavgat Çayları dır. Yıllık su potansiyeli 11,06 Milyar m³ değeri ile ülkemizin en yüksek su potansiyeli olan havzalarından biridir [1]. Havzada bulunan 8 istasyon ile yapılan istatistiksel çalışmada 1970-2012 yıllarına göre ortalama sıcaklığı 14,8 °C , en yüksek sıcaklık Antalya'da 2000 yılında 45,0 °C, en düşük sıcaklık ise Ispartada 1974 yılında -21,0 °C ölçülmüştür [2]. Aynı çalışmaya göre havzanın ortalama yıllık yağışı 774,4 kg dır. [2]

3. MATERYAL

Havzadaki karla kaplı alanları METEOSAT İkinci Nesil Uydusu üzerindeki SEVIRI aygıtında elde edilen veriler kullanılarak üretilen bir üründür. Avrupa alanı için üretilir ve her bir nokta Kar, Bulut, Yer Yüzeyi olarak işaretlenir. Ürün algoritması kar/buz gibi hedeflerin görünür 1.6 mikron kanalındaki yansımasının görünür 0.6 mikron kanalındakine oranla oldukça düşük olması prensibine dayanır. Bulut maskesi olarak Nowcastin SAF tarafından üretilen bulut ürünleri kullanılır[4]. Piksellerin temsil ettiği alan pikselin bulunduğu enleme , uydunun bakışına göre 3 ile 8 km arasında değişmekle birlikte ~ 5 km dir [3]. Görüntüler gün ışından elde edildiğinden görüntüler gündüz saatleri temsil etmektedir [3]. Haritada bulunan pikseller 3 ana gruba ayrılmıştır.

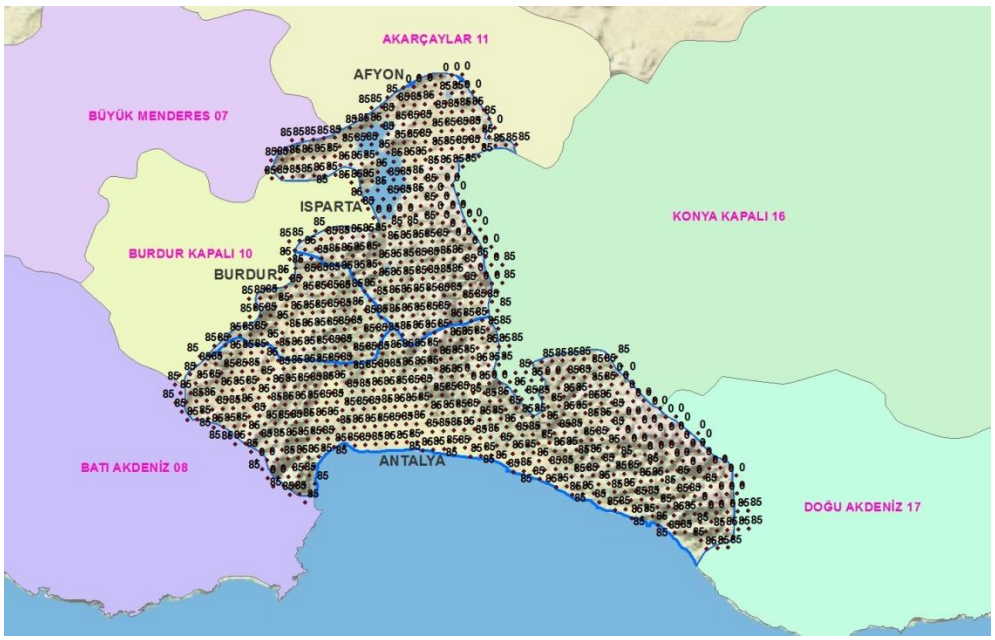
Bunlar :

- ***Yeryüzü*** ***85***
- Bulut 42
- ***Kar*** ***0***



Şekil 2: 02 Ocak 2013 HSAF Görüntüsü

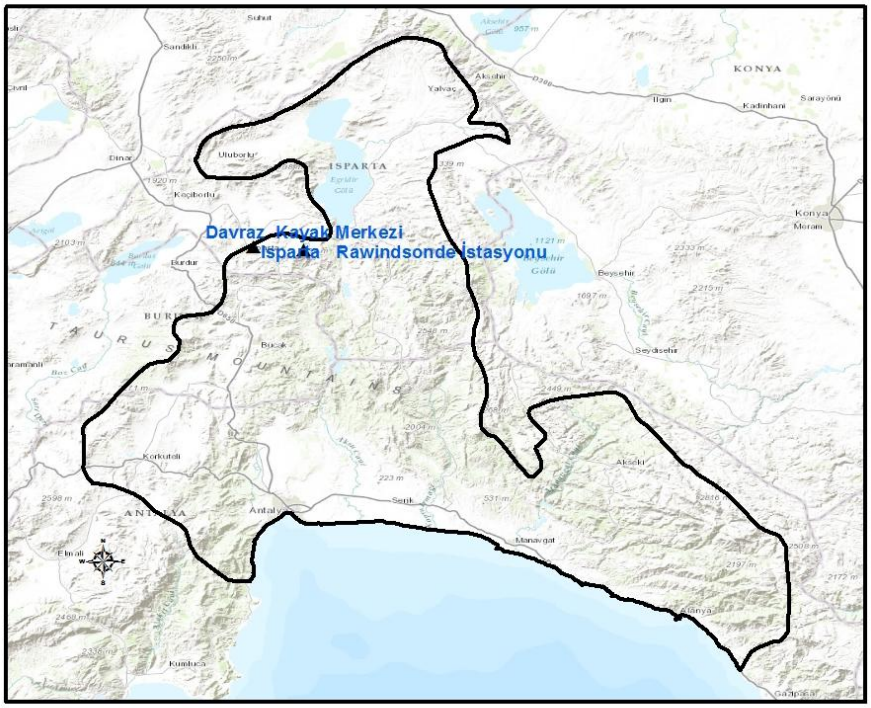
H5 formatındaki dosyalar öncelikle üzerinde daha rahat çalışma yapabilmek için excel dosyası haline getirildi. Havza sınırları içinde kalan 1228 adet pikselin çalışmada esas alınmıştır. Piksel değerleri karla kaplı alanlar ve yeryüzü olmak üzere farklı sınıfa ayrıldı. Bulutlu kaplı alanlar ise bulutla kaplanmadan önceki durumuna göre karla (0) kaplı alan yada yeryüzü (85) şeklinde belirlendi. Bu işlem yapılırken piksel karla kaplı (0) alan iken bulutlu örtüldüyse ; bulut örtüsü (42) kalktıktan sonra tekrar kar örtüsü görülürse bulutlu günler karla kaplı (0) kabul edildi . Aksi durumda yeryüzü (85), bulut örtüsü (42) kalktıktan sonra tekrar yeryüzü (85) ise tüm bulutlu günler yeryüzü olarak belirlendi.



Şekil 3: Çalışma alanını ve piksel dağılımı

Isparta Meteoroloji İstasyonunda yapılan 12 UTC rawindsonde gözlemlerinden elde edilen standart basınç seviyelerinden 850 ve 700 hpa seviyelerinin sıcaklıkları çalışmada kullanılmıştır. Gözlem noktası havzanın kuzeyinde 997 m rakımda yapılmaktadır.

Isparta İl Özel İdaresi tarafında 2006 yılında 1950 m rakımda Davraz Kayak Merkezinde kurulan Otamatik Meteoroloji Gözlem İstasyonunda 12 UTC de 2 m yükseklikte ölçülen yer sıcaklığı ve kar derinliği gözlemleri karşılaştırmalarda kullanılmıştır. Çalışma periyodu 1 Ocak - 31 Mayıs 2013 seçilmiştir.



Şekil 4: Davraz ve Isparta İstasyon Yerleri

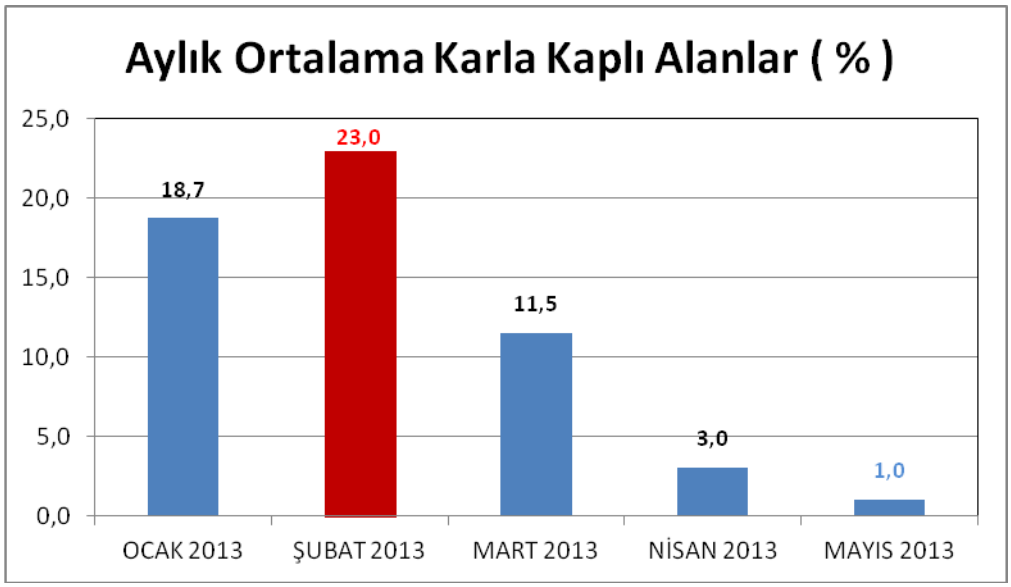
4. METOD

Havza sahasında bulunan 1228 adet piksel karla kaplı (0) alan yada yeryüzü (85) şeklinde olmak üzere iki gruba ayrıldı. Günlük karla kaplı (0) piksellerin toplamları toplam piksel sayısına bölünerek karla kaplı alanların toplam alana oranları hesaplandı. Ayrıca karla kaplı kaplı (0) sayıları bir önceki günün piksel sayıları ile farkları alındı.

Karla kaplı alanların günlük farkları ile 850 ve 700 hpa, günlük sıcaklık farkları,, sıcaklık farklarının eklenikleri, Davraz Kayak Merkezi 2m hava sıcaklık farkları ve farkların eklenikleri araındaki korelasyonleri hesaplanmıştır.,

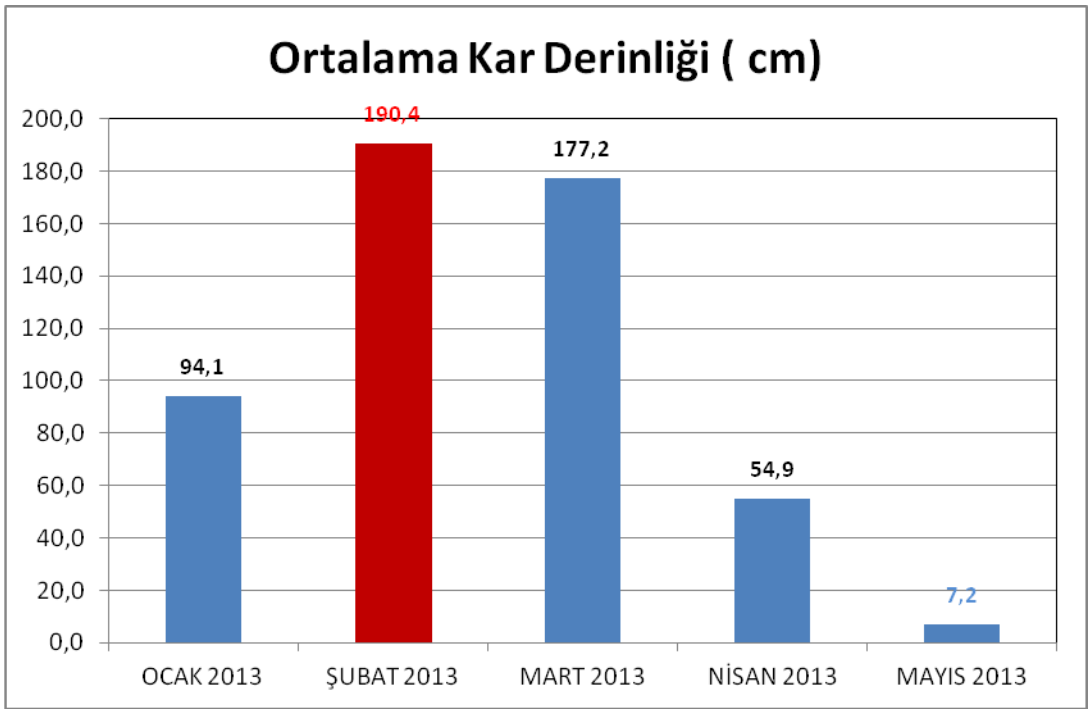
5. SONUÇLAR

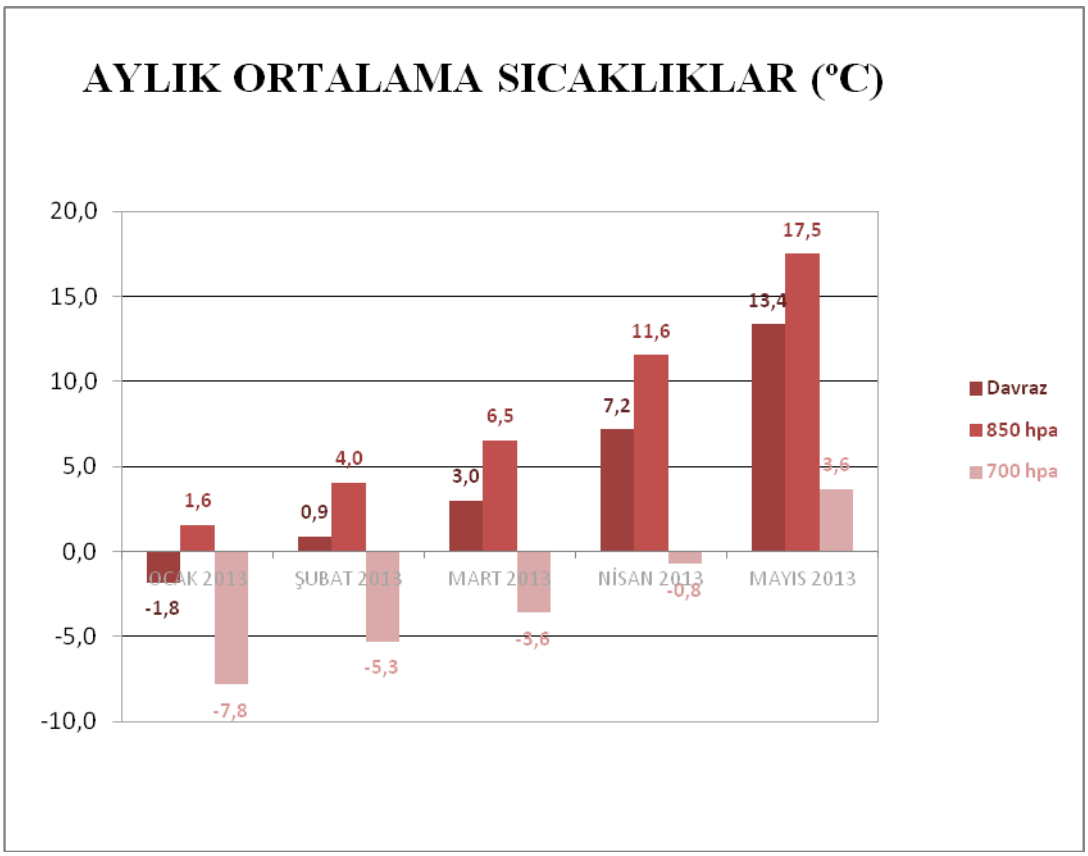
Yapılan çalışma sonucunda Şubat ayı ortalama karla kalı oranı % 23 ile en yüksek ay ardından da % 18,7 değeriyle Ocak ayı olarak tespit edilmiştir. 27 Ocak tarihinde ise % 30 karlı alanlar olarak en yüksek değere erişilmiştir. Karlı alanların değişimlerinin en yüksek olduğu ay %0,4 günlük değişimle Nisan ayı olmuştur. Aynı ay Davraz Kayak Merkezinde Ölçülen 2m sıcaklıklarının günlük farklarını aylık ortalamaların en yüksek değeri olan 0.4 ºC değerine eriştiği görülmüştür(Tablo .2).



Karlı kaplı alanların en yüksek olduğu Şubat ayından Nisan ayı aylık ortalamarı itibariyle karla kaplı alanların % 87 ,si erimiş olduğu görülmektedir. Bu nedenle mart ve nisan aylarındaki kar erimeleri çok önem arz etmektedir.

Davraz Kayak Merkezin'de ölçülen kar derinlikleri ile karla kaplı alanların oranları paralelelik göstermektedir. Aylık ortalama kar derinliğinin en yüksek olduğu ay 190,4 cm derinlikle Şubat ayı, ardından ise 177,2 cm değeri ile Mart ayı gelmektedir.


Ortalama Kar Derinliği (cm)
200,0
180,0
160,0
140,0
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
94,1
190,4
177,2
54,9
7,2
OCAK 2013
ŞUBAT 2013
MART 2013
NİSAN 2013
MAYIS 2013


AYLIK ORTALAMA SICAKLIKLAR (ºC)
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
-5,0
-10,0
-1,8
1,6
-7,8
0,9
4,0
-5,3
3,0
6,5
-5,6
7,2
11,6
-0,8
13,4
17,5
3,6
OCAK 2013
ŞUBAT 2013
MART 2013
NİSAN 2013
MAYIS 2013
Davraz
850 hpa
700 hpa

Tablo2 : İstatistiki Değerler Tablosu

	OCAK 2013			ŞUBAT 2013			MART 2013			NİSAN 2013			MAYIS 2013		
	Max	**Min**	**Ort**	**Max**	**Min**	**Ort**	**Max**	**Min**	**Ort**	**Max**	**Min**	**Ort**	**Max**	**Min**	**Ort**
Karlı (0)Alanların Piksel Sayısı	369	110	230,0	355	189	282,4	208	70	141,5	70	8	37,0	59	0	12,8
Yeryüzü (85) Piksel Sayısı	1118	859	998,0	1039	873	945,6	1158	1020	1086,5	1220	1158	1193,3	1228	1169	1215,2
Karla Kaplı Alanların %	30,0	9,0	18,7	28,9	15,4	23,0	16,9	5,7	11,5	5,7	0,7	3,0	4,8	0,0	1,0
Boş Alanların %	91,0	70,0	81,3	84,6	71,1	77,0	94,3	83,1	88,5	99,3	94,3	97,2	100,0	95,2	99,0
Fark %	8,1	-6,0	0,5	6,3	-4,0	-0,3	1,5	-3,4	-0,4	1,0	-0,9	-0,2	3,8	-2,9	0,0
Fark Adet	99,0	-74,0	6,1	77,0	-49,0	-3,8	18,0	-42,0	-4,3	12,0	-11,0	-1,9	47,0	-36,0	-0,2
Davraz 2 M Sıcaklık	3,6	-13,2	-1,8	7,4	-5,4	0,9	9,6	-5,3	3,0	15,3	0,8	7,2	17,6	5,4	13,4
Davraz Kar Derinliği	148	53	94,1	245	127	190,4	221	132	177,2	123	0	54,9	12	1	7,2
Günlük Sıcaklık Farkı	5,3	-7,0	-0,2	6,3	-5,7	0,1	11,8	-6,7	0,3	5,0	-8,2	0,4	5,0	-4,4	0,1
Kar Derinliği Günlük Fark	71	-31	2,8	36	-13,5	2,8	5	-18,3	-2,9	31,0	-23,2	-3,0	3,6	-3,2	0,1
850 mb Sıcaklık	6,9	-7,8	1,6	9,7	0	4,0	13,7	-1,2	6,5	19,8	4,6	11,6	21,9	9,6	17,5
Sıcaklık Farkı	3,9	-6,1	-0,1	4,5	-6,4	0,0	5,4	-8,6	0,4	4,6	-9,5	0,3	4,7	-4,4	0,1
Farklar Toplamı	7,7	-8,7	-0,3	5,9	-8,9	0,3	8,1	-11,6	0,6	8,0	-8,7	0,7	6,5	-8,8	0,1
850 mb Sıcaklık	-2	-20,5	-7,8	3,1	-11,8	-5,3	3,2	-14,4	-3,6	7,2	-6,5	-0,8	9,5	-1,4	3,6
Sıcaklık Farkı	6,6	-7,3	-0,1	10,2	-6,4	0,0	11,1	-10,7	0,4	9,9	-11,7	0,4	6,5	-4,6	0,1
Farklar Toplamı	9,2	-10,7	-0,1	10,5	-8,3	0,0	15,9	-16,7	0,6	11,5	-12,8	0,6	8,3	-4,7	0,1

Tablo3 : Karla Kaplı Alanların Değişimi ile Parametreler Arasındaki Korelasyon Tablosu

	Ocak 2013	Şubat 2013	Mart 2013	Nisan 2013	Mayıs 2013
Günlük Sıcaklık Farkı	-0,16	-0,27	0,05	-0,58	0,04
Kar Derinliği Günlük Farkı	0,36	0,56	0,04	-0,19	-0,03
850 hpa Sıcaklıklığı	-0,28	-0,13	-0,22	-0,23	0,00
Sıcaklık Farkı	-0,06	-0,39	-0,23	-0,42	-0,23
Farklar Toplamı	-0,27	-0,48	-0,42	-0,68	-0,05
700 hpa Sıcaklıklığı	-0,28	-0,16	-0,35	-0,30	0,08
Sıcaklık Farkı	0,06	-0,03	-0,10	-0,46	0,01
Farklar Toplamı	-0,03	-0,26	-0,47	-0,45	0,02

Karla kaplı alanların % değişimi ile Davraz Kayak Merkezi sıcaklık, Kar yükseklik günlük değişimi, 850 hpa sıcaklık, sıcaklık farkları ve farklar toplamı, 700 hpa, sıcaklık, sıcaklık farkı ve fark toplamları arasıdaki korelasyon hesaplanmıştır.

Karla kaplı alanlardaki değişim ile kar derinliği arasın pozitif koelasyon bulunmata ve en yüsek değerini şubat ayın da gözlenmektedir. Sıcaklık değişimleri ve toplam farklar ile ters korelasyon gözlenmekte enyüksek ters korelasyon değeri ise nisan ayında gözlenmektedir.

Karla kaplı alanlardaki değişim ile sıcaklıklar ve sıcaklık farkları arasında inceleme periyodunun genelinde daha yüksek bir ters korelasyonu beklenirken daha düşük ilişki gözlenmiştir. Bunun nedeni sıcaklık değişimlerinde düşüş ve artış ayrımı yapmadan tüm periyod esas alınması olduğu düşünülmektedir. Sıcaklık artışları erimelerde etkili olurken sıcaklık düşüleri her zaman kar yüksekliklerine pozitif etki yapmamaktadır. Ayrıca sıcaklık artışlarının karla kaplı alanlarda sıcaklığı erime sıcaklığı olan 0 ºC nin üzerine çıkarmamasından dolayı karla kaplı alanlarda değişime neden olmamamıştır.

Bu çalışma karlı sezonun başlangından başlayarak karla kaplı alanların başlangıç yükseklikleride göz önüne alınmalı ayrıca Isparta Rawindsonde Gözlemlerinden 0 ºC yükseklik değişimleride çalışmaya dahil edilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Akın M., Akın G.,** *Suyun Önemi, Türkiye'de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği* Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi 47, 2 (2007) 105-118

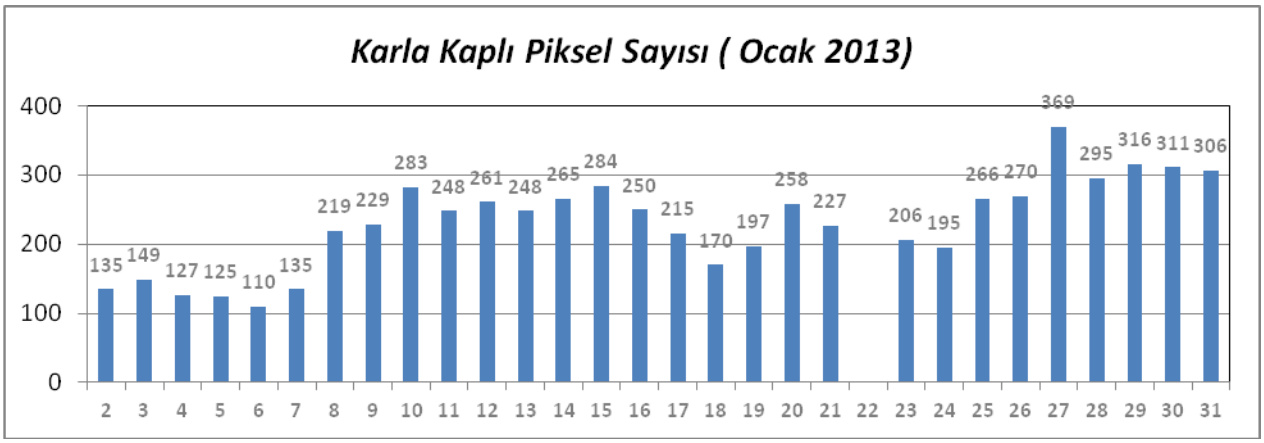
[2] **Taştan F.** *Türkiye Ve Havzalarının Sıcaklık, Yağış, Nem Ve Buharlaşma Parametresinin İstatistiksel Analizi Raporu (1970-2012),* (37-41) Ankara, 2013

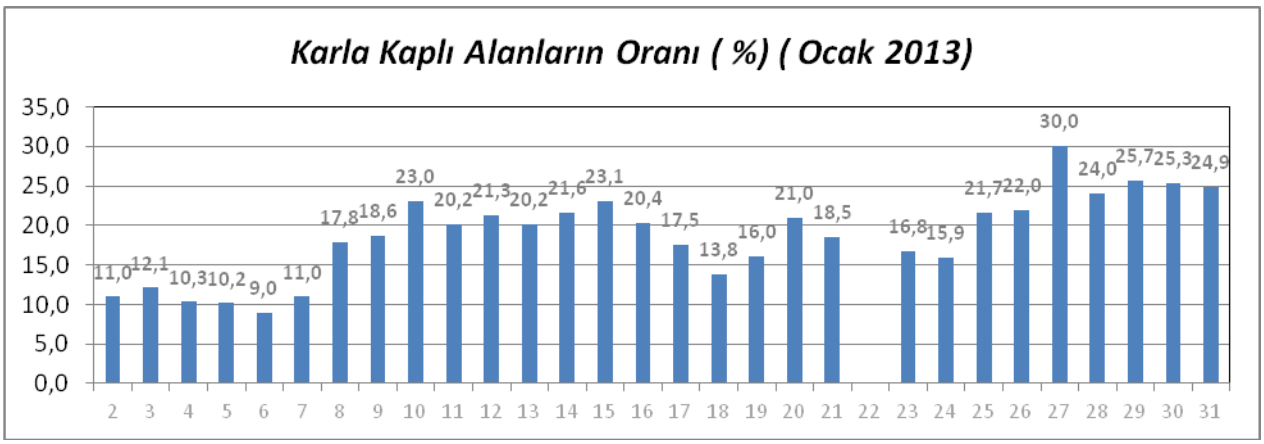
[3] **HSAF Product User Manual (PUM) For product H10-SN-OBS-1, Snow detection (snow mask) by VIS/IR (11)** 2011.

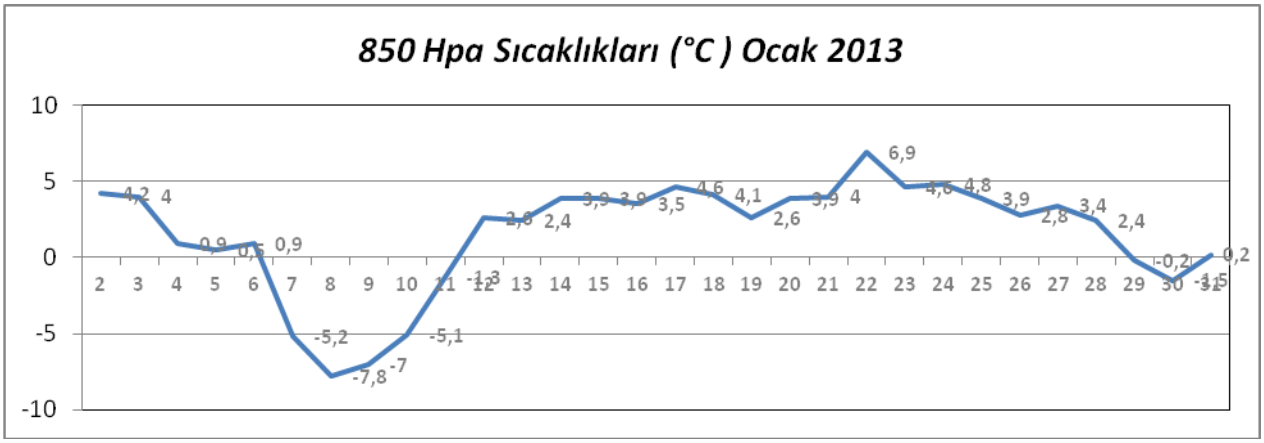
[4] http://uzal.mgm.gov.tr/index.htm, *Meteoroloji Genel M. Uzaktan Algılama Ürünleri İntranet Sayfası,* Son Kontrol: 25.10.2013

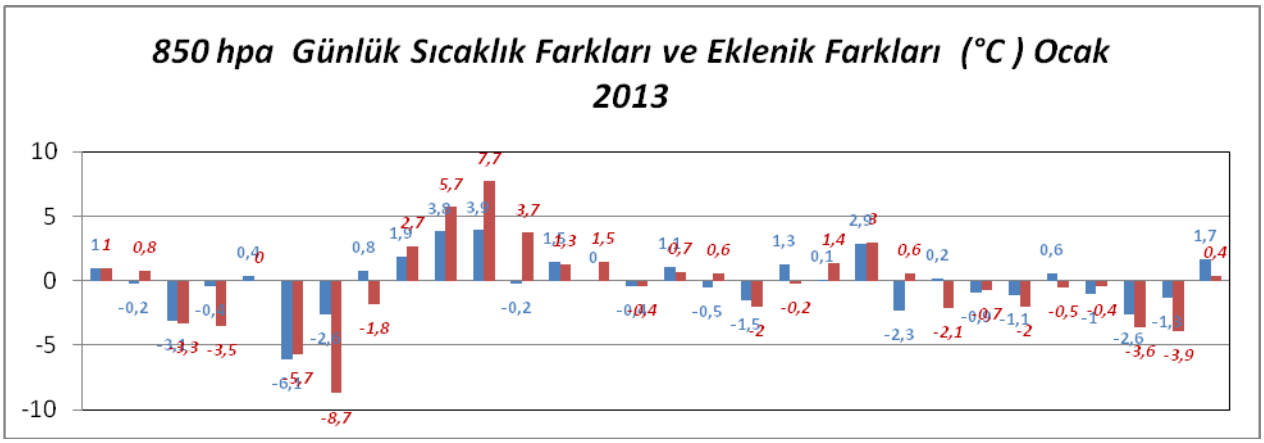
EKLER:

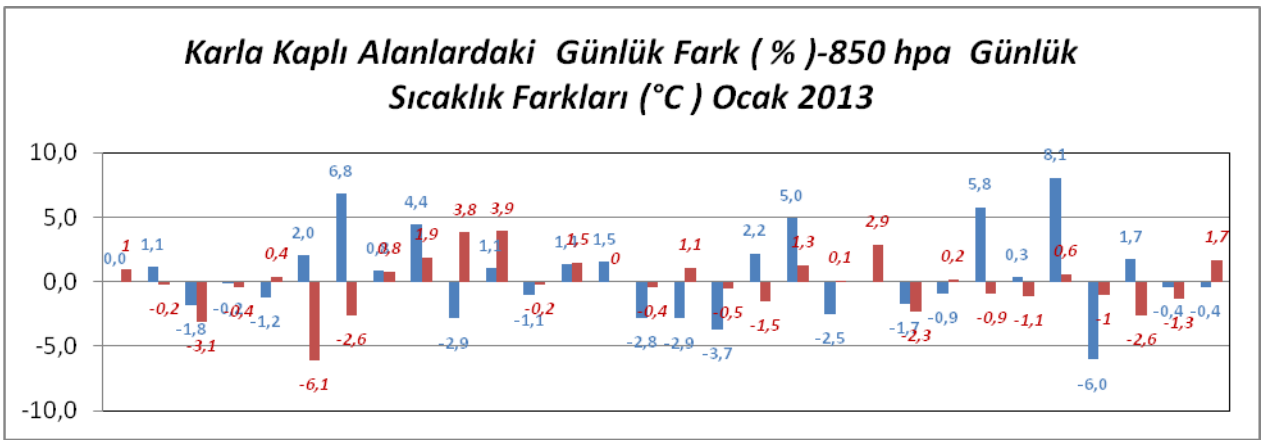
1-Ocak 2013 Günlük Grafikleri

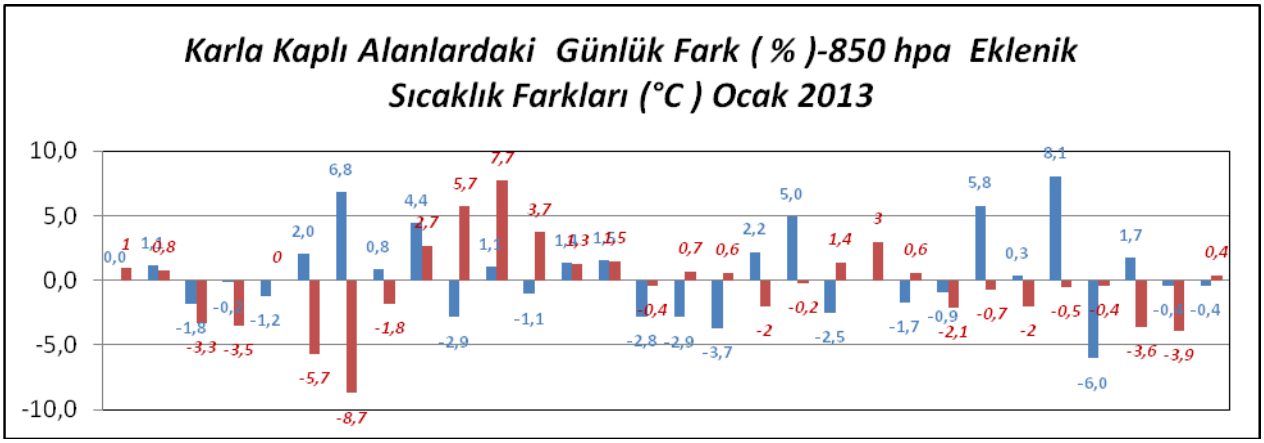


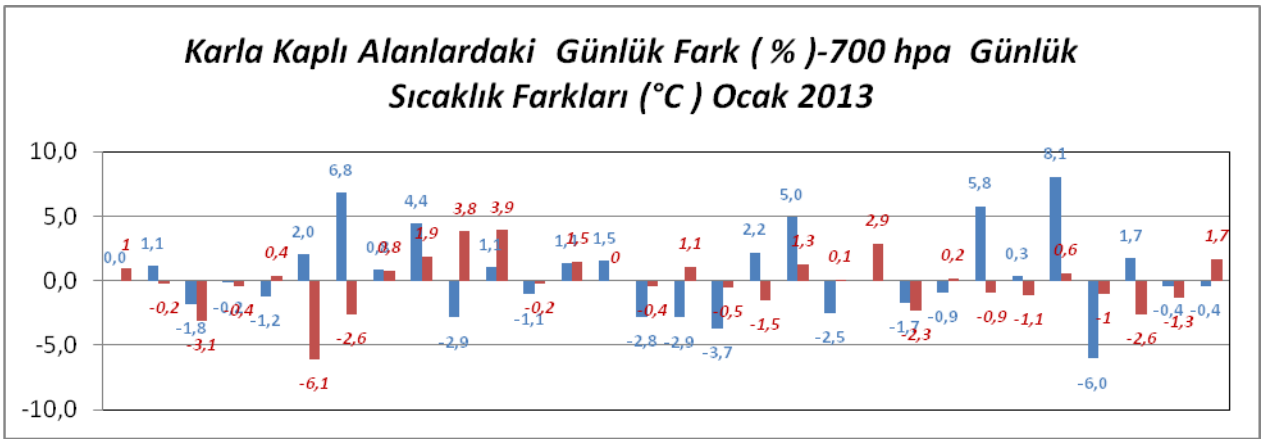


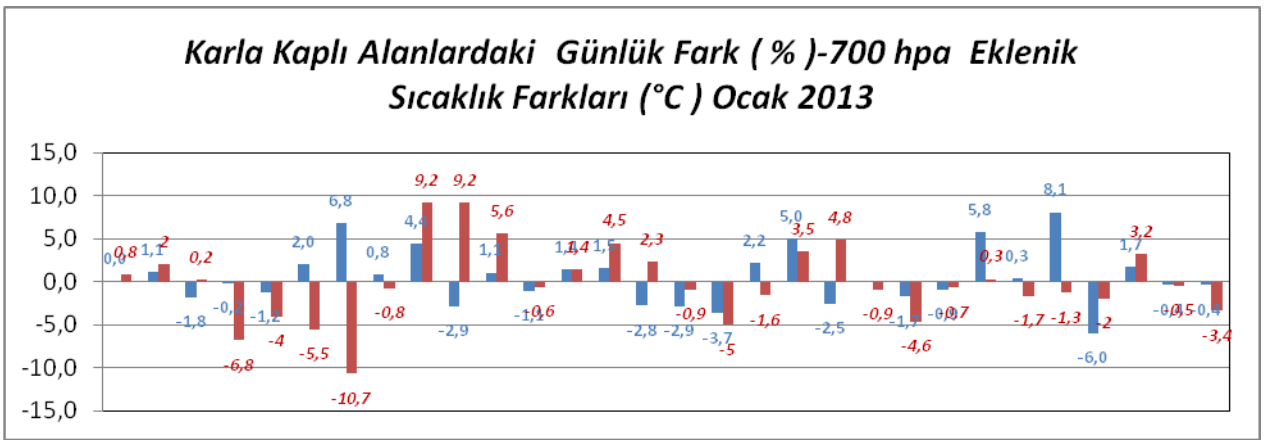

850 Hpa Sıcaklıkları (°C) Ocak 2013
10
5
0
-5
-10
2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
4,2 4 0,9 0,5 0,9 -5,2 -7,8 -7 -5,1 2,6 2,4 3,9 3,9 3,5 4,6 4,1 2,6 3,9 4 6,9 4,6 4,8 3,9 2,8 3,4 2,4 -0,2 0,2


850 hpa Günlük Sıcaklık Farkları ve Eklenik Farkları (°C) Ocak 2013
10
5
0
-5
-10

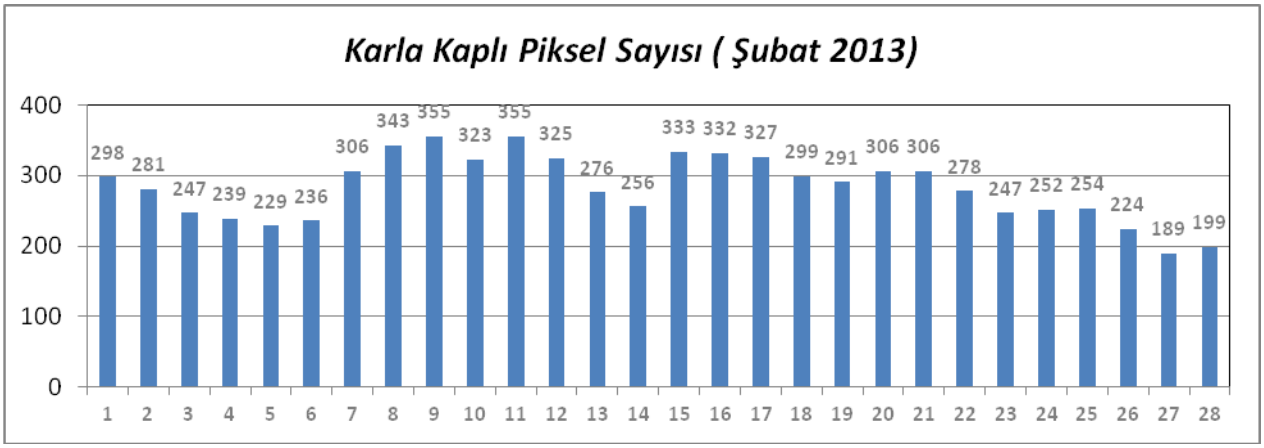

Karla Kaplı Alanlardaki Günlük Fark (%)-850 hpa Günlük Sıcaklık Farkları (°C) Ocak 2013
10,0
5,0
0,0
-5,0
-10,0

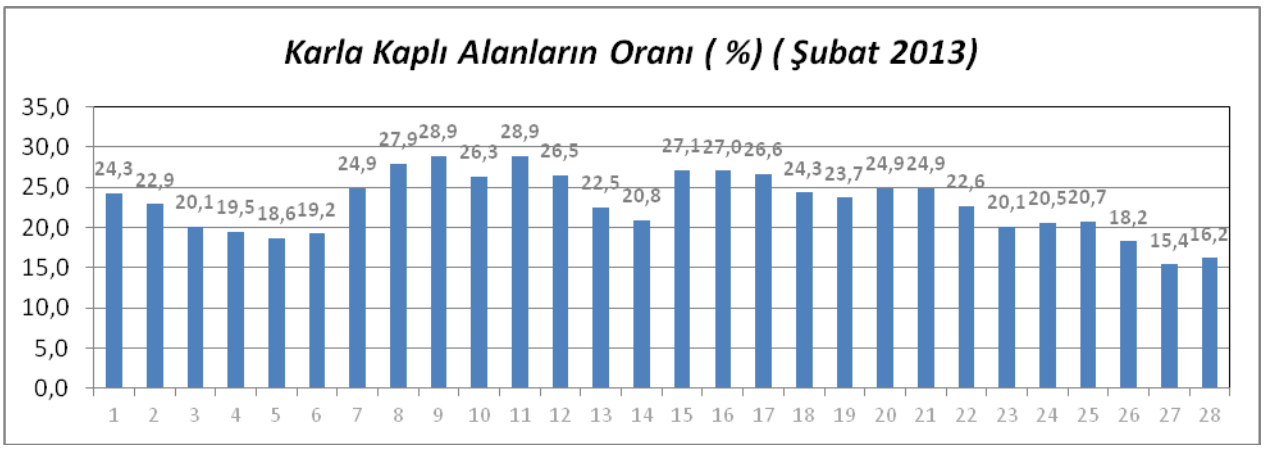


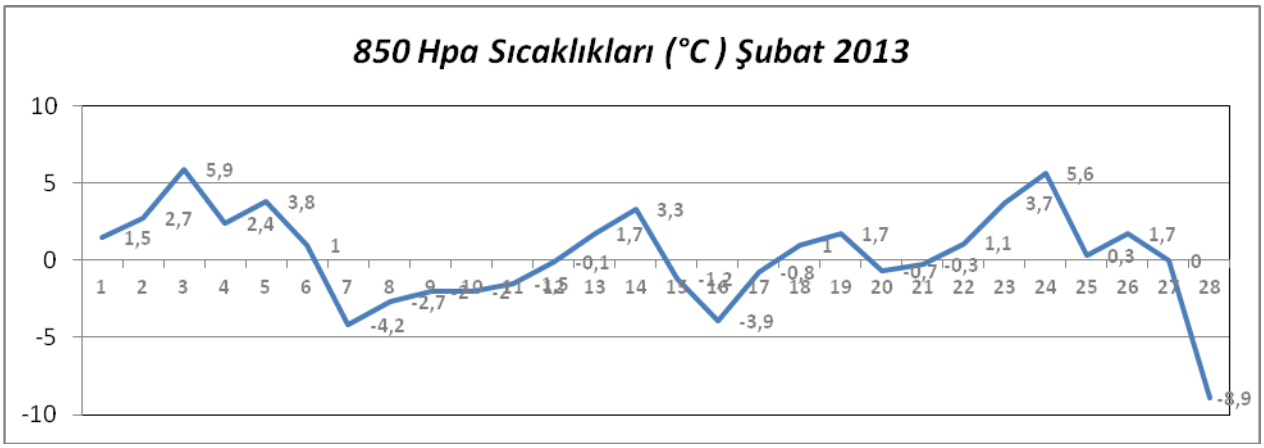


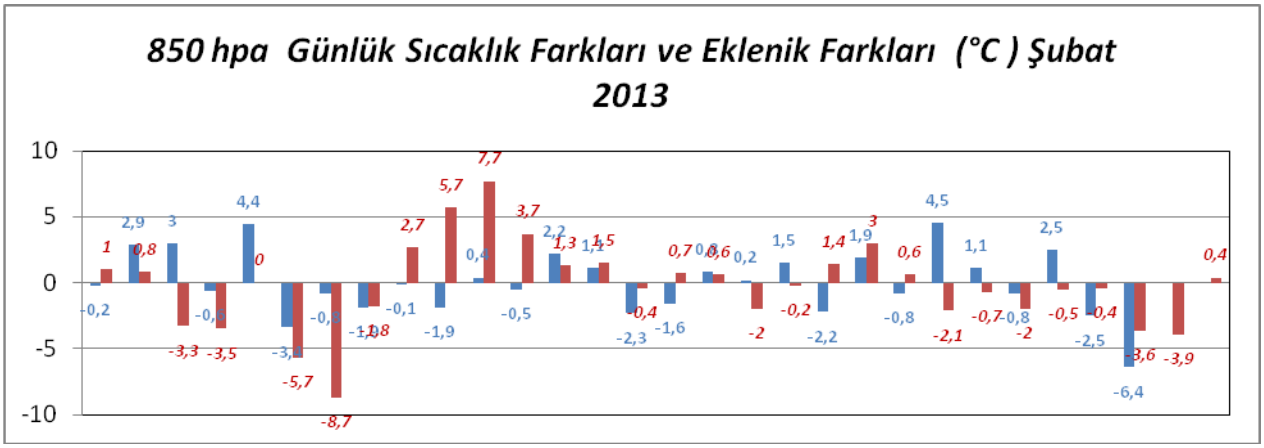


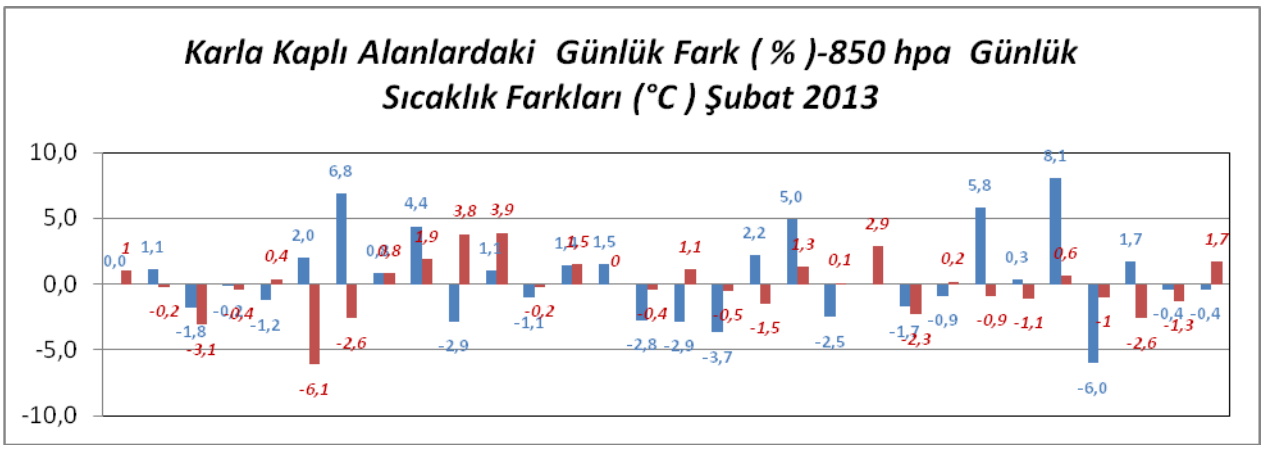
2-Şubat 2013 Günlük Grafikleri

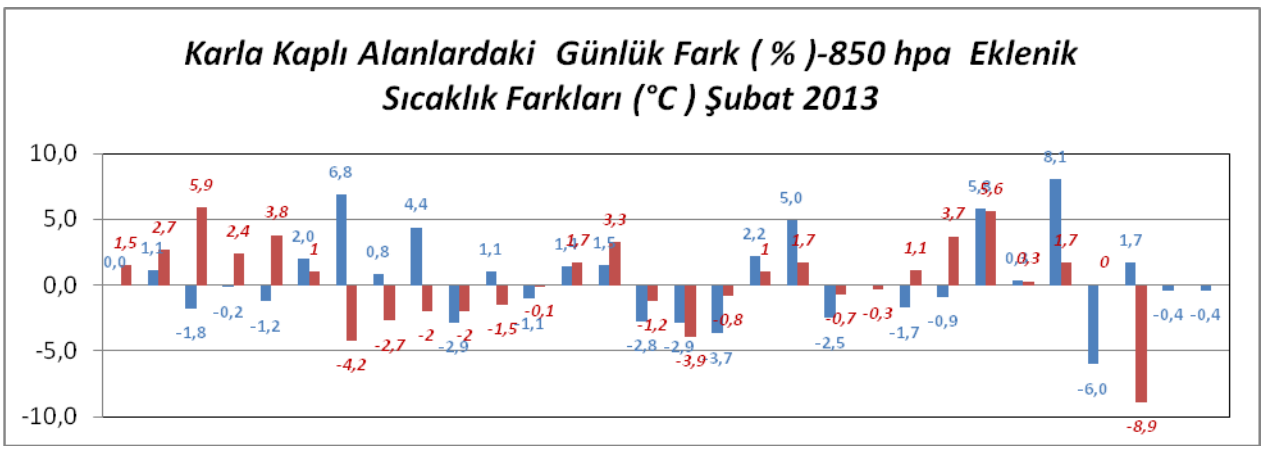

Karla Kaplı Piksel Sayısı (Şubat 2013)
400
300
200
100
0
298 281 247 239 229 236 306 343 355 323 355 325 276 256 333 332 327 299 291 306 306 278 247 252 254 224 189 199
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28

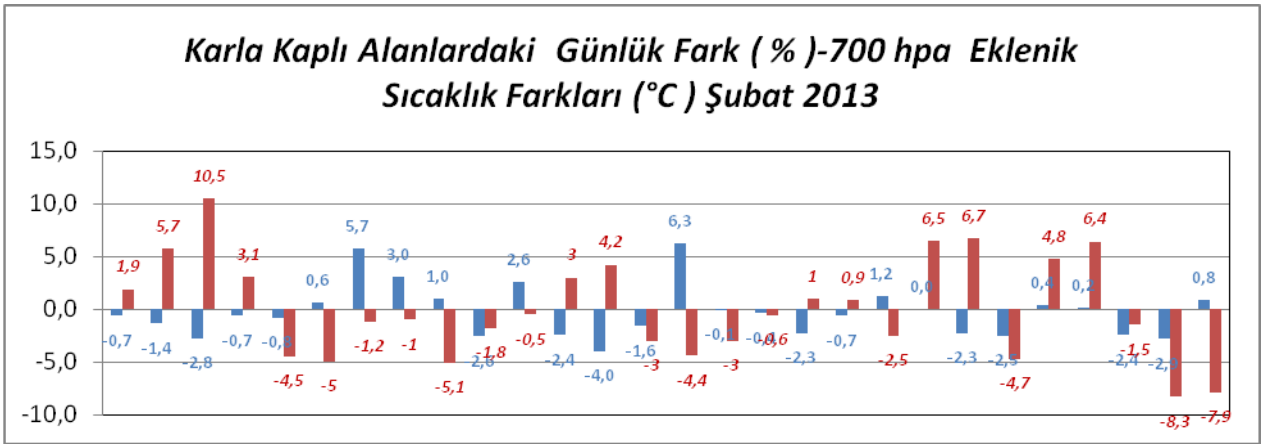

Karla Kaplı Alanların Oranı (%) (Şubat 2013)
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
24,3 22,9 20,1 19,5 18,6 19,2 24,9 27,9 28,9 26,3 28,9 26,5 22,5 20,8 27,1 27,0 26,6 24,3 23,7 24,9 24,9 22,6 20,1 20,5 20,7 18,2 15,4 16,2
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28


850 Hpa Sıcaklıkları (°C) Şubat 2013
10
5
0
-5
-10
1,5 2,7 5,9 2,4 3,8 1 -4,2 -2,7 -2 -2 -1,5 -0,1 1,7 3,3 -1,2 -3,9 -0,8 1 1,7 -0,7 -0,3 1,1 3,7 5,6 0,3 1,7 0 -8,9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28

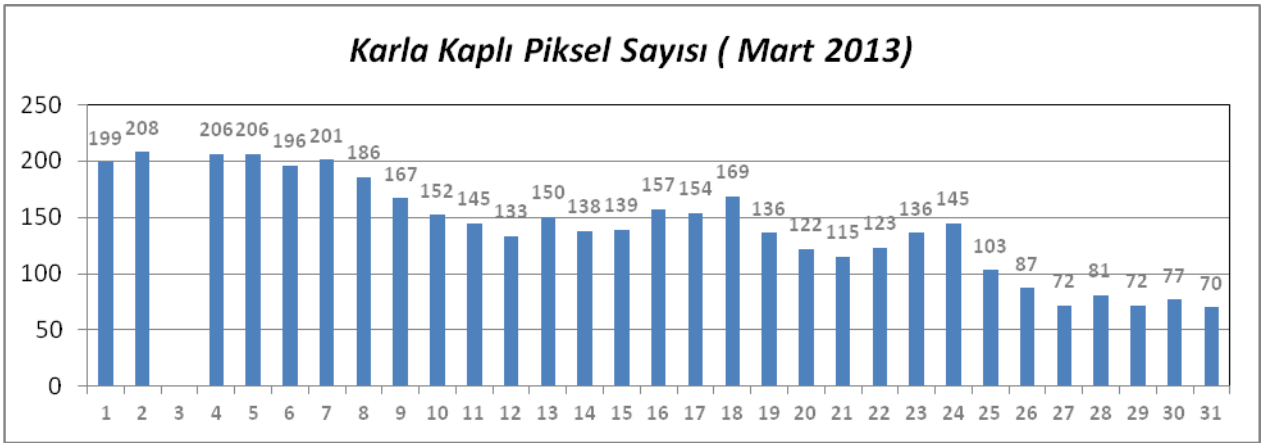

850 hpa Günlük Sıcaklık Farkları ve Eklenik Farkları (°C) Şubat 2013
10
5
0
-5
-10

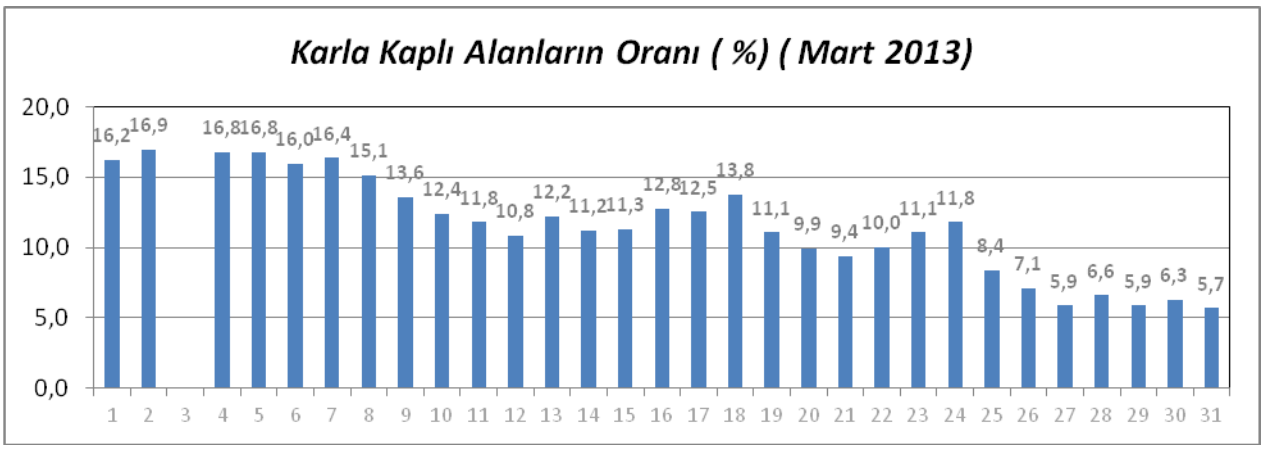

Karla Kaplı Alanlardaki Günlük Fark (%)-850 hpa Günlük Sıcaklık Farkları (°C) Şubat 2013
10,0
5,0
0,0
-5,0
-10,0

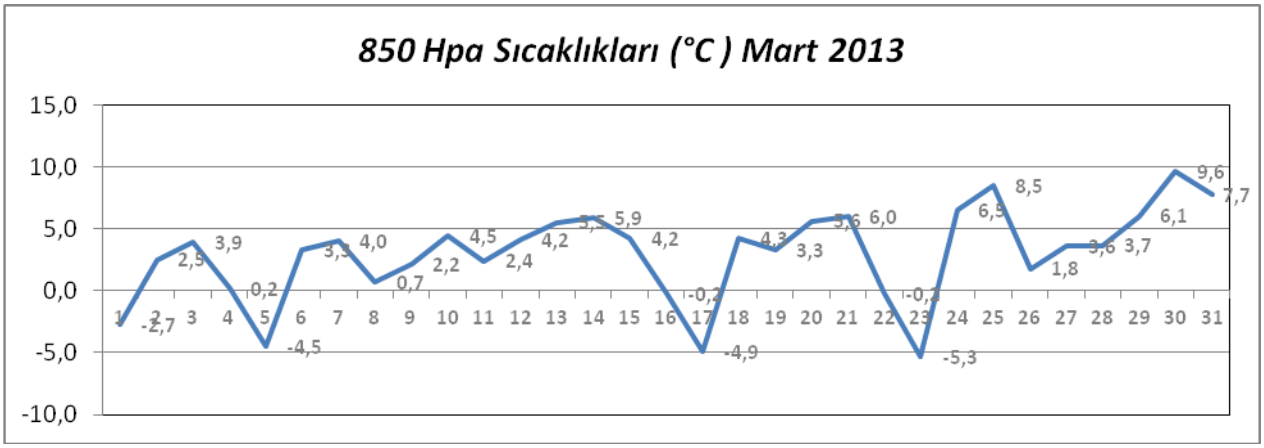

Karla Kaplı Alanlardaki Günlük Fark (%)-850 hpa Eklenik Sıcaklık Farkları (°C) Şubat 2013
10,0
5,0
0,0
-5,0
-10,0

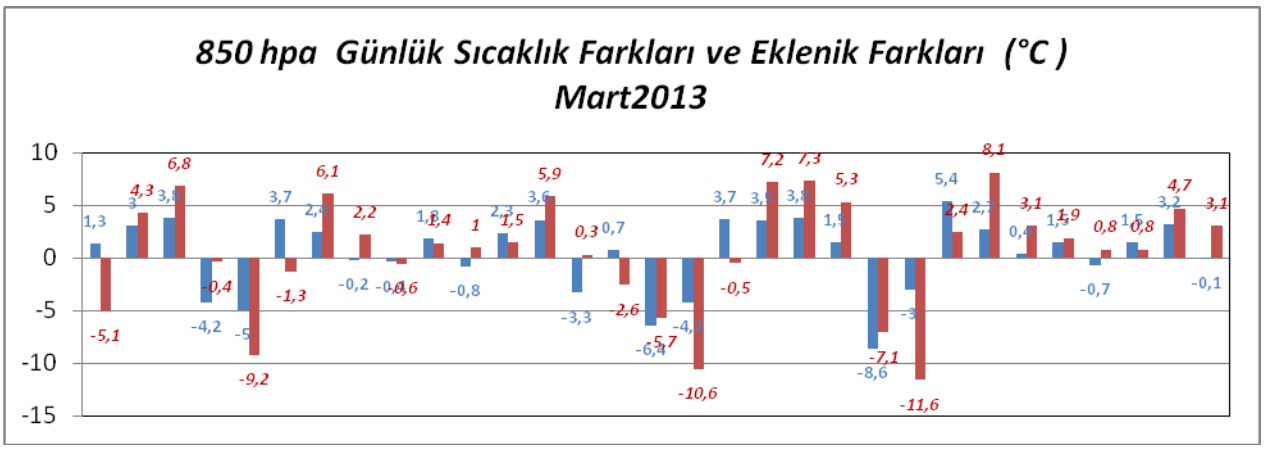


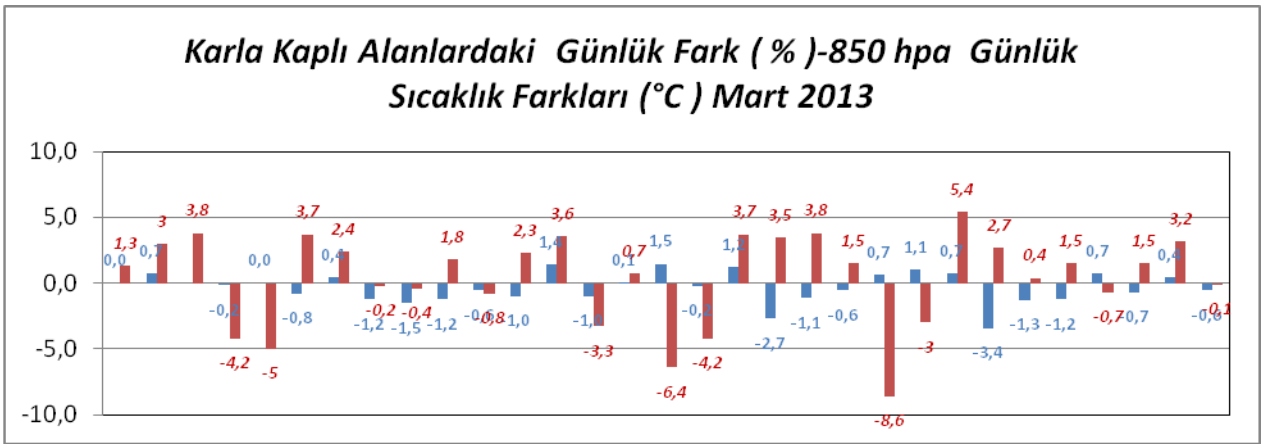
3-Mart 2013 Günlük Grafikleri

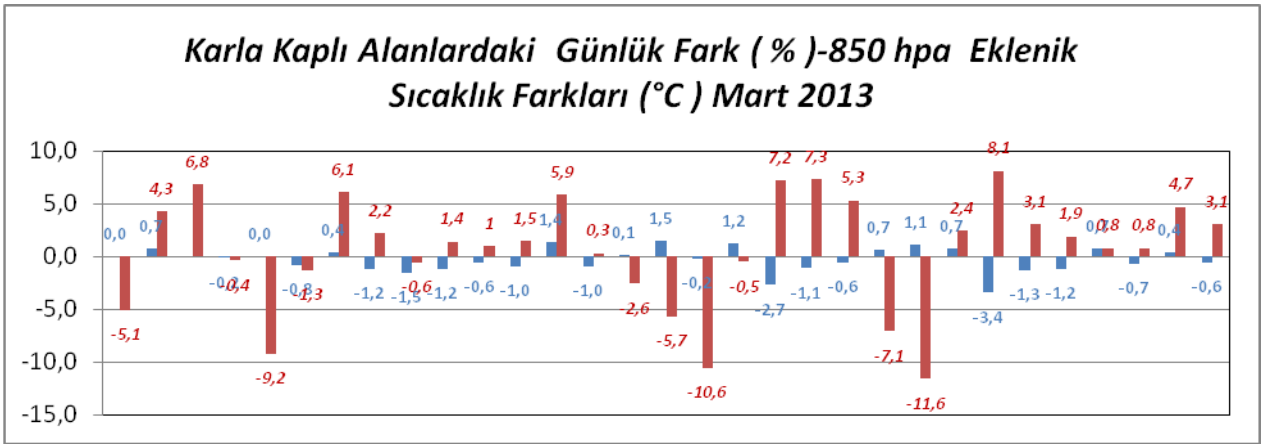


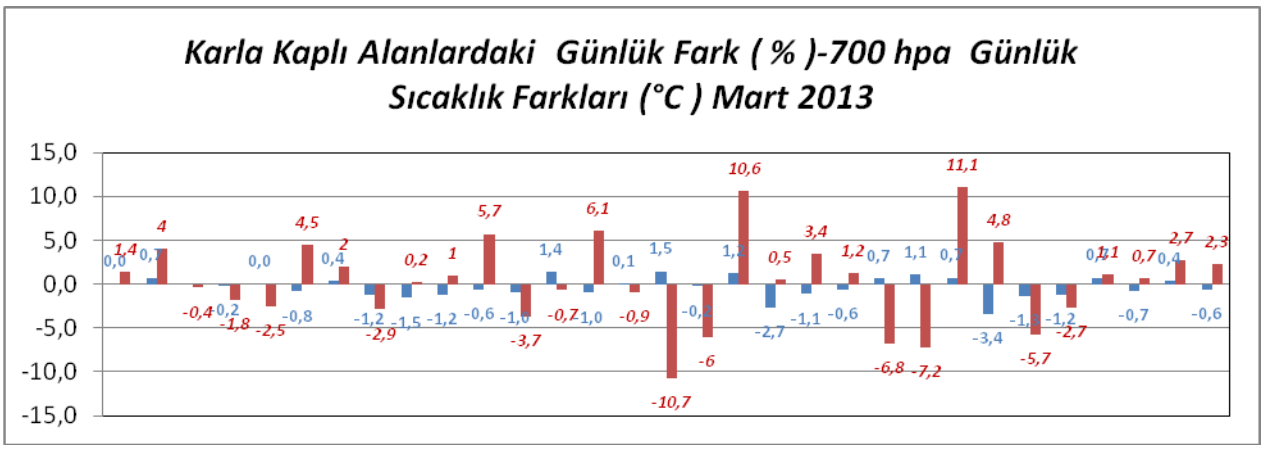


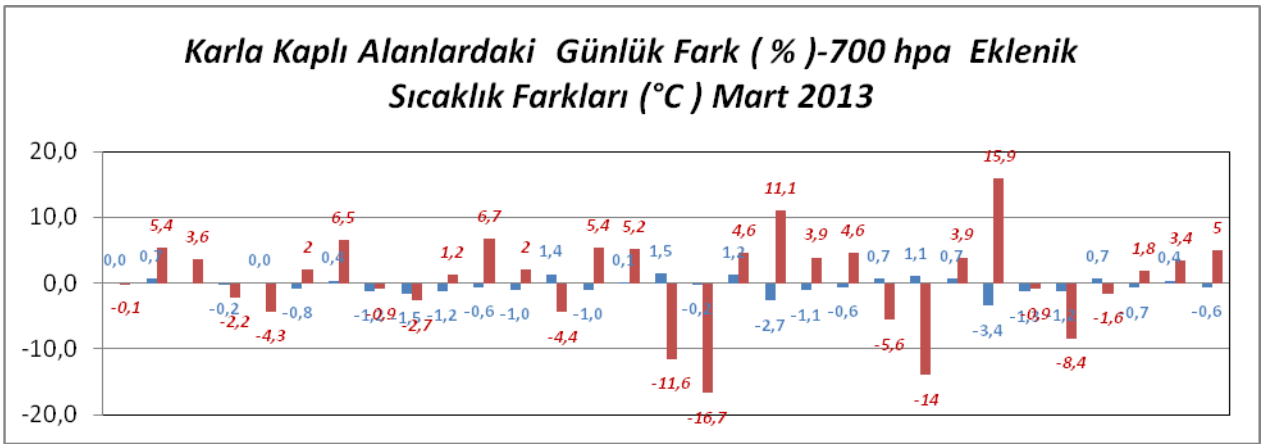

850 Hpa Sıcaklıkları (°C) Mart 2013
15,0
10,0
5,0
0,0
-5,0
-10,0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31


850 hpa Günlük Sıcaklık Farkları ve Eklenik Farkları (°C)
Mart2013
10
5
0
-5
-10
-15

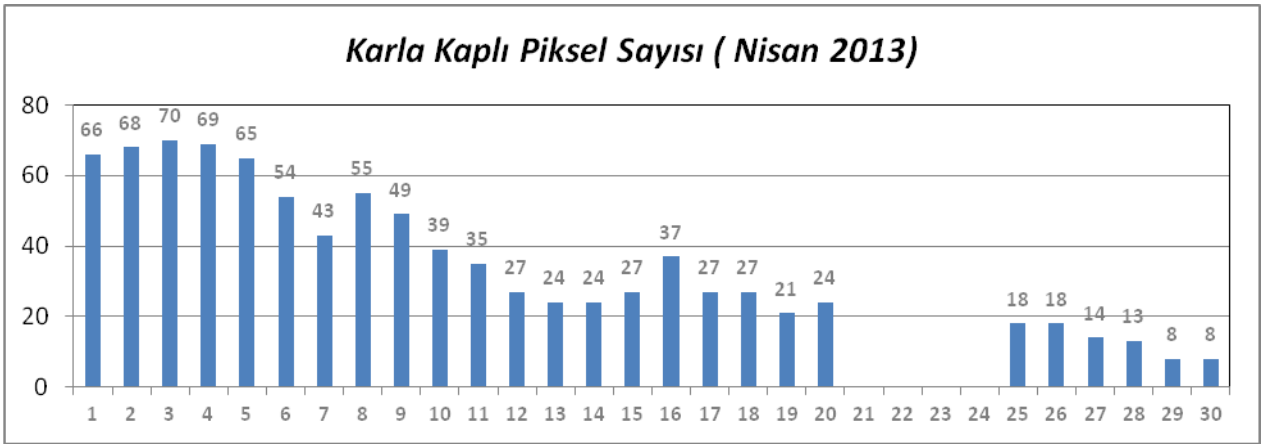

Karla Kaplı Alanlardaki Günlük Fark (%)-850 hpa Günlük
Sıcaklık Farkları (°C) Mart 2013
10,0
5,0
0,0
-5,0
-10,0

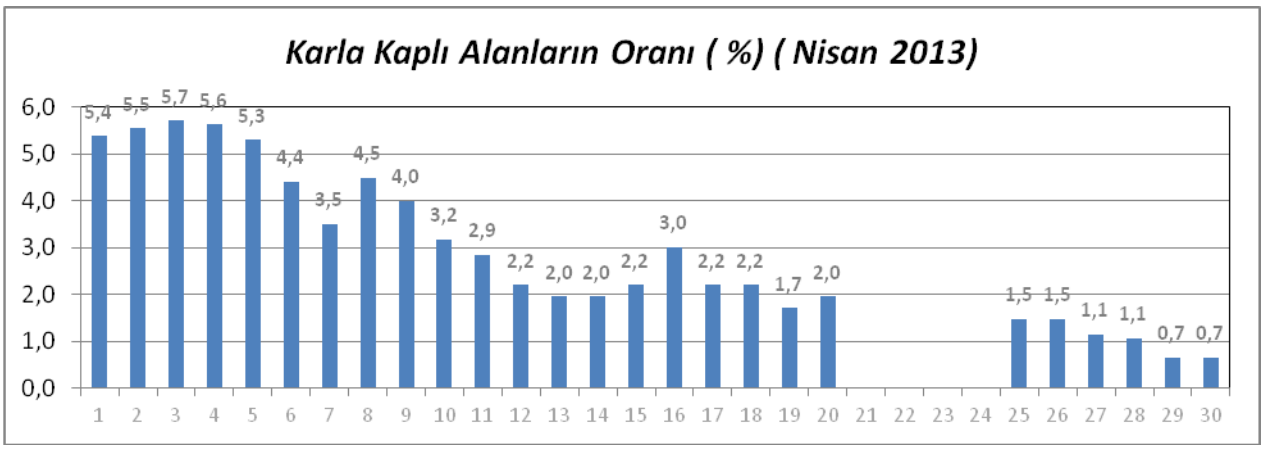


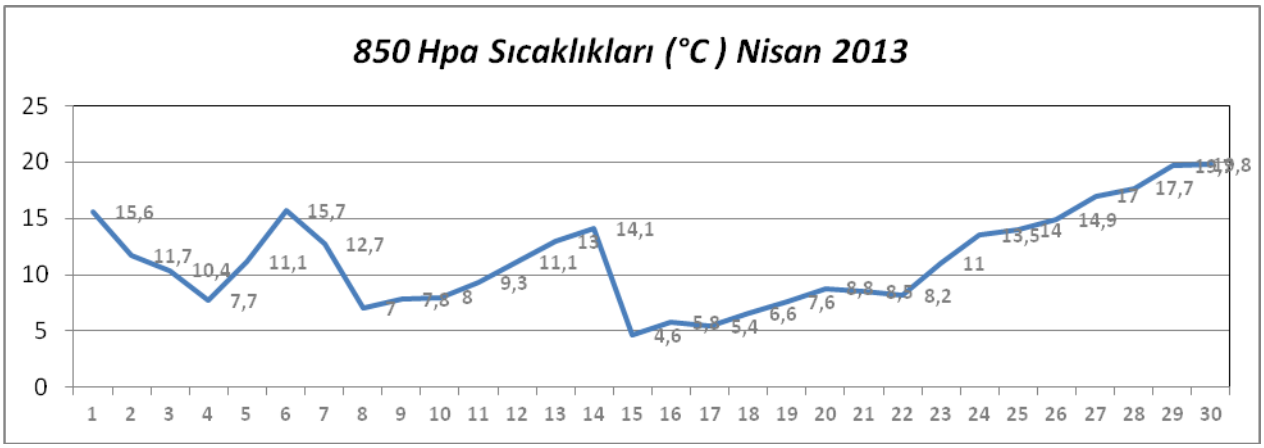


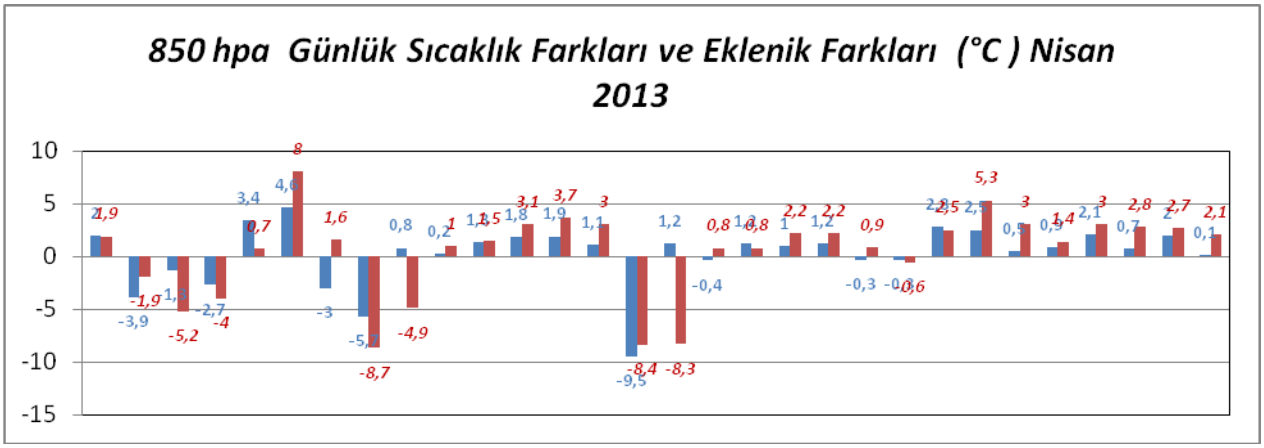


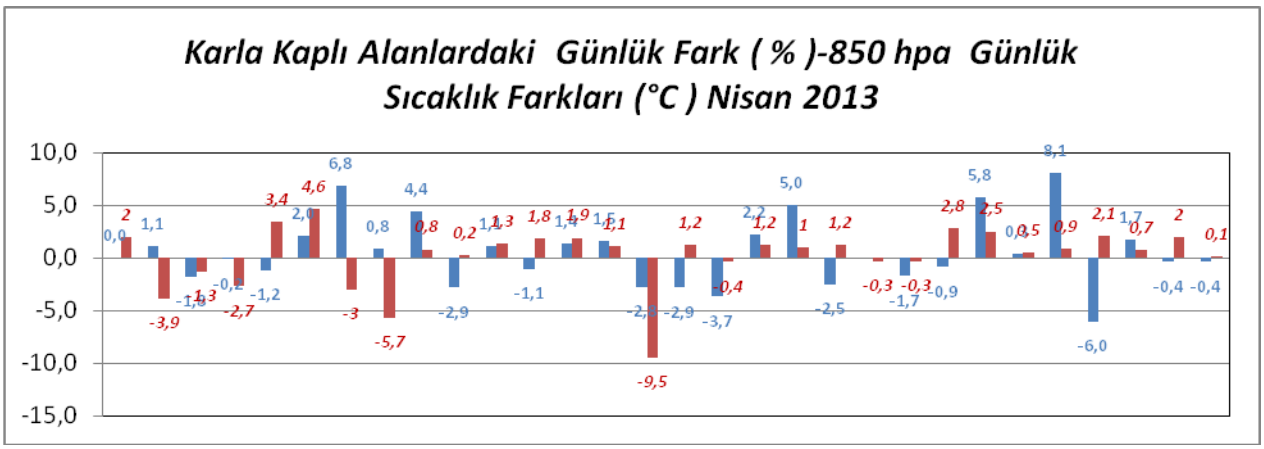
4-Nisan 2013 Günlük Grafikleri

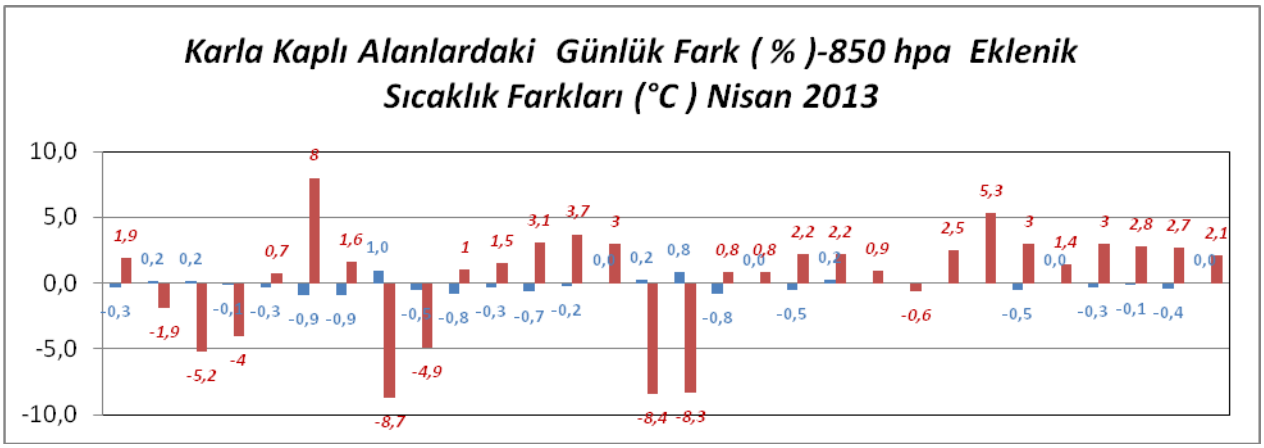

Karla Kaplı Piksel Sayısı (Nisan 2013)
80
60
40
20
0
66 68 70 69 65 54 43 55 49 39 35 27 24 24 27 37 27 27 21 24 18 18 14 13 8 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

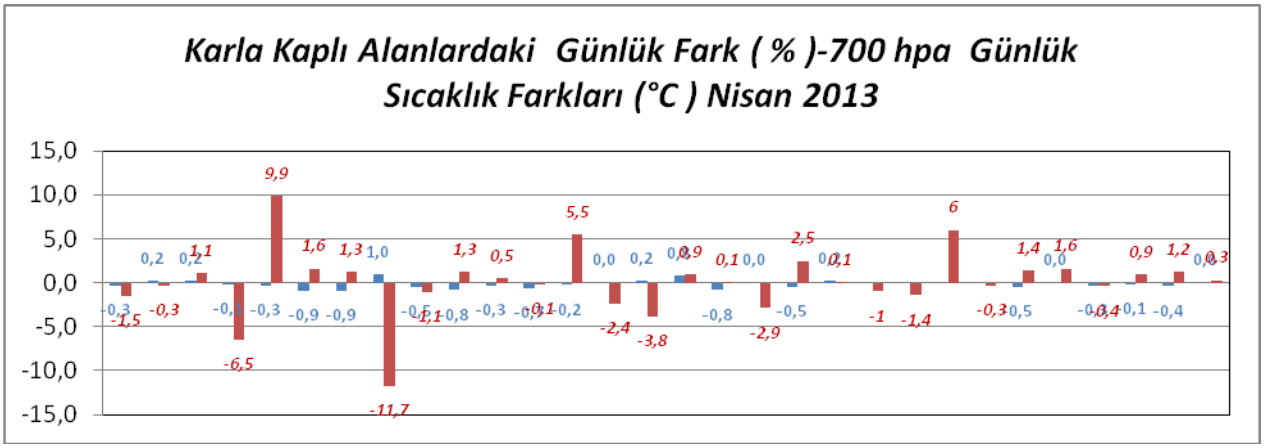

Karla Kaplı Alanların Oranı (%) (Nisan 2013)
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
5,4 5,5 5,7 5,6 5,3 4,4 3,5 4,5 4,0 3,2 2,9 2,2 2,0 2,0 2,2 3,0 2,2 2,2 1,7 2,0 1,5 1,5 1,1 1,1 0,7 0,7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

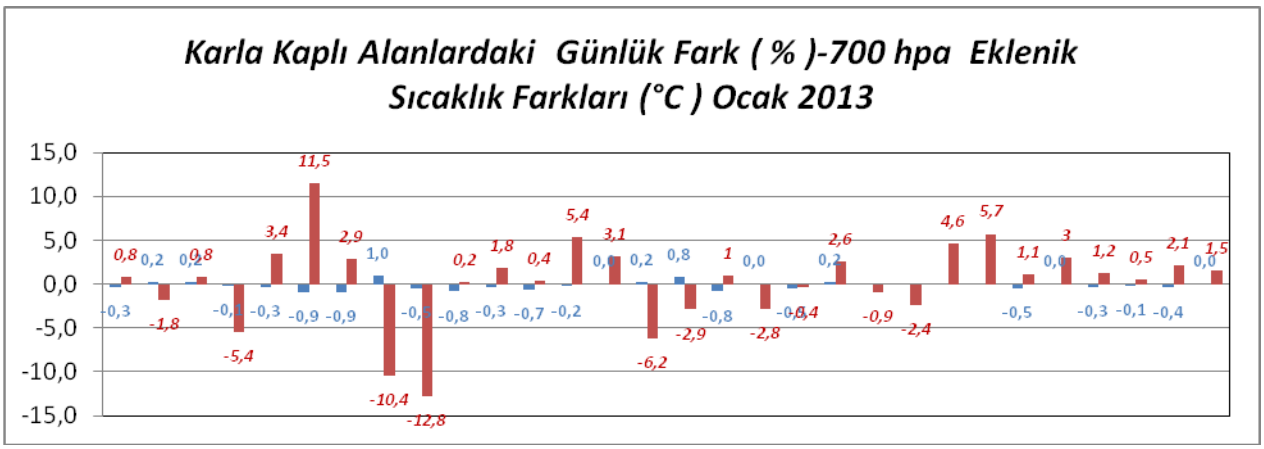

850 Hpa Sıcaklıkları (°C) Nisan 2013
25
20
15
10
5
0
15,6 11,7 10,4 7,7 11,1 15,7 12,7 7 7,8 8 9,3 11,1 13 14,1 4,6 5,8 5,4 6,6 7,6 8,8 8,5 8,2 11 13,5 14 14,9 17 17,7 19,8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30


850 hpa Günlük Sıcaklık Farkları ve Eklenik Farkları (°C) Nisan 2013
10
5
0
-5
-10
-15

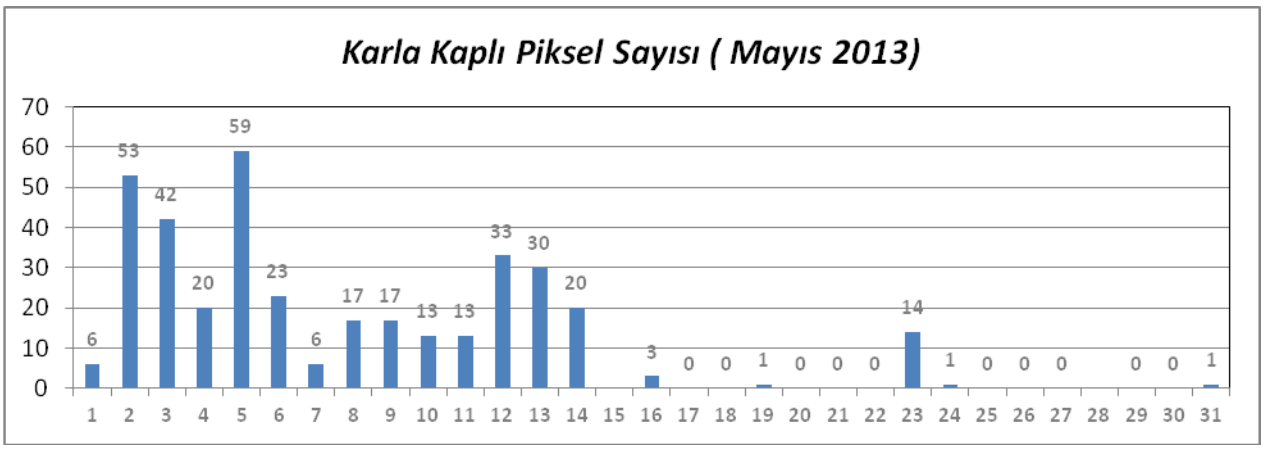

Karla Kaplı Alanlardaki Günlük Fark (%)-850 hpa Günlük Sıcaklık Farkları (°C) Nisan 2013
10,0
5,0
0,0
-5,0
-10,0
-15,0

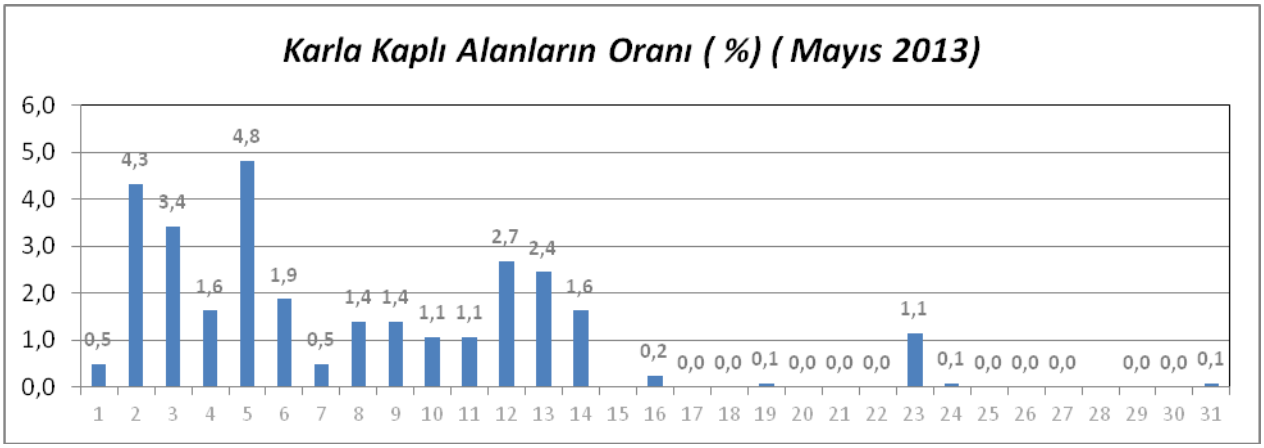

Karla Kaplı Alanlardaki Günlük Fark (%)-850 hpa Eklenik Sıcaklık Farkları (°C) Nisan 2013
10,0
5,0
0,0
-5,0
-10,0

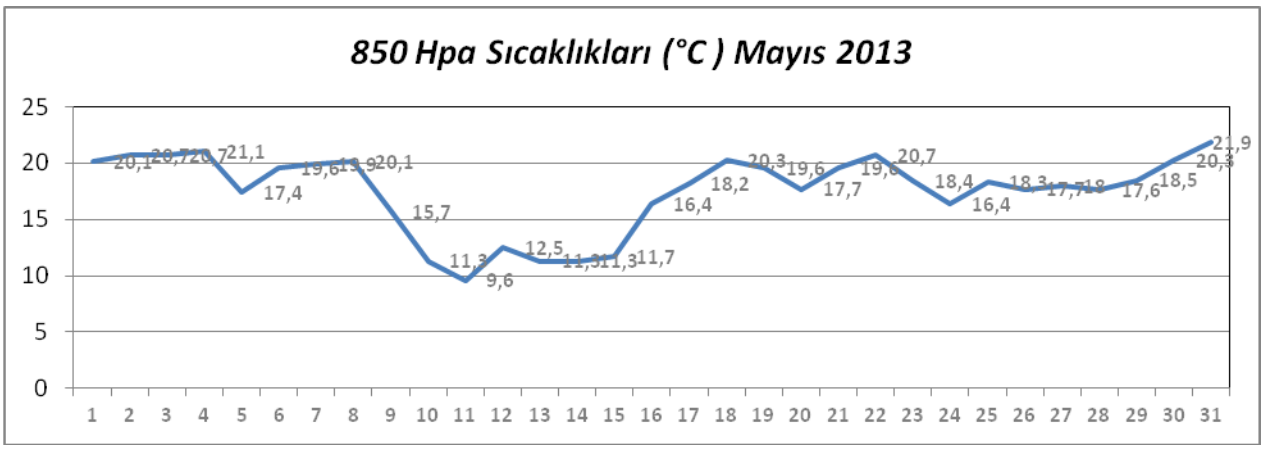


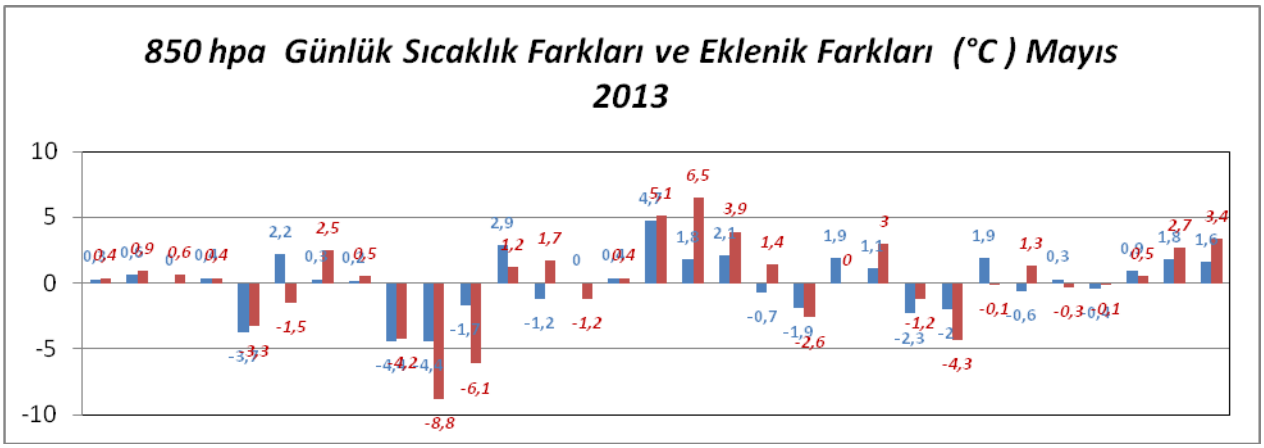


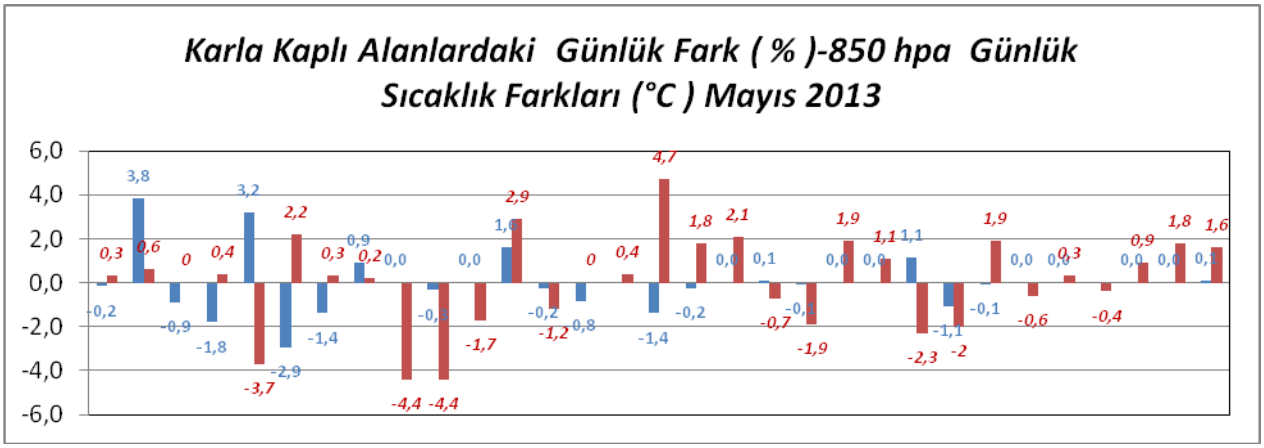
5-Mayıs 2013 Günlük Grafikleri

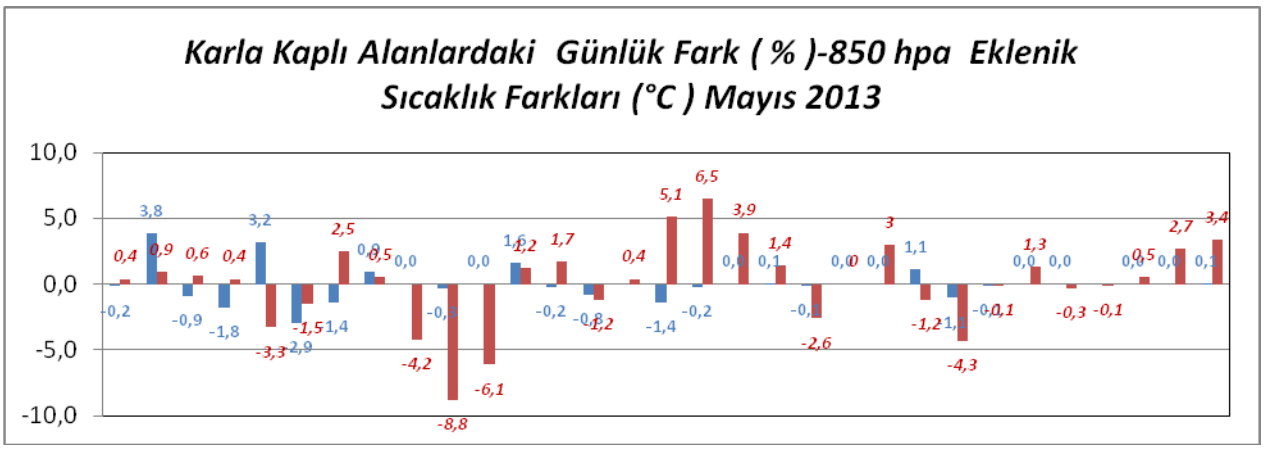


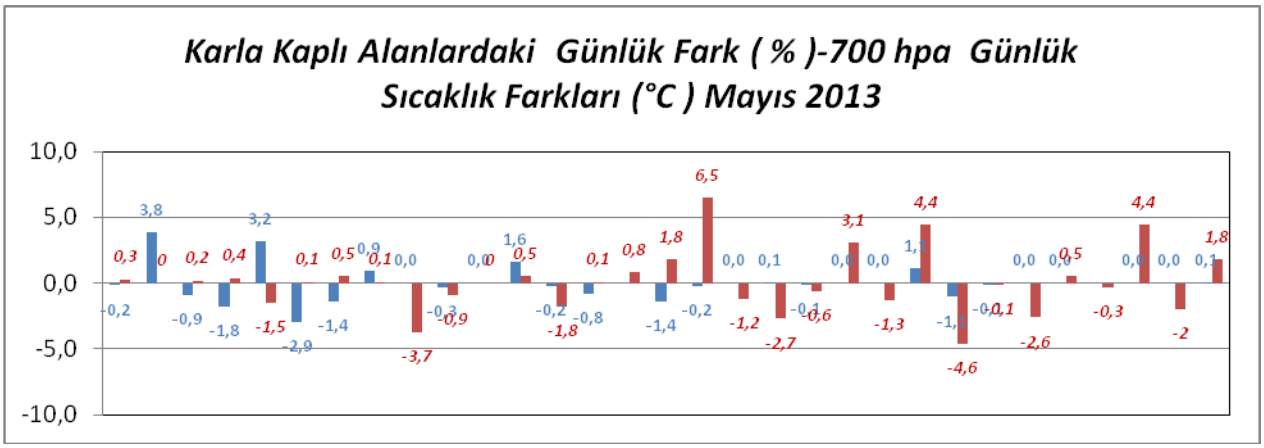

Karla Kaplı Alanların Oranı (%) (Mayıs 2013)
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
0,5 4,3 3,4 1,6 4,8 1,9 0,5 1,4 1,4 1,1 1,1 2,7 2,4 1,6 0,2 0,0 0,0 0,1 0,0 0,0 0,0 1,1 0,1 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,1
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

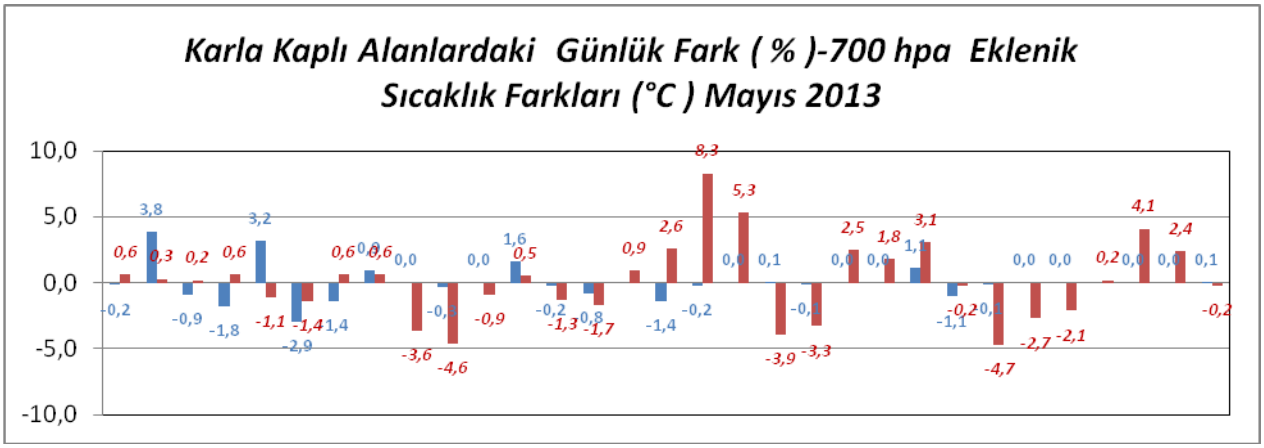

850 Hpa Sıcaklıkları (°C) Mayıs 2013
25
20
15
10
5
0
20,1 20,7 21,1 17,4 19,6 20,1 15,7 11,3 9,6 12,5 11,3 11,7 16,4 18,2 20,3 19,6 17,7 19,6 20,7 18,4 16,4 18,3 17,6 18,5 21,9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31


850 hpa Günlük Sıcaklık Farkları ve Eklenik Farkları (°C) Mayıs 2013
10
5
0
-5
-10
2,2 2,5 -1,5 -3,3 -4,2 -8,8 -6,1 2,9 1,2 1,7 -1,2 -1,2 4,7 5,1 6,5 3,9 1,4 -0,7 -1,9 -2,6 1,9 0 1,1 3 -2,3 -1,2 -2 -4,3 1,9 -0,1 -0,6 1,3 0,3 -0,3 -0,1 0,5 1,8 2,7 1,6 3,4


Karla Kaplı Alanlardaki Günlük Fark (%)-850 hpa Günlük Sıcaklık Farkları (°C) Mayıs 2013
6,0
4,0
2,0
0,0
-2,0
-4,0
-6,0


Karla Kaplı Alanlardaki Günlük Fark (%)-850 hpa Eklenik Sıcaklık Farkları (°C) Mayıs 2013
10,0
5,0
0,0
-5,0
-10,0


Karla Kaplı Alanlardaki Günlük Fark (%)-700 hpa Günlük Sıcaklık Farkları (°C) Mayıs 2013
10,0
5,0
0,0
-5,0
-10,0


Karla Kaplı Alanlardaki Günlük Fark (%)-700 hpa Eklenik Sıcaklık Farkları (°C) Mayıs 2013
10,0
5,0
0,0
-5,0
-10,0

Türkiye İçin Kar Örtüsü Trend Analizinin IMS (Interaktif Çok Sensörlü Kar ve Buz Haritalama Sistemi) Verisi ile Yapılması

İbrahim SÖNMEZ [1], Ahmet Emre TEKELİ[2], Erdem ERDİ [3]
[1]Yrd. Doç. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 55420, Samsun, isonmez@omu.edu.tr
[2]Yrd. Doç. Dr., King Saud University, Civil Engineering Department, Riyadh, 11421, atekeli@ksu.edu.sa
[3] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Uzaktan Algılama Şubesi, 06120, Ankara, eerdi@mgm.gov.tr

ÖZET

Kar örtüsü, hidroloji, iklim, çevre ve hatta turizm gibi birçok alanda önemli yere sahip bir parametre olup, zamansal ve mekansal olarak değişiminin doğru olarak tespiti bu alanlardaki çalışmalar için önem arz etmektedir. Yer gözlem istasyonları ile yapılan kar örtüsü gözlemleri hem mekansal olarak çok seyrektirler hem de daha çok düşük rakımlarda bulunmaktadırlar. Uydu tabanlı kar örtüsü ürünlerinin ise bu kısıtlamalardan bağımsızdırlar. Bu çalışmada NOAA/NESDIS tarafından üretilen ve 2004-2012 zaman aralığındaki IMS ürünü kullanılmıştır. Türkiye coğrafi 7 alt bölge olarak incelenmiş ve 7 alt bölgedeki tüm periyot için ve ayrıca mevsimsel olarak kar değişim trendinin tespiti için parametrik olmayan Mann-Kendal testi uygulanmıştır. Türkiye için tüm periyotta kar örtüsü yüzdesinde α=0,05 önem seviyesine sahip negatif trend gözlemlenmiştir.
Anahtar kelimeler: IMS, kar örtüsü, uydu, trend analizi, Turkiye, Menn-Kendal testi..

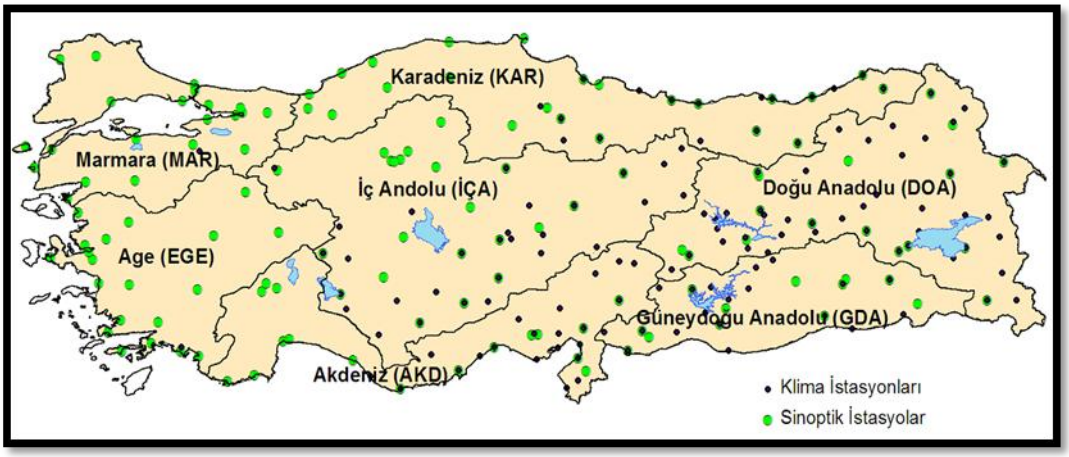
ABSTRACT

SATELLITE BASED SNOW COVER MONITORING OVER TURKIYE AND LONG TERM TREND ANALYSIS

Monitoring the spatial and temporal change of snow cover information which is a key parameter in many studies ranging from hydrology to climate, environment to tourism is very important. The daily snow cover data from Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) by National Oceanic and Atmospheric Administration's National Environmental Satellite Data and Information Service (NOAA/NESDIS) covering the 2004-2012 time period is used in this study for whole Turkey and with respect to geographical sub-regions. The non-parametric Mann-Kendal test is performed to analyze the snow cover trend over Turkey with respect to sub-regions considering the whole year and each season separately. A negative trend in snow-covered area percentage is obtained for Turkey at the significance level of α=0.05. From the seasonal perspective for Turkey, negative trend for spring and summer seasons, positive trend for autumn season and combination of negative and no trend for winter season are obtained at the same significance level. Almost the same results are valid for the sub-regions with some local and seasonal variations.
Keywords: IMS, snow cover, satellite, trend analysis, Turkey, Mann-Kendal.

1. GİRİŞ

Kuzey yarım kürede Ocak ayında 46.5 milyon kilometre kare olan ve Ağustos ayında ise 3.8 milyon kilometre kareye düşen kar örtüsü (Robinson vd. 1993), deniz buzundan sonra yer yüzünde en çok değişkenlik gösteren (Papa vd., 2002) yer yüzü örtüsü olma özelliğine sahiptir. Kar örtüsünün bu derece değişkenlik göstermesi ile enerji akılarındaki büyük etkisi göz önüne alınınca, karla kaplı alanların takibinin önemi kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Rees (2006) ve Mognard (2003), kış aylarında 46 milyon kilometre kareyi bulan kar örtüsünün mevcut yer gözlem ağları ile ölçülme yetersizliğinden bahsetmektedirler.



Şekil 1: Yer istasyonlarının yurt çapında ve bölgelere göre dağılımı.

Yüksek zamansal ve mekansal çözünürlüğe sahip uyduların kullanımı, kar örtüsünün izlenmesi konusunda büyük bir yenilik yapmıştır (Wang ve Xie, 2007). Elektomagnetik spekturumun kısa dalga boyunda (0.4-0.7μm) yüksek yansıma değerine sahip olan kar örtüsü diğer yeryüzü örtülerinden ayırt edilebilmektedir. Bu özelliğinden dolayı 1960'lardan beri karla kaplı alanların tespitinde başarılı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar arasında görsel analizler, basit bant oranları, çoklu eşik kriterleri ve tam otomatik sistemler gösterilmektedir (Robinson 1993; Hall vd. 1995, Crane ve Anderson 1984; Dozier 1989; Gessel 1989; Romanov vd. 2000; Hall vd. 2002; Simic vd. 2004; Tekeli vd. 2005).

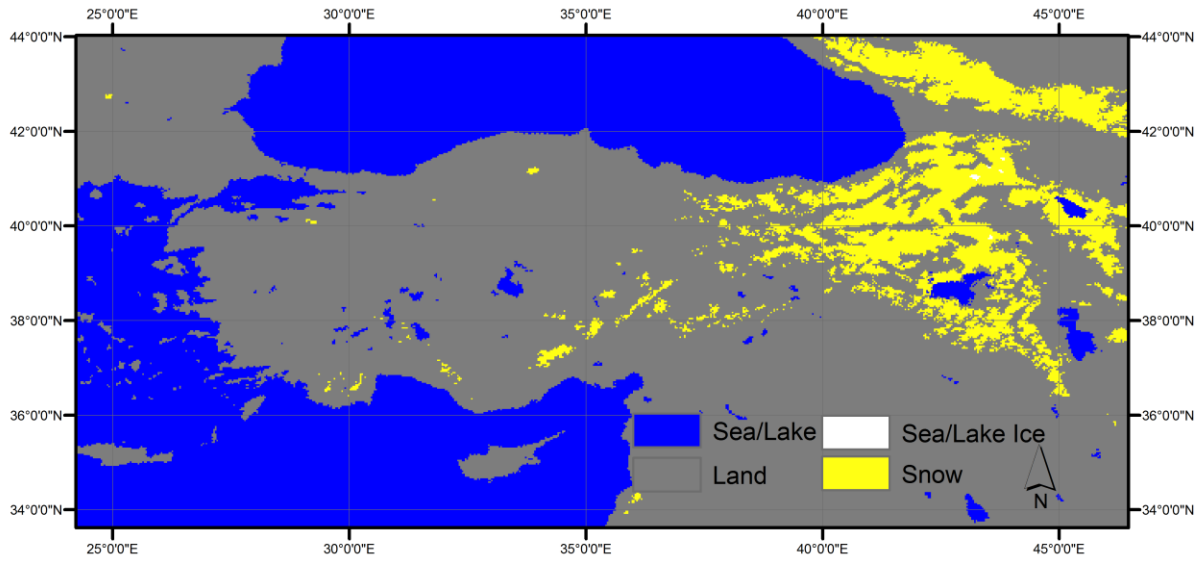
Bu çalışmada ise, Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) günlük kuzey yarım küre kar ve buz analiz veri seti kullanılarak Türkiye için karla kaplı alanlardaki değişim incelenmiştir. 2008-2011 yılları arasındaki IMS verileri kullanılarak elde edilen günlük karla kaplı alan yüzdeleri kullanılarak trend analizi için Mann-Kendall testi kullanılmıştır. Analiz sonuçları, aynı çalışma periyodu için mevsimler bazında da sunulmuştur. Çalışmanın ikinci kısmında ise, aynı çalışma Türkiye'nin coğrafi bölgeleri için tekrarlanmış ve bölgesel karla kaplı alan yüzdelerine ait trend analizleri mevsimsel olarak incelenmiştir.

2. IMS VERİ SETİ

National Oceanic and Atmospheric Administration's (NOAA)'ya bağlı olarak çalışan National Environmental Satellite Data and Information Service (NESDIS) tarafından 1966 yılının kasım ayından itibaren haftalık olarak sağlanan karla kaplı alan haritaları, uzay tabanlı elden edilen en uzun veri seti olarak bilinmektedir (Ramsay,1998). 1995 yılından itibaren NOAA, karla kaplı alan haritalarının günlük olarak elde edilmesine imkan verecek IMS sistemini geliştirmeye başladı (NSIDC, 2009).

IMS günlük karla kaplı alan haritalarının elde edilmesi için çeşitli uydu verileri kullanılmaktadır. Temel olarak optik bantta, kutupsal yörüngeli uydularda bulunan Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) ve Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) enstrümanları yanında sabit yörüngeli Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES), Geostationary Meteorological Satellites (GMS) ve Meteosat uyduları kullanılmaktadır. Optik uydulara nazaran düşük yersel çözünürlüklerine rağmen, gece ve bulutlu şartlarda görüntü alabilme imkanına sahip pasif mikro dalga aralığında çalışan Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) and

Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) uydularından da yararlanılmaktadır. Bunlara ek olarak da United States



Şekil 2. 30 Nisan 2007 gününe ait Türkiye için kesilmiş IMS verisi.

3. TREND ANALİZİ

a. Karla Kaplı Yüzdelerin Hesaplanması

IMS verilerine ait trend analizinin ilk aşaması olarak günlük karla kaplı yüzdeler (KKY) hesaplanmıştır. Gerek Türkiye gerekse bölgesel olarak KKY değerleri hesaplanırken öncelikle ilgili coğrafi alan içerisindeki IMS pikselleri tespit edilmiştir. İkinci aşama olarak bu piksellere ait veri sınıflarından(Çizelge 1) 'kar' olanlar dikkate alınarak KKY değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$KKY = \frac{Kar\ \ kaplı\ \ toplam\ \ piksel\ sayısı}{Toplam\ piksel\ sayısı} * 100 \qquad (1)$$

b. Mann-Kendall Trend Testi

Klasik parametrik testlerdeki normalite, lineerlik ve bağımsızlık gibi temel varsayımlar genellikle birçok veri seti tarafından sağlanmamaktadır. Dolayısıyla bazı çalışmalarda Sen'in T testi, Spearman'ın Rho testi gibi parametrik olmayan testler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer bir parametrik olmayan test olan Mann-Kendall testi birçok trend analizi çalışmalarında kullanılmıştır(Kadıoğlu,1997; Zhang ve ark. 2001, Burn ve Elnur 2002) .

Mann Kendall testi, verilerin belirli bir dağılıma uyması zorunluluğu aramadığı için özellikle kullanışlıdır. Bu testte,x_1, …x_n şeklinde sıralanmış gözlemler H_0 hipotezine göre zamandan bağımsız (trend içermeyen) rastgele değişkenlerdir. Alternatifi olan H_1 hipotezine göre ise, seri lineer bir trend içermektedir. Mann-Kendall test istatistiği olan S aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \mathrm{sgn}\left(x_j - x_k\right) \qquad (2)$$

$$\operatorname{sgn}\left(x_j - x_k\right) = \begin{cases} +1 \, eğğe \, (xj - xk) \succ 0 \\ +0 \, eğğe \, (xj - xk) = 0 \\ -1 \, eğğe \, (xj - xk) \prec 0 \end{cases} \tag{3}$$

Standart normal dağılım özelliğine sahip *z* istatistik değeri ise *S* değeri kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} \; eğğe \; S \succ 0 \\ 0 \qquad eğer \; S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} \; eğğe \; S \prec 0 \end{cases} \tag{4}$$

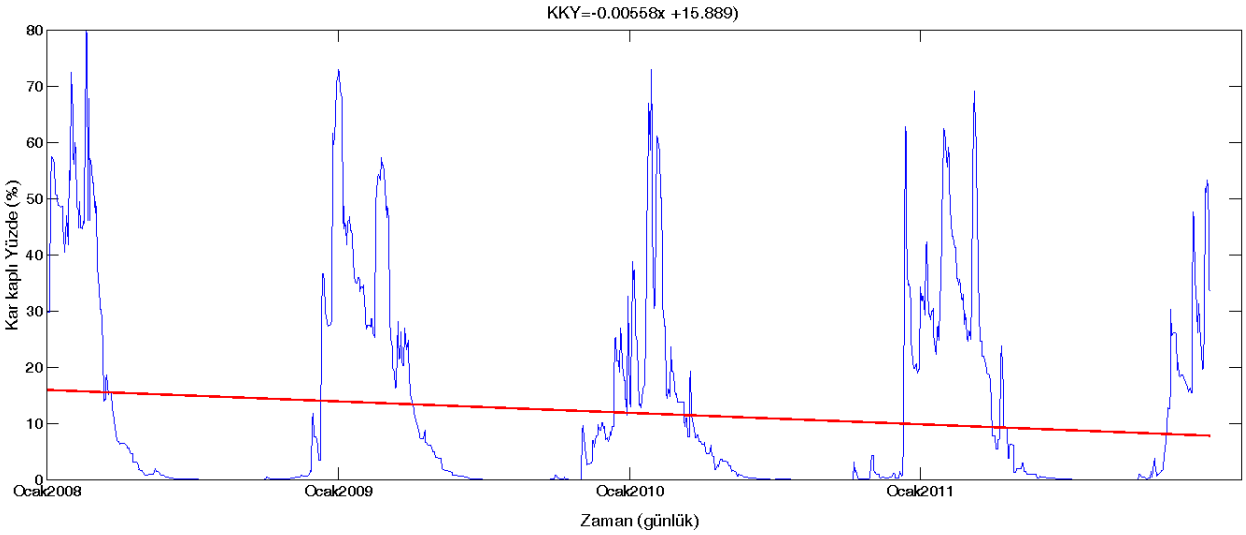
$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \tag{5}$$

Elde edilen *z* istatistik değeri, seçilen α anlamlılık düzeyine karşı gelen normal dağılımlı $z_{\alpha/2}$ değerinden küçükse H_0 hipotezi kabul edilmekte; yani incelenen seride trend olmadığı sonucuna varılmaktadır. Aksi takdirde H_1 hipotezi kabul edilerek serinin trend içerdiği sonucuna ulaşılmaktadır. Bu durumda *S* değeri pozitif ise artan, negatif ise azalan trend bulunduğuna işaret etmektedir.

Hipotez testindeki diğer bir alternatif ise, seçilen α anlamlılık düzeyi ile test için hesaplan p-değerinin kıyaslanmasıdır. Eğer hesaplanan p-değeri seçilen α anlamlılık düzeyinden küçük ise H_0 hipotezi reddedilerek H_1 hipotezi kabul edilmektedir. Yani serinin trend içerdiği sonucuna varılmaktadır. Öte yandan, hesaplanan p-değeri seçilen α anlamlılık düzeyinden büyük ise H_0 hipotezi kabul edilerek serinin trend içermediğine hükmedilir.

c. Türkiye Genel Trend Analizi

Çalışmanın birinci kısmında Türkiye geneli için KKY trend analizi yapılmıştır. 2008-2011 dönemi için Türkiye'ye ait günlük KKY değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Şekilden mevsimsel KKY değişimi açık bir şekilde görülmektedir. Zaman serisi olarak KKY verilerine uydurulan doğrusal denklem, Türkiye için karla kaplı alan yüzdesinde günlük ortalama 0,00558 azalmanın olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 3. Türkiye için 2008-2011 dönemine ait günlük KKY değişimi ve uydurulan doğrusal denklem.

Günlük KKY değerlerinden oluşan zaman serisi ve mevsimsel alt gruplar için uygulanan Man-Kendall test sonucunda elde edilen p-değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Elde edilen p-değerleri α=0.05 anlamlılık seviyesine(%95 güven aralığı) göre kıyaslandığında, her birinin α değerinden küçük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla 'H_0 : Trend yok' hipotezi reddedilerek hem tüm mevsimler hem de her bir mevsim için KKY serisinin trend içerdiği sonucu elde edilmiştir. Her bir grup için hesaplanan *S* istatistik değeri negatif olduğundan trend türü azalan olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 2. 2008-2011 dönemi ve mevsimlere göre Türkiye için Mann-Kendall testi p-değerleri ve test sonuçları.

	p-değeri	**H_0: Trend yok**	**Trend**
Tüm mevsimler	0.00406416	Red edildi	Azalan
Sonbahar	0.00000000	Red edildi	Artan
Kış	0.00000004	Red edildi	Azalan
İlkbahar	0.00000018	Red edildi	Azalan
Yaz	0.00049242	Red edildi	Azalan

d. Türkiye Bölgesel Trend Analizi

Çalışmanın ikinci kısmında KKY verilerine ait trend analizi Türkiye'deki coğrafi bölgeler için tekrarlanmıştır. Analizler bölgesel bazda hem 2008-2011 dönemi için hem de mevsimsel olarak yapılmıştır. Uygulanan Mann-Kendall testi sonucunda elde edilen p-değerlerine göre trend sonuçları ve trend türleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. 2008-2011 dönemi ve mevsimlere göre bölgeler için Mann-Kendall test sonuçlarına göre trend türleri.

	Karadeniz	**Marmara**	**Ege**	**Akdeniz**	**İç Anadolu**	**Güneydoğu Anadolu**	**Doğu Anadolu**
Tüm Mevsimler	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan
Sonbahar	Artan	Artan	Artan	Artan	Artan	Artan	Artan
Kış	Azalan	Trend Yok	Trend Yok	Trend Yok	Azalan	Azalan	Azalan
İlkbahar	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan
Yaz	Azalan	Trend Yok	Trend Yok	Azalan	Trend Yok	Kar Yok	Azalan

4. SONUÇLAR

Klasik gözlem şebekeleri birçok parametre gözleminde olduğu gibi karla kaplı alanların tespit edilmesinde de uzaysal ve zamansal ölçekte sınırlı gözlem bilgileri sağlamaktadır. Öte yandan, IMS gibi uydu verilerinden elde edilen karla kaplı alan verileri/ürünleri yüksek zamansal ve/veya kapsama alanı ile bu alandaki gözlem açığını kapatmaya adaydır. Özellikle bu tür uydu ürünlerinin gerek klimatolojik gerekse operasyonel amaç için kullanılması her geçen gün daha da artmaktadır.

Bu çalışmada, ülkemizdeki kar örtüsündeki değişimin anlaşılması için IMS verilerinden yararlanarak hesaplanan günlük karla kaplı yüzde değerleri kullanılarak trend analizi uygulanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında Türkiye geneli için Mann-Kendall trend testi uygulanmıştır. α=0.05 anlamlılık seviyesine (%95 güven aralığı) göre elde edilen test sonuçları, 2008-2011 dönemi için Türkiye genelinde azalan trend göstermektedir. Mevsimsel olarak tekrarlanan test sonuçları da karla kaplı alanlarda azalan trend sonucu vermiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında, trend analizi Türkiye'nin coğrafi bölgeleri için tekrarlanmıştır. 2008-2011 dönemi dikkate alındığında, tüm bölgeler için α=0.05 anlamlılık seviyesinde (%95 güven aralığında) azalan trend tespit edilmiştir. Mevsimsel olarak yapılan test uygulamalarında ise değişen sonuçlara ulaşılmıştır. Sonbahar dönemi için tüm coğrafi bölgelerde karla kaplı alanlarda artan trend gözlenmiştir. Kış mevsiminde ise, Karadeniz, İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu bölgeleri için azalan trend sonuçları elde edilirken Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde ise karla kaplı alanların değişiminin trend içermediği sonucu elde edilmiştir. İlkbahar mevsiminde ise tüm coğrafi bölgelerde azalan trend gözlenmiştir. Yaz mevsiminde Karadeniz, Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgeleri için azalan trend gözlenirken Marmara, Ege ve İç Anadolu bölgelerine ait KKY serisinin herhangi bir trend içermediği

sonucu elde edilmiştir. Güneydoğu Anadolu bölgesinde yaz döneminde kar ürünü gösteren piksel bulunmadığından Mann-Kendall testi bu coğrafi bölge için uygulanamamıştır.

KAYNAKLAR

[1] **Burn, D. H. ve Elnur M. A. H**., 2002. Detection of Hydrologic Trends and Variability. *Journal of Hydrology*, 255:107–122.

[2] **Crane R.G. ve Anderson M.R.**,1984, Satellite discrimination of snow cloud surfaces, *International Journal of Remote Sensing*, 5(1):213–223

[3] Dozier J., 1989, Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper, *Remote Sensing of Environment*, 28:9–22

[4] **Gessel G.**,1989, An algorithm for snow and ice detection using AVHRR data. An extension to the APOLLO software package., *International Journal of Remote Sensing*, 10:897–905

[5] Hall D. K., Riggs G. A., Salomonson V.V., DiGirolamo N.E., Bayr K.J., 2002, MODIS snow cover products, *Remote Sensing of Environment*, 83:181–194

[6] **Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V.,** 1995, Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data, *Remote Sensing of Environment,* 54:127–140

[7] **Kadıoğlu, M.,** 1997, Trends in surface air temperature data over Turkey, *International Journal of Climatology*, 17: 511-520.

[8] **Mognard N.,** 2003, Snow cover dynamics, in *Arctic environment variability in the context of global change*, Bobylev L. P., Kondratyev K. Y., Johannessen O. M. (Ed.), Praxis-Springer

[9] **NSIDC,** 2009, http://nsidc.org/data/docs/noaa/g02156_ims_snow_ice_analysis/index.html (11.09.2012)

[10] **Papa Fabrice, Legresy Benoît, Mognard Nelly M., Josberger Edward G., and Remy Frédérique,** 2002. Estimating Terrestrial Snow Depth With the Topex–Poseidon Altimeter and Radiometer, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 40, No. 10.

[11] **Ramsay, B. H.,** 1998, The Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System, *Hydrological Processes.* Vol. 12: 1537-1546

[12] **Rees W. G.,** 2006, *Remote sensing of snow and ice*, (England:Taylor & Francis, Cambridge University)

[13] **Robinson D. A., Keiming F. T., Heim R. R.,** 1993. Global snow cover monitoring: An update, *Bull. Amer.*

Meteorol. Soc.,74:1689–1696.

[14] Romanov P., Gutman G., Csiszar I.,2000, Automated monitoring of snow cover over North America with multispectral satellite data. *J Appl Meteorol*, 39:1866–1880

[15] Simic, A., Fernandes, R., Brown, R., Romanov, P., & Park, W.; 2004, Validation of VEGETATION, MODIS and GOES+SSM/I snow-cover products over Canada based on surface snow depth observations, *Hydrological Processes*, 18: 1089−1104.

[16] Tekeli A. E., Akyurek Z., Sorman A. A., Sensoy A., Sorman A. U., 2005, Using MODIS Snow Cover Maps in Modeling Snowmelt Runoff Processes in the Eastern Part of Turkey, *Remote Sensing of Environment*, 97(2):216-230

[17] **Wang X and Xie H.,** 2007, New multi-day snow cover products from combination of Terra and Aqua MODIS daily snow cover data, *AGU Fall meeting, SanFrancisco, CA*

[18] **Zhang, X., Harvey, K.D., Hoggy, W.D., Ve Yuzyk, T.R.,** 2001, Trends in Canadian Streamflow, *Water Resour. Res.*, 37(49): 987-998

Meteoroloji Radarları
Yağış Veri Kalitesinin Yükseltilmesi

Kurtuluş ÖZTÜRK
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
kozturk@mgm.gov.tr

Mehmet ZEYBEK
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
mzeybek@mgm.gov.tr

ÖZET

Meteoroloji Radarları, nicel yağış miktarı konusunda kısa vadede tespit ve tahmin yapabilen cihazlardır. Ancak bu cihazlar, donanım ve yazılımsal, çevresel veya atmosferik nedenlerden ötürü hatalı yağış ölçümü yapabilirler. Bu yüzden nicel yağış tahmini halen radar meteoroloji konuısunda en zor meselelerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada radar yağış ölçümlerini iyileştirmek için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nde kullanılan yöntem ve algoritmalar anlatılmış, konvektif ve stratiform tipi örnek hadiseler üzerinde istatistiksel analizler yapılarak, sonuçlar tartışılmıştır. Ayrıca literatürde tavsiye edilen algoritma ve bağıntılar ile disdrometrelerden elde edilen bağıntılarla hesaplanan yağış değerleri yer gözlemleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada ayrıca kullanılan mevcut yöntemlerin eksikliklerinin ne olduğu ve bu eksikliklerin giderilmesi için planlanan projeler anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler — Meteoroloji Radarı, Reflektivite, Regresyon, Disdrometre, Yağış Ölçer

1. GİRİŞ

Meteorolojik radar verisi, radar sistemi (yazılım veya donanım), 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 hatalı olabilir. 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. Yüksek çözünürlüklü dijital yükseklik modeli (DEM) kullanılarak, çoklu regresyon analizi yardımıyla her bir radar pikseli için düzeltme faktörü bulan bilgisayar kodları geliştirilmiştir. Ölçülen radar yağış verisi, bu düzeltme faktörü kullanılarak değiştirilmektedir. Ancak yağış ölçer verisinin hatalı olması durumunda yapılan düzeltmenin de hatalı olacağı unutulmamalıdır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen mevcut yağış ölçer cihazlar ile karşılaştırma analizi yapılacak başka bir yağış ölçer cihaz bulunamadığı için, şu ana kadar yapılan çalışmalar mevcut olan yer gözlemleri ile yapılmıştır. Çalışmada

konvektif ve stratiform tipi çeşitli örnek hadiseler çalışılmış, geliştirilen algortimanın farklı tip yağış karakterleri için davranışı analiz edilmiştir. Ayrıca 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 karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise sonuçlar sunulmuştur.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, konvektif tip hadiseler için 08 Eylül 2009 ve 09 Eylül 2009 tarihleri arasında gerçekleşip 41 kişinin ölümüyle sonuçlanan ve son 80 yılın en şiddetli yağışı olan "Ayamama" hadisesi, 9 Mart 2013 tarihinde saat 17.00 ile 23.00 arasında meydana gelen şiddetli yağış sonucu Balıkesir Edremit ve Havran'da sele sebep olan hadise, 13 Ocak 2013 ve 14 Şubat 2013'te Antalya'da meydana gelen şiddetli yağış olayları incelenmiştir. Stratiform tipi yağış için 1 Aralık 2013 ve 10 Ekim 2011'de İstanbul'da meydana gelen yağış olayları incelenmiştir.

Radar yağışı ile yer gözlemi arasındaki zamansal değişkenliği elimine etmek için toplam yağışlar kullanımış, 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 1).

$$(AF)_j = \frac{\sum\sum(R)_j}{\sum\sum(G)_j} \tag{1}$$

Değerlendirme Faktörü AF ile üç bağımsız değişken arasında Denklem 2'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.

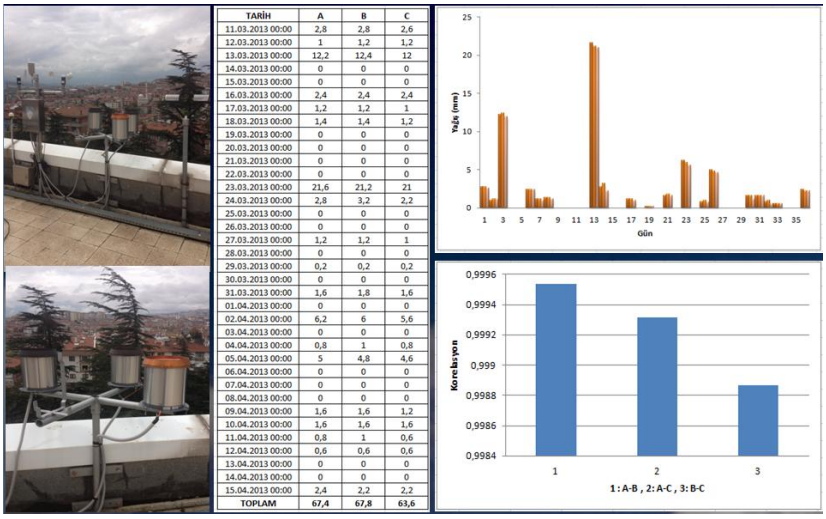
$$(AF)_j(dB) = a_0 + a_D.\log(D_j) + a_{HV}.(HV_{\min})_j + a_{HG}.HG_j \tag{2}$$

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 3).

$$\sum\sum(R_c)_j = \frac{\sum\sum(R)_j}{(AF_e)_j} \tag{3}$$

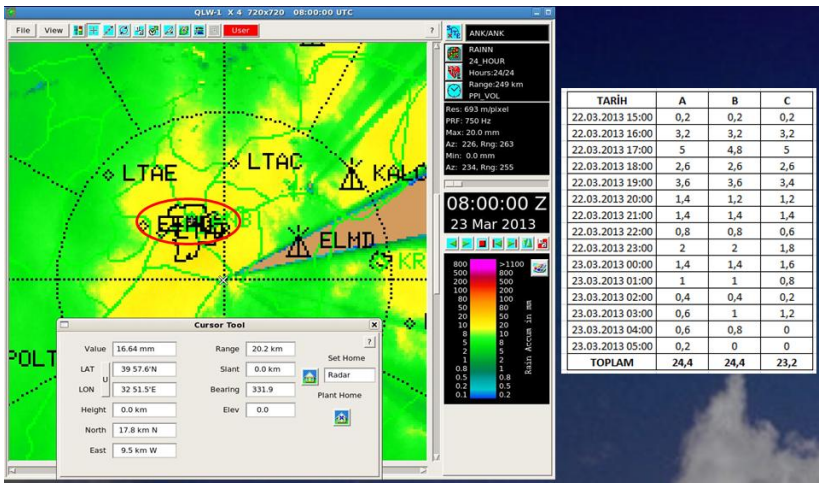
HVmin değerlerinin bulunabilmesi için, Öztürk ve Yilmazer (2007) tarafından her bir radar pikselindeki ışın yüksekliğini dijital topografik yükseklik bilgisi ile karşılaştırarak, radar piksellerindeki minimum görülebilir yükseklik bilgisini 720x720 bir matris olarak üreten algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma daha sonra Öztürk ve Beştepe (2008) tarafından 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 (yağış ölçer ve disdrometre) sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. 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. Disdrometre cihazları optik yöntemlerle rüyet, yağış miktarı, radar reflektivitesi gibi bilgileri verebilen ve hali hazır hava durumu sensörü olarak da kullanılabilen cihazlardır. MGM'de bu amaçla bir test sahası oluşturulmuştur. Yapılan incelemelerde 3 adet yağış ölçerin bir süre farklı değerler verdiği tespit edilmiş, cihaz kalibrasyonu ve değişimi gibi yöntemler ile bu 3 cihazın tutarlı davranması sağlanmıştır. Bu sayede bu test sahasındaki yer gözlemi artık güvenilir kabul edilebilir ve sahadan eksiksiz veri elde edilebilir (Şekil 1.1).



TARİH	A	B	C
11.03.2013 00:00	2,8	2,8	2,6
12.03.2013 00:00	1	1,2	1,2
13.03.2013 00:00	12,2	12,4	12
14.03.2013 00:00	0	0	0
15.03.2013 00:00	0	0	0
16.03.2013 00:00	2,4	2,4	2,4
17.03.2013 00:00	1,2	1,2	1
18.03.2013 00:00	1,4	1,4	1,2
19.03.2013 00:00	0	0	0
20.03.2013 00:00	0	0	0
21.03.2013 00:00	0	0	0
22.03.2013 00:00	0	0	0
23.03.2013 00:00	21,6	21,2	21
24.03.2013 00:00	2,8	3,2	2,2
25.03.2013 00:00	0	0	0
26.03.2013 00:00	0	0	0
27.03.2013 00:00	1,2	1,2	1
28.03.2013 00:00	0	0	0
29.03.2013 00:00	0,2	0,2	0,2
30.03.2013 00:00	0	0	0
31.03.2013 00:00	1,6	1,8	1,6
01.04.2013 00:00	0	0	0
02.04.2013 00:00	6,2	6	5,6
03.04.2013 00:00	0	0	0
04.04.2013 00:00	0,8	1	0,8
05.04.2013 00:00	5	4,8	4,6
06.04.2013 00:00	0	0	0
07.04.2013 00:00	0	0	0
08.04.2013 00:00	0	0	0
09.04.2013 00:00	1,6	1,6	1,2
10.04.2013 00:00	1,6	1,6	1,6
11.04.2013 00:00	0,8	1	0,6
12.04.2013 00:00	0,6	0,6	0,6
13.04.2013 00:00	0	0	0
14.04.2013 00:00	0	0	0
15.04.2013 00:00	2,4	2,2	2,2
TOPLAM	67,4	67,8	63,6

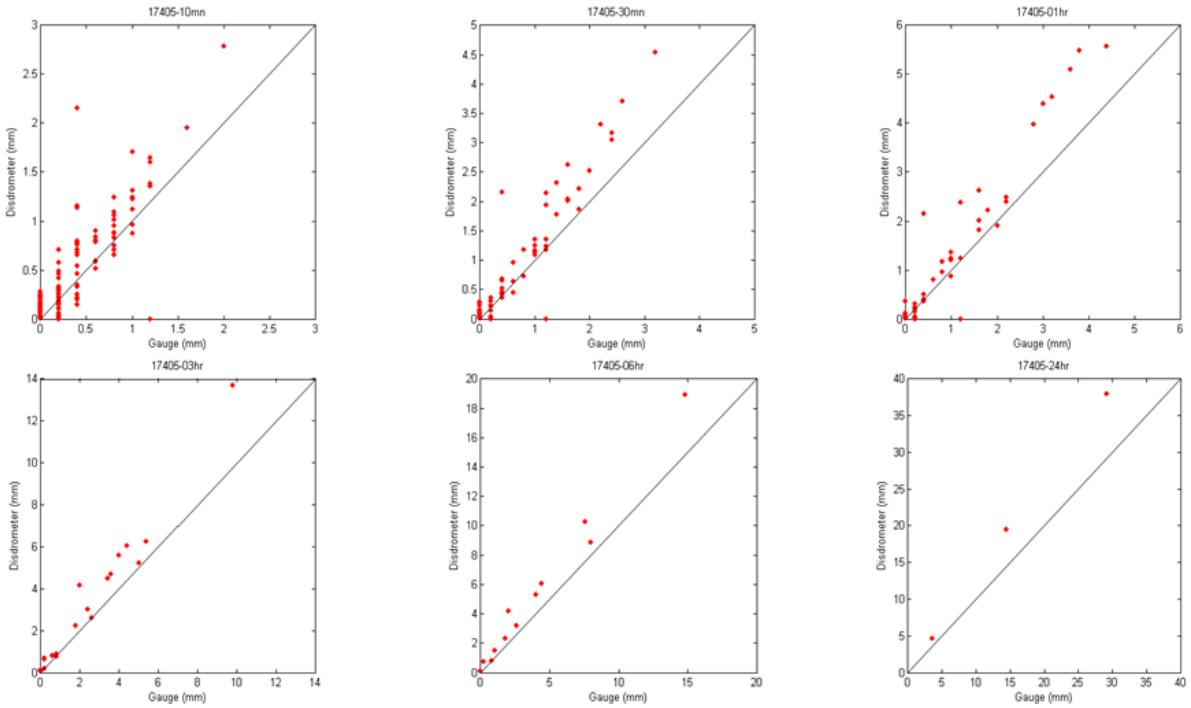
Şekil 1.1: *MGM'de kurulu 3 adet yağış ölçer ve 1 adet disdrometreden oluşan test sahası ve örnek çalışma sonuçları*



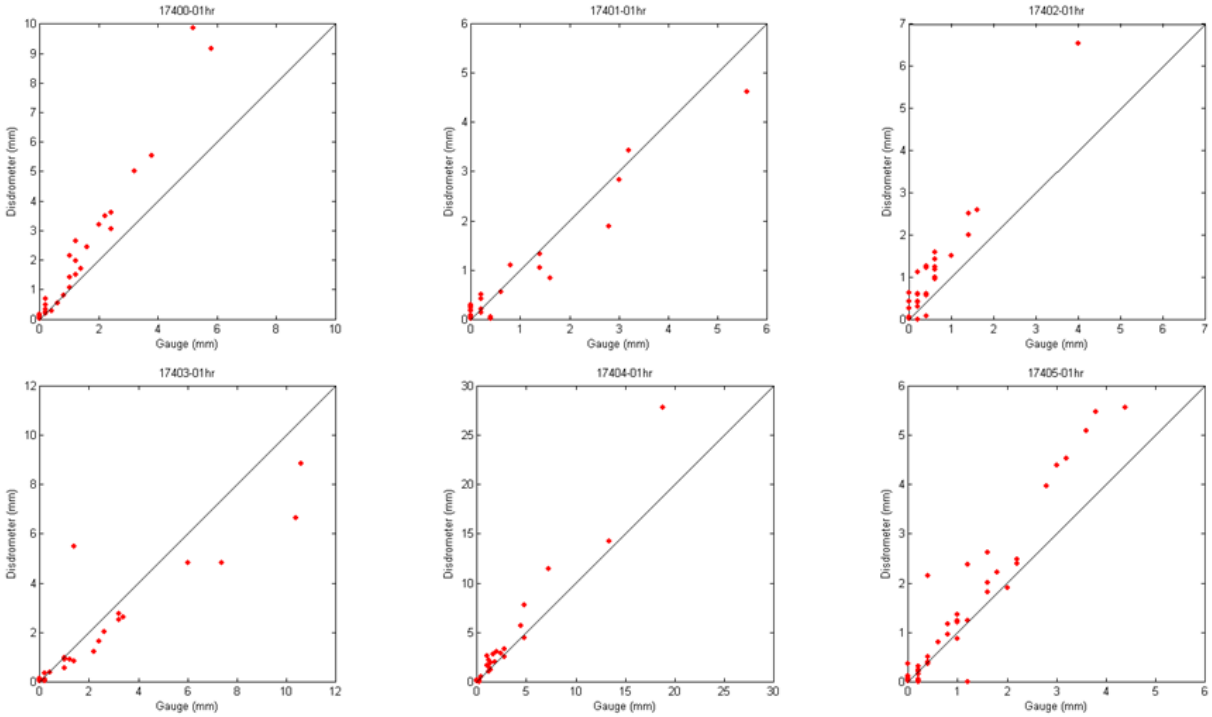
TARİH	A	B	C
22.03.2013 15:00	0,2	0,2	0,2
22.03.2013 16:00	3,2	3,2	3,2
22.03.2013 17:00	5	4,8	5
22.03.2013 18:00	2,6	2,6	2,6
22.03.2013 19:00	3,6	3,6	3,4
22.03.2013 20:00	1,4	1,2	1,2
22.03.2013 21:00	1,4	1,4	1,4
22.03.2013 22:00	0,8	0,8	0,6
22.03.2013 23:00	2	2	1,8
23.03.2013 00:00	1,4	1,4	1,6
23.03.2013 01:00	1	1	0,8
23.03.2013 02:00	0,4	0,4	0,2
23.03.2013 03:00	0,6	1	1,2
23.03.2013 04:00	0,6	0,8	0
23.03.2013 05:00	0,2	0	0
TOPLAM	24,4	24,4	23,2

Şekil 1.2: *MGM test sahasındaki örnek bir yağışa ait radar ve yer gözlem yağış verileri*

Ayamama hadisesi incelenmeden önce, yağış ölçerlerin güvenilirlik analizi için bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Aynı noktada konuşlanan disdrometreleri ile yağış ölçerler arasında (7 nokta), 10 dakikadan 12 saate kadar 6 farklı yağış toplamı karşılaştırılmıştır. Farklı yağış toplamları için disdrometre ve yağış ölçerler arasında saçılma diyagramları Şekil 1.3'de, 1 saatlik toplam yağış için disdrometre ve yağış ölçerler arasında saçılma diyagramları ise Şekil 1.4'de verilmiştir.



Şekil 1.3: Farklı yağış toplamları için disdrometre ve yağış ölçerler arasında saçılma diyagramları



Şekil 1.4: 1 saatlik toplam yağış için disdrometre ve yağış ölçerler arasında saçılma diyagramları

İstanbul radarının 120 km'lik kapsama alanına giren istasyonların merkez pikseli ve komşu pikseller arasındaki istatistik Tablo 1.1'de verilmiştir.

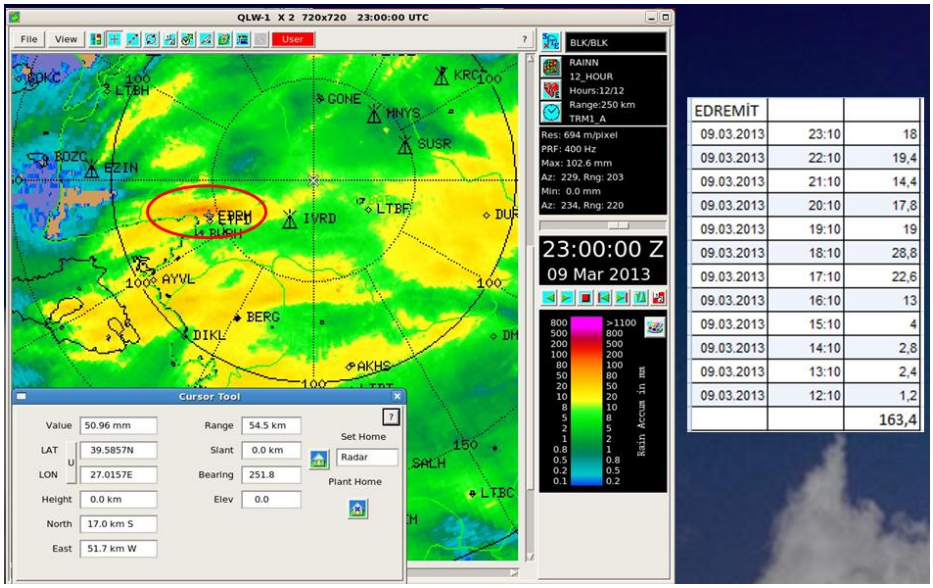
Tablo 1.1: Yağış ölçer merkez pikseli ve komşu pikseller arasındaki istatistik

İstasyon	***Yağış (mm)***											
	Gauge	***Radar***	***Pixel 1***	***Pixel 2***	***Pixel 3***	***Pixel 4***	***Pixel 5***	***Pixel 6***	***Pixel 7***	***Pixel 8***	***MEAN***	***STDEV***
CORLU MEYDAN	10.80	10.65	11.51	11.34	10.41	11.24	10.97	10.15	10.99	11.26	**10.95**	0.46
CORLU	8.00	5.26	5.23	5.29	5.56	5.47	5.56	6.34	6.62	6.64	**5.77**	0.59
TEKIRDAG	3.00	3.14	3.16	3.23	3.00	3.28	3.35	3.01	3.40	3.57	**3.24**	0.19
KUMKOY-KILYOS	55.00	18.46	19.85	21.34	20.42	24.74	24.36	20.68	22.39	22.95	**21.69**	2.09
ATATURK AIRPORT	10.40	5.25	5.07	4.36	4.21	3.96	3.05	3.95	4.14	2.46	**4.05**	0.88
SARIYER	21.20	10.96	9.44	8.77	10.32	9.57	8.66	13.64	12.34	8.86	**10.28**	1.74
BANDIRMA	114.80	**26.20**	31.85	27.25	34.38	44.22	35.86	39.03	**60.45**	51.58	**38.98**	11.35
OLIMPIYAT	83.40	**37.87**	30.83	31.40	36.71	27.39	23.51	32.97	27.71	**22.95**	**30.15**	5.27
AKSARAY	5.60	1.76	1.86	2.11	1.82	2.33	3.39	1.65	3.13	4.72	**2.53**	1.03
TERKOS	46.00	15.95	18.24	17.09	15.15	18.21	18.80	13.68	13.48	14.62	**16.13**	2.03
AKOM CENTER	9.80	10.65	11.35	10.85	10.07	11.45	11.89	8.99	10.55	11.77	**10.84**	0.92
CANTA	22.00	26.85	27.74	27.02	26.44	28.26	27.44	25.25	24.82	23.94	**26.42**	1.45
KAMILOBA	46.00	29.00	27.28	31.18	21.44	24.42	29.58	21.29	22.10	24.43	**25.64**	3.75
HADIMKOY	41.20	36.96	35.99	35.78	39.58	37.19	36.02	38.49	36.31	34.17	**36.72**	1.59
GÖZTEPE	7.60	3.53	3.87	3.55	2.58	3.67	3.78	0.70	2.29	3.59	**3.06**	1.04
IST.UN.DENIZ BIL.	9.00	1.84	1.97	2.55	2.11	2.10	2.46	3.39	2.93	3.18	**2.50**	0.56
ERDEK	101.80	27.97	27.90	27.53	27.37	26.63	26.27	25.94	25.81	25.64	**26.78**	0.92
FLORYA	33.60	11.17	8.13	7.18	10.91	10.04	7.31	9.59	11.93	7.61	**9.32**	1.81

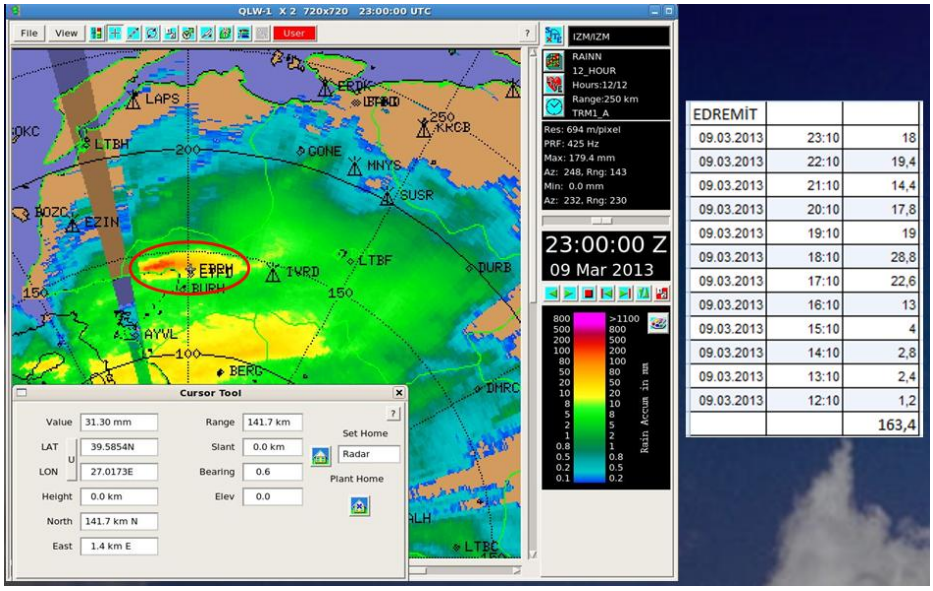
Tablo 1.2: Regresyon analizi sonucu w=1, w=G w=R ve w=R (HV-out) ağırlıklandırmalarına göre elde edilen radar ve yağış ölçer arasındaki AME ve RMSE değerleri

Case: Convective, Date: 09.09.2009, Istanbul Radar		
Radar-Gauge comparison	**AME (mm)**	**RMSE (mm)**
R – G	**19.77**	**31.17**
R_c – G (w=1)	9.42	15.37
R_c – G (w=G)	8.07	12.39
R_c – G (w=R)	7.85	11.22
R_c – G (w=R) HV-out	7.93	12.34

Edremit'te meydana gelen sel hadisesi incelendiğinde, Balıkesir ve İzmir radarlarından Marshall-Palmer Z-R bağıntısıyla elde edilen yağış değerlerinin birbirinden farklı olduğu, her iki değerin de yer gözlemlerinin oldukça altında kaldığı görülmüştür (Şekil 1.5 ve 1.6). Balıkesir radarı polarimetrik olmadığından NSSL algortiması sonuçlarına bakılamamıştır.

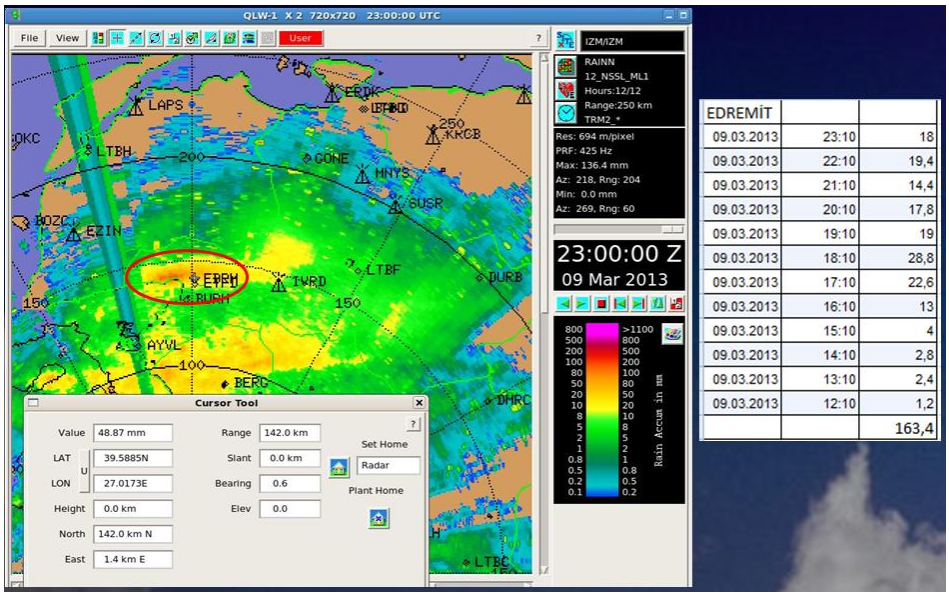


Şekil 1.5: Balıkesir radarından Marshall-Palmer Z-R bağıntısı ile elde edilen radar yağış ürünü



EDREMİT		
09.03.2013	23:10	18
09.03.2013	22:10	19,4
09.03.2013	21:10	14,4
09.03.2013	20:10	17,8
09.03.2013	19:10	19
09.03.2013	18:10	28,8
09.03.2013	17:10	22,6
09.03.2013	16:10	13
09.03.2013	15:10	4
09.03.2013	14:10	2,8
09.03.2013	13:10	2,4
09.03.2013	12:10	1,2
		163,4

Şekil 1.6: İzmir radarından Marshall-Palmer Z-R bağıntısı ile elde edilen radar yağış ürünü



EDREMİT		
09.03.2013	23:10	18
09.03.2013	22:10	19,4
09.03.2013	21:10	14,4
09.03.2013	20:10	17,8
09.03.2013	19:10	19
09.03.2013	18:10	28,8
09.03.2013	17:10	22,6
09.03.2013	16:10	13
09.03.2013	15:10	4
09.03.2013	14:10	2,8
09.03.2013	13:10	2,4
09.03.2013	12:10	1,2
		163,4

Şekil 1.6: İzmir radarından NSSL algoritması ile elde edilen radar yağış ürünü

13 Ocak 2013 ve 14 Şubat 2013'te Antalya'da meydana gelen şiddetli konvektif yağış hadiseleri analiz edildiğinde, 13 Ocak 2013 tarihli hadisenin veri seti kullanılarak yapılan regresyon analizinin istatistikleri Tablo 1.3'de sunulmuştur.

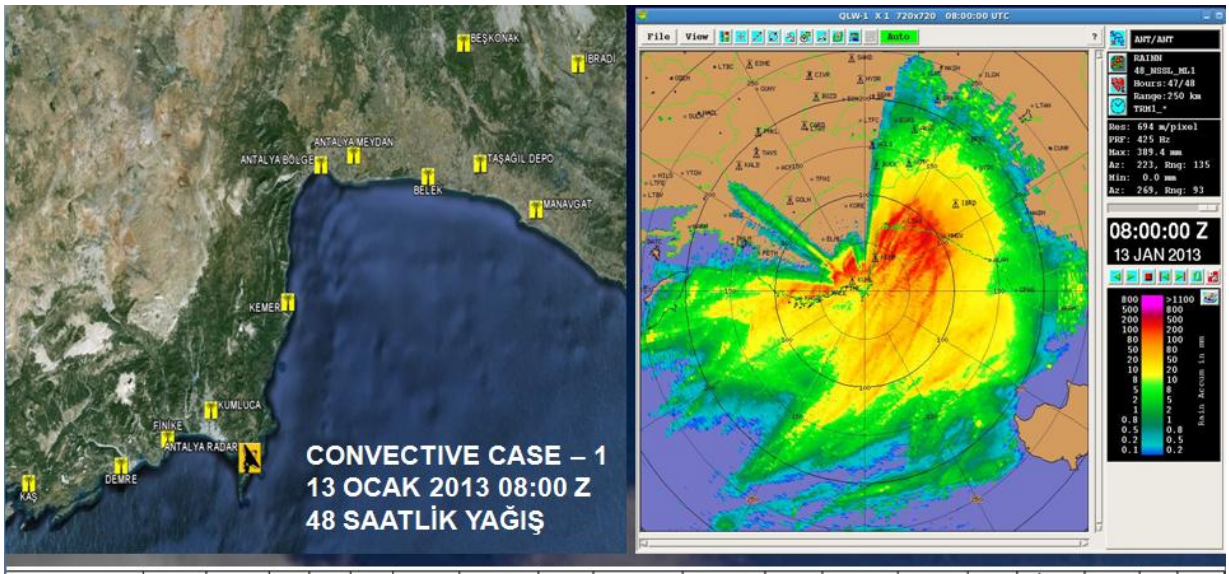
Tablo 1.3: 13 Ocak 2013 tarihinde Antalya radarı regresyon analizi sonucu w=1, w=G w=R ve w=R (HV-out) ağırlıklandırmalarına göre elde edilen radar ve yağış ölçer arasındaki AME ve RMSE değerleri

Radar-AWOS comparison (same case)	PAB	AME (mm)	RMSE (mm)
R – G	**0,44**	**47,10**	**71,17**
R_c – G (w=1)	0,28	30,25	37,78
R_c – G (w=G)	0,24	25,84	30,93
R_c – G (w=R)	0,26	27,63	34,33

İlk olayda her istasyon için elde edilen AF değerleri ile ikinci olayda elde edilen AF değerlerinin karşılaştırma tablosu Tablo 1.4'de verilmiştir.

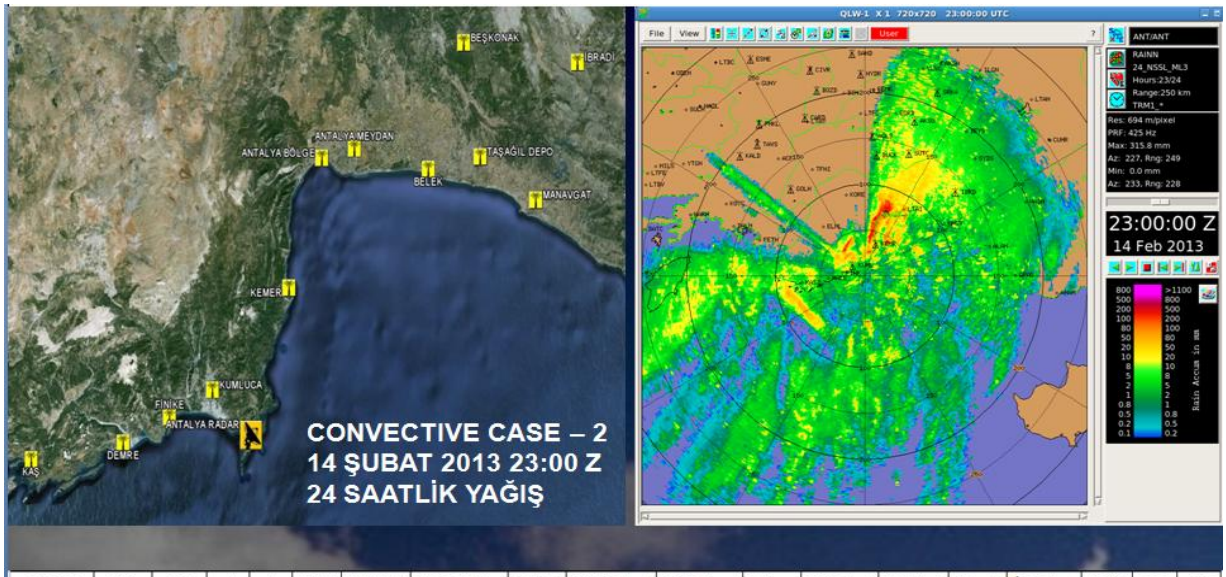
Tablo 1.4: 13 Ocak 2013 tarihinde Antalya radarı regresyon öncesi AF değerleri ile 14 Şubat 2013 tarihinde Antalya radarı regresyon öncesi AF değerlerinin karşılaştırılması

STATION	AF1	AF2
ANT. BÖLGE	0,7486	1,5828
TAŞAĞIL DEPO	0,9469	0,3058
BEŞKONAK	0,3035	0,5726
KEMER	0,8064	1,3869
ANT. MEYDAN	1,0095	1,2694
İBRADİ	0,1314	0,5836



STATION	LAT	LON	i	j	HG (m)	HVMIN (m)	MIN.ELEV. (deg)	DTR (km)	CENTER R (mm)	MEAN R (mm)	STD (mm)	MAX R (mm)	MIN R (mm)	G (mm)	DİSD. R (mm)	HIT (%)	PAB	AME
TAŞAĞIL DEPO	36,8886	31,2494	464	260	40	1551	0	99	218,18	205,01	23,72	249,15	173,76	216,5		44	0,11	22,39
ANTMEYDAN	36,9063	30,799	406	257	78	1335	0	78	268,93	254,39	33,10	311,04	204,45	252		36	0,12	29,63
BELEK	36,8603	31,0636	440	263	5	1412	0	86	204,32	186,31	27,02	230,02	132,06	164,6		24	0,16	30,28
KEMER	36,5942	30,5672	376	306	10	1064	0	38	122,14	92,74	16,15	122,14	65,21	115		24	0,25	23,33
DEMRE	36,2421	29,979	300	363	25	1080	0	41	59,90	67,90	26,21	112,11	20,54	46,4	44,9	20	0,38	26,04
ANT. BÖLGE	36,8851	30,6828	392	260	47	1291	0	72	56,88	58,54	11,40	90,56	40,34	78,2		12	0,35	20,69
MANAVGAT	36,7895	31,441	489	275	38	1655	0	107	99,01	104,15	8,42	125,90	92,45	172,2		0	0,67	68,83
KAŞ	36,2002	29,6502	259	369	153	1282	0	71	23,03	23,27	2,43	27,37	17,88	35,4	40,3	0	0,52	12,13
BEŞKONAK	37,1442	31,1908	457	218	156	1780	0	118	51,20	52,29	2,99	56,82	46,30	172,3		0	2,3	120
İBRADİ	37,0968	31,5952	508	226	1036	2118	0	138	26,24	26,00	0,84	27,85	24,78	197,8		0	6,61	171,8

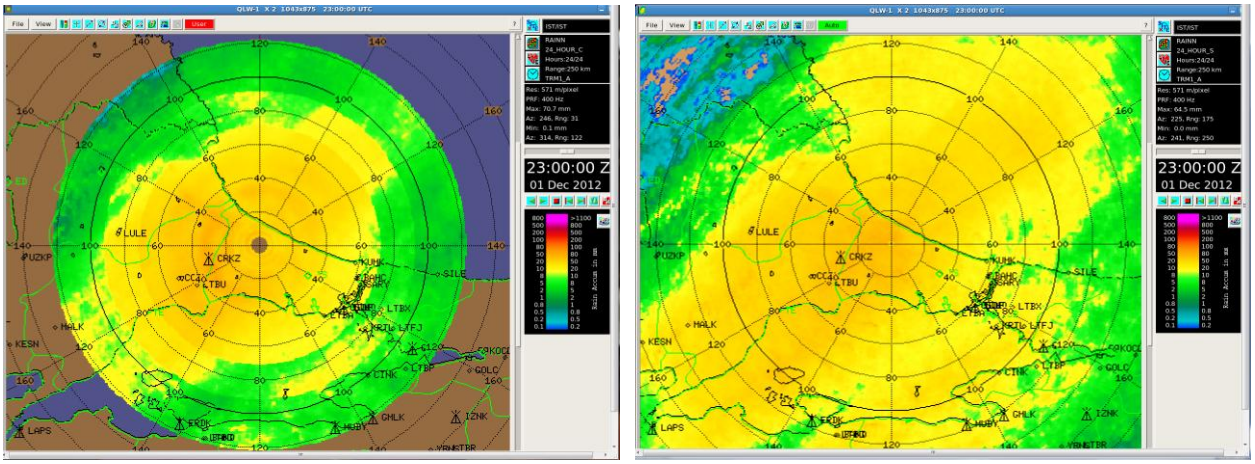
Şekil 1.7: 13 Ocak 2013 tarihinde Antalya radarından NSSL algoritması ile elde edilen radar yağış ürünü, regresyon parametreleri ve komşu pikseller arasındaki istatistiksel değerler



STATION	LAT	LON	i	j	HG (m)	HVMIN (m)	MIN.ELEV. (deg)	DTR (km)	CENTER R (mm)	MEAN R (mm)	STD (mm)	MAX R (mm)	MIN R (mm)	G (mm)	DİSD. R (mm)	HIT (%)	PAB	AME
ANT. BÖLGE	36,8851	30,6828	392	260	47	1291	0	72	104,32	98,76416	11,64245	115,168	72,176	62,4		0	0,3682	36,364
TAŞAĞIL DEPO	36,8886	31,2494	464	260	40	1551	0	99	3,324	4,15928	1,3222	8,75	2,791	13,6		0	2,2698	9,4407
BEŞKONAK	37,1442	31,1908	457	218	156	1780	0	118	18,212	20,04224	3,102626	26,132	12,48	35		0	0,7463	14,958
KEMER	36,5942	30,5672	376	306	10	1064	0	38	55,496	51,31456	7,461884	65,136	36,864	37		8	0,2792	14,325
ANT. MEYDAN	36,9063	30,799	406	257	78	1335	0	78	26,772	30,21	7,619795	48,92	17,772	23,8		16	0,2484	7,5053
İBRADİ	37,0968	31,5952	508	226	1036	2118	0	138	16,094	14,23944	2,424433	18,916	9,852	24,4		0	0,7136	10,161

Şekil 1.7: 14 Şubat 2013 tarihinde Antalya radarından NSSL algoritması ile elde edilen radar yağış ürünü, regresyon parametreleri ve komşu pikseller arasındaki istatistiksel değerler

Stratiform tipi örnek yağış hadiseleri incelendiğinde 01 Aralık 2013 tarihleri olay için CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) ve SRI (Surface Rainfall Intensity) ürünlerinden (Şekil 1.8) elde edilen 24 saatlik yağış ürünleri ile yapılan regresyon analizi sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçlar Tablo 1.5'de verilmiştir.



Şekil 1.8: 01 Aralık 2013 tarihinde İstanbul radarı CAPPI ve SRI ürünlerinden elde edilen 24 saatlik yağış ürünleri

10 Ekim 2011'de SRI'dan elde edilen 24 saatlik yağış verileri, 01 Aralık 2013 regresyon denklemi kullanılarak iyileştirilmeye çalışıldığında elde edilen sonuçlar Tablo 1.6'da verilmiştir.

Tablo 1.5: 01 Aralık 2013 tarihinde İstanbul radarı regresyon analizi sonuçlarının istatistikleri

CAPPI	R-G	Rest-G
RMSE	16,77	7,43
AME	12,93	5,71
PAB	0,45	0,20

SRI	R-G	Rest-G
RMSE	14,51	8,33
AME	9,61	6,02
PAB	0,33	0,21

	CAPPIR	SRIR
RMSE	16,77	14,51
AME	12,93	9,61
PAB	0,45	0,33

Tablo 1.6: 01 Aralık 2013 regresyon denklemi kullanılarak 10 Ekim 2011 için yapılan iyileştirme istatistikleri

SRI	R-G	Rest-G
RMSE	18,48	9,77
AME	12,52	8,42
PAB	0,40	0,27

13 Ocak 2013 tarihinde Antalya'da gerçekleşen yağış hadisesi için Kaş ve Demre'de 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 karşılaştırılmıştır ve sonuçlar Tablo 1.7'de verilmiştir.

Tablo 1.7: Reflektivite-yağış oranı (Z-R) bağıntıları, literatürde tavsiye edilen bazı Z-R bağıntıları ve çoklu polarizasyon özelliği ile elde edilen polarimetrik yağış algoritmaların yağış hesaplamalarının karşılaştırma tablosu ve istatistikleri

STATION	G (mm)	MP	271R1.47	323R1.47	300R1.4	R-KDP	NSSL
KUMLUCA	80,6	44,1	42,7	33,4	45,4	52,2	50,9
FİNİKE	63	33,2	31,2	32,7	32,0	62,5	32,7
KEMER	115	47,9	44,0	38,3	42,9	103,0	122,1
DEMRE	46,4	41,0	39,6	26,8	38,3	67,7	59,9
KAŞ	35,4	18,9	16,7	13,6	16,3	34,8	23,0
ANT. BÖLGE	78,2	29,7	26,4	20,3	25,1	82,8	56,9
ANT. MEYDAN	252	61,4	58,0	48,6	59,3	180,1	268,9
BELEK	164,6	63,7	61,4	46,1	63,4	149,2	204,3
TAŞAĞIL DEPO	216,5	66,9	58,4	42,5	58,7	147,0	218,2
MANAVGAT	172,2	46,5	41,0	32,0	40,1	116,4	99,0
BEŞKONAK	172,3	30,6	25,8	21,4	24,4	121,5	51,2

	MP	271R1.47	323R1.47	300R1.4	R-KDP	NSSL
AME	76,0	79,3	86,7	79,2	27,6	30,6
PAB	1,89	1,97	2,15	1,96	0,68	0,76

3. SONUÇ

Ayamama hadisesi incelenmeden önce, yağış ölçerlerin güvenilirlik analizi için bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Aynı noktada konuşlanan disdrometreleri ile yağış ölçerler arasında (7 nokta), 10 dakikadan 12 saate kadar 6 farklı yağış toplamı karşılaştırılmıştır. Beklendiği gibi, yağış ölçer-disdrometre arasındaki korelasyon yağış toplam periyodu arttıkça artmaktadır. 1 saatlik yağış toplamında korelasyon, tüm çiftler için 0.9'un üstündedir. Ancak PAB (Percent Absolute Bias), 23% ile 87% arasında değişkenlik göstermektedir. Ayamama hadisesinde radar verisi incelendiğinde, yağış ölçer noktaları ve komşu sekiz pikselin verisi arasındaki standart sapmanın bazı noktalarda oldukça fazla olduğu tespit edilmiştir. Bandırma ve Olimpiyat yağış ölçerleri hariç, merkez piksel ile komşu pikseller arasındaki radar yağış verisi standart sapması düşüktür ancak Bandırma merkez piksel ile sekiz komşu pikselin ortalaması arasında %67 sapma vardır. Bu yağış ölçerlerde standart sapmanın yüksek çıkması, özellikle konvektif yağışlarda, yağışın küçük ölçekte (2.25 km^2) oldukça değişkenlik gösterebileceğini ortaya çıkarır. Bu da AF, regresyon denklemi ve iyileştirilmiş radar yağışına olumsuz etki eder. PSCR algoritması ile, radar ve yağış ölçer yağış değerleri arasındaki RMSE ve AME (mutlak ortalama hata) değerleri tüm ağırlıklı regresyonlar için düşmüştür. En iyi RMSE değeri W=R kullanıldığında elde edilmiştir. 6 saatlik toplamda AME %60, RMSE %64 azalmıştır.

Edremit'te meydana gelen sel hadisesi incelendiğinde, Balıkesir ve İzmir radarlarından Marshall-Palmer Z-R bağıntısıyla elde edilen yağış değerlerinin birbirinden farklı olduğu, her iki değerin de yer gözlemlerinin oldukça altında kaldığı görülmüştür. Edremit'in Balıkesir radarına 54,5 km, İzmir radarına ise 142 km uzaklıkta olması Balıkesir radarının yer gözlemine daha yakın bir değer vermesini açıklayabilir. Ayrıca İzmir radarının polaritmetrik yağış algoritmalarının Marshall-Palmer Z-R bağıntısına göre, yer gözlemlerine daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

13 Ocak 2013 ve 14 Şubat 2013'te Antalya'da meydana gelen şiddetli konvektif yağış hadiseleri analiz edildiğinde, 13 Ocak 2013 tarihli hadisenin veri seti kullanılarak yapılan regresyon analizinin aynı olay üzerinde iyi düzeltmeler yaptığı ancak benzer konvektif karakterli 14 Şubat 2013 hadisesinde çok iyi sonuçlar vermediği görülmüştür. İlk olayda her istasyon için elde edilen AF değerlerinin ikinci olayda çok farklı olması sebebiyle regresyon analizi düzgün çalışmamıştır. Bunun nedenleri konvektif hadiselerde yağışın dikey profilindeki değişkenlik, yağışın küçük alanlarda farklılık göstermesi veya yağış ölçerlerin tutarsızlığı olabilir. Radar verisinde merkez

yağış ölçere tekabül eden piksel ve komşu 24 piksel incelendiğinde standart sapmanın bazı noktalarda yüksek olması bunun bir göstergesidir. İstasyonlar arasında AF değerinin en yüksek olduğu noktalar radara en uzak olan noktalardır. Bu da mesafe faktörünün hataya sebebiyet veren bir parametre olduğunun açık göstergesidir.

Stratiform tipi örnek yağış hadiseleri incelendiğinde 01 Aralık 2013 tarihleri olay için CAPPI ve SRI ürünlerinden elde edilen 24 saatlik yağış ürünleri ile yapılan regresyon analizi sonuçları karşılaştırılmış, SRI'dan elde edilen değerlerin yer gözlemlerine daha yakın olduğu istatistik analizlerden anlaşılmıştır. 10 Ekim 2011'de SRI'dan elde edilen 24 saatlik yağış verileri, 01 Aralık 2013 regresyon denklemi kullanılarak iyileştirilmeye çalışıldığında sonuçların oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak yağış ölçer ayarlaması algortimasının stratifom tipi yağışlarda oldukça faydalı olduğu ancak konvektif yağışlarda yukarıda bahsedilen sebeplerden ötürü çok iyi sonuçlar vermediği anlaşılmıştır.

13 Ocak 2013 tarihinde Antalya'da gerçekleşen yağış hadisesi için Kaş ve Demre'de 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 karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçları R-KDP ve NSSL polaritmetrik algoritmalarının en iyi sonuçları verdiği, disdrometrelerden gelen 6 aylık veri setinin ürettiği bağıntıların iyi sonuç vermediği gözlemlenmiştir. Bunun sebebi 6 aylık veri setinin yeterli olmadığı ve veri alımında gerçekleşen kesintilerin veri seti için sorun teşkil etmesi olabilir. Disdrometrelerden elde edilen 1 yıllık ve 2 yıllık veri setleri ile çalışma tekrarlanacaktır.

Regresyon analizinin tutarlılığı için yağış ölçer ölçümlerinin güvenilir olması çok önemlidir. Ancak MGM yağış ölçer noktalarında karşılaştırma yapılacak başka bir referans ölçüm cihazı olmaması nedeniyle, bu yağış ölçümlerinin güvenilirliği bir soru işaretidir. Daha başarılı yağış iyileştirmesi yapabilmek amacıyla, spesifik bölgelerde özel yağış ölçer sistemleri kurarak minimum 1 yıllık eksiksiz ve güvenilir bir yer gözlem veri seti elde edilmesi çok önemlidir. Bu veri seti sayesinde farklı üreticiler tarafından üretilen iki radarın ölçümlerinin, aynı üretici tarafından üretilen iki radarın ölçümlerinin ve tekil ve çift polarize iki radarın ölçümlerinin karşılaştırılması da mümkün olacaktır. Yine bu veri seti ile yağışın küçük alanlardaki değişimi ve

yağış klimatolojisi ile ilgili faydalı bilgilere de ulaşılacağı düşünülmektedir. Bu veri seti ve yeni bir örnek hadise kullanılarak bu çalışma ileride tekrarlanacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Collier, C.G. 1986. Accuracy of rainfall estimates by radar, J. Hydrol, 83, 207-223.

[2] Gabella, M., Joss, J. and Perona, G. 2000. 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.

[3] Ozturk, K. and Bestepe, F. 2008. The Pixel-based SCR Algorithm Optimizing Cumulative Radar Rainfall Estimates in Northern Turkey. ERAD 2008 Poster Presentation.

[4] Ozturk, K. and Yilmazer, A.U. 2007. Improving the Accuracy of the Radar Rainfall Estimates Using Gauge Adjustment Techniques: Case study for west Anatolia, Turkey, J. Atmos. Res. 86, 139-148.

[5] Zawadzki, I. 1975. On radar-raingage comparison, J. Appl. Meteor., 14, pp. 1430-1436

Uydu verisi ile üretilen yağışların değerlendirilmesi ve hidrolojik tahmin amaçlı kullanımları

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

Alper Önen
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Ankara
alper.onen@yahoo.com

ÖZET

Taşkın gibi ekstrem olayların tahminini yapan modellerde kullanılan yağış verilerinin güvenilir olması yapılan tahminin tutarlılığı ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle konvektif sistem kaynaklı ve dağlık alanlarda meydana gelen yağış olayları kısa zaman ve mesafelerde büyük miktarlarda yağış bırakabilirler. Dolayısıyla yağış zaman ve mekansal olarak büyük değişim gösterir. Geniş bir alanda yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlüklü yağış verisi sağlayan durağan uydu verisi tabanlı kızılötesi dalga verisi ile çalışan algoritmaların ürettiği yağış değerleri tahmin amaçlı hidrolojik ve atmosferik model çalışmalarında kullanılmaktadır. Uydu yağış verilerinin güvenirliği model tahmin performansını artırmada kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda, Meteoroloji Genel Müdürlüğünde (MGM) kullanılan MPE yağış çıktılarının ekstrem yağış olayları için gözlemlerle uyumluluk analizlerinin yapılması, eksik ve faydalarının ortaya çıkarılması gereklidir. Ayrıca, bu çalışmada, bu tip yağış algoritmalarındaki mevcut sorunlardan olan topografyaya bağlı eksikliklerin giderilmesine yönelik yapılan düzeltmelere değinilecektir. Son olarak, MPE yağış ürünlerinin hidrolojik tahminlerde kullanımı bir kaç taşkın üreten yağış olayları için karşılaştırmalı olarak bir bölgesel ölçekli hava tahmin modeli (WRF) sonuçları ile verilecektir.

Anahtar Kelimeler — uydu yağış; MPE; topografya; tutarlılık.

1. GİRİŞ

Değişen iklim şartları ile birlikte şiddetli yağış olaylarının miktarında ve sıklığında değişimler meydana gelmekte ve bu tip olaylar değişik zaman ve yerlerde çok daha sık ve kısa zaman diliminde çok miktarda yağış bırakmaktadırlar. Türkiye gibi karmaşık topografyaya sahip ve yüksek dağların bulunduğu bölgelerde konvektif sistemlere bağlı olarak oluşan yağışlar kısa zaman ve mesafelerde büyük değişim gösterip zararlı durumlara yol açabilirler. Özellikle yaz ve bahar aylarında, karmaşık topografik yapı farklı yükseltilerde ısı kaynakları oluşturarak konvektif-oluşumlu yağış sistemlerini tetikler. Yine, Karadeniz ve Akdeniz kıyılarında olduğu gibi, kıyıya parallel dağlar nemli hava akımlarına bariyer etkisi yaparak şiddetli yağışların oluşmasına neden olur. Hidrolojik tahminlerde, model girdisi olarak kullanılan yağışın zamansal ve mekansal karekteristiklerinin doğru gösterimi çok önemlidir. 'Geostationary Observation Earth Satellites' (GOES) dan uzundalga boylu IR kanalı (10.7 micron) kullanımı ile elde edilen yağış değerleri konvektif yapılı yağış ve bulut sistemleri için güvenilir değerler verirken bu yağış ürünleri hidrolojik süreç çalışmaları ve özellikle operasyonel uygulamalarda büyük potansiyele sahiptirler [1-2]. Bu tip yağış değerleri geniş kapsam alanları ile yağıştaki yersel değişimi yüksek alansal (4-km) ve zamansal çözünürlükte (15 dak) gösterir. Topografik etkileri içeren

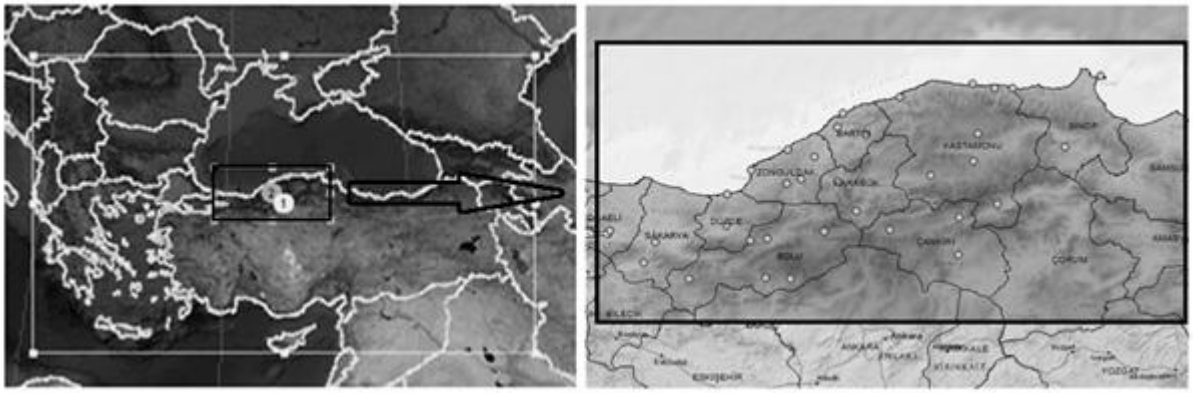
düzeltmelerin uydu yağış algoritmalarında ele alınması dağlık bölgelerde tahmin edilen yağış değerlerinin daha tutarlı olmasını sağlamaktadır [2]. Bu yüzden bu çalışmada, değişik zamanlarda Batı Karadeniz Bölgesinde meydana gelen şiddetli yağış olaylarının uydu algoritmalarından (HE; Hydro-Estimator, MPE; Multisensor Precipitation Estimation) [1-3] elde edilen yağış değerleri ile değerlendirilmesi ve gözlemler ile kıyaslanması yapılmıştır. Ayrıca, bu yağış değerleri hidrolojik model içinde kullanılarak taşkın akışlarını oluşturmadaki başarısı test edilmiştir. Son olarak, topografik etkileri içeren düzeltmelerin yağış değerleri üzerindeki etkileri NOAA'nin operasyonel bir algoritması olan SCaMPR (Self-Calibrating Multivariate Precipitation Retrieval) [4] ile gösterilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI VE YAĞIŞ ÜRÜNLERİ

MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) EUMESAT aracılığı ile MPE yağış verilerini veri havuz sistemine aktarmaktadır. MPE verileri 4-km alansal ve 15 dakikalık zamansal çözünürlüğe sahip olup, Tablo 1'de gösterilen 19 adet yağış olayları için bütün görüş diskini kapsayacak şekilde elde edilmiştir. Elde edilen yağış verileri Şekil 1'de gösterilen Bati Karadeniz bölgesindeki gözlem istasyonları ile Tablo 1'de gösterilen yağış olayları süresince saatlik bazda karşılaştırılmaları yapılmış ve ilgili istatistiksel analizler elde edilmiştir.

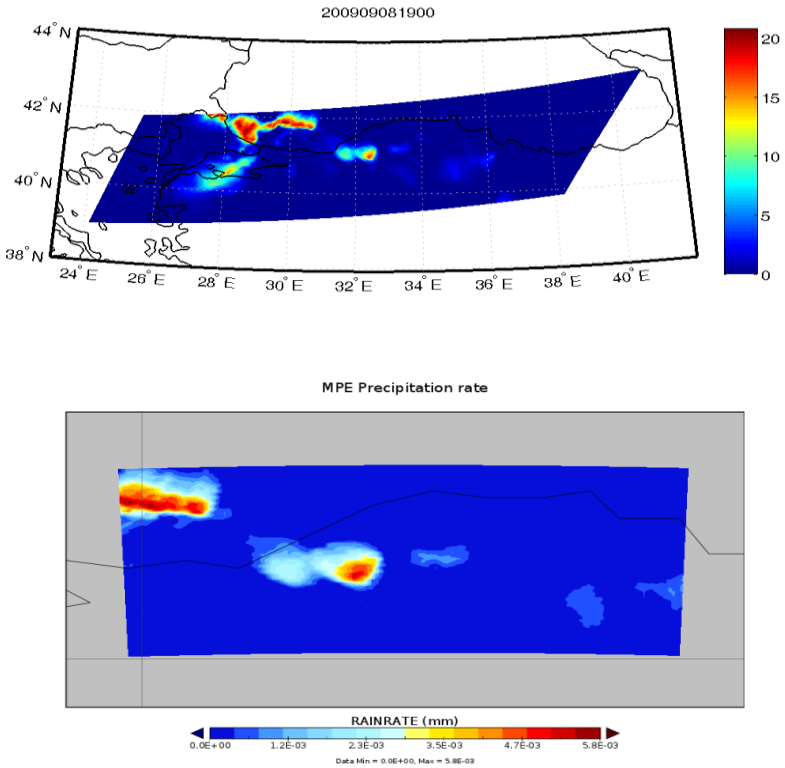
Tablo 1: Seçilen yağış olaylarının süresi ve meydana geldikleri yerler.

Olay No.	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Oluştuğu Mekan
1	28-04-05	05-05-05	Bartın, Bolu, Düzce
2	02-07-05	09-07-05	Bartın
3	13-07-05	18-07-05	Bartın, Zonguldak
4	05-06-07	15-06-07	Kastamonu (Cide), Zonguldak (Devrek)
5	30-07-07	04-08-07	Zonguldak
6	20-09-07	25-09-07	Zonguldak, Duzce (Akçakoca)
7	27-09-08	02-10-08	Kastamonu (İnebolu, Bozkurt)
8	12-07-09	17-07-09	Bartın, Kastamonu (Devrekani)
9	26-07-09	29-07-09	Kastamonu (Cide, Inebolu)
10	06-09-09	12-09-09	Sakarya, Bolu
11	19-09-09	25-09-09	Bartın
12	25-06-10	02-07-10	Bartın, Bolu, Kastamonu (Devrekani)
13	06-07-10	11-07-10	Çankırı (Ilgaz), Bolu
14	31-08-10	04-09-10	Bartın
15	13-09-10	16-09-10	Bartın
16	01-10-10	04-10-10	Kastamonu (Bozkurt)
17	07-10-10	12-10-10	Bartın, Kastamonu (Bozkurt)
18	25-05-11	05-06-11	Kastamonu (Devrekani), Karabuk (Yenice)
19	09-06-11	14-06-11	Bartın, Zonguldak (Ereğli, Devrek)



Şekil 1: Çalışma alanı ve yağış gözlem istasyonlarının konumları.

MPE yağışları ayrıca bir hidrolojik modelde kullanılarak taşkın hidrograflarını üretmedeki başarısı karşılaştırmalı olarak bir bölgesel atmosfer tahmin modeli olan WRF (Weather Research and Forecasting) ile beraber sunulmuştur. Örnek olarak, Şekil 2'de üst panelde GRIB formatında anlık (mm/saat) MPE yağışları gösterilirken, alt panelde hidrolojik modelde kullanılmak üzere model projeksiyonuna interpolasyonu yapılmış mm/saniye cinsinden aynı tarihe ait MPE yağışları gösterilmiştir.



Şekil 2: 9 Ağustos 2009 tarihi saat 19:00 GMT'ye ait MPE GRIB yağış değerleri (üst panel) ve hidrolojik model projeksiyonuna çevrilen MPE yağış değerleri (alt panel).

Çalışmada ayrıca NOAA'nin operasyonel uydu yağış algoritmaları olan HE ve SCaMPR ait yağış değerleride kullanılmıştır. Bu kapsamda, HE'ye ait yağış değerleri 2009 Eylül ayında İstanbul Ayamama deresinde meydana gelen taşkın olayının değerlendirilmesinde ve bu olayın simülasyonunda kullanılmıştır. SCaMPR yağışları ise algoritma içinde geliştirilmeye çalışılan topografik etkilerin düzeltilmesine yönelik uygulamalar da kullanılmıştır.

3. SONUÇLAR

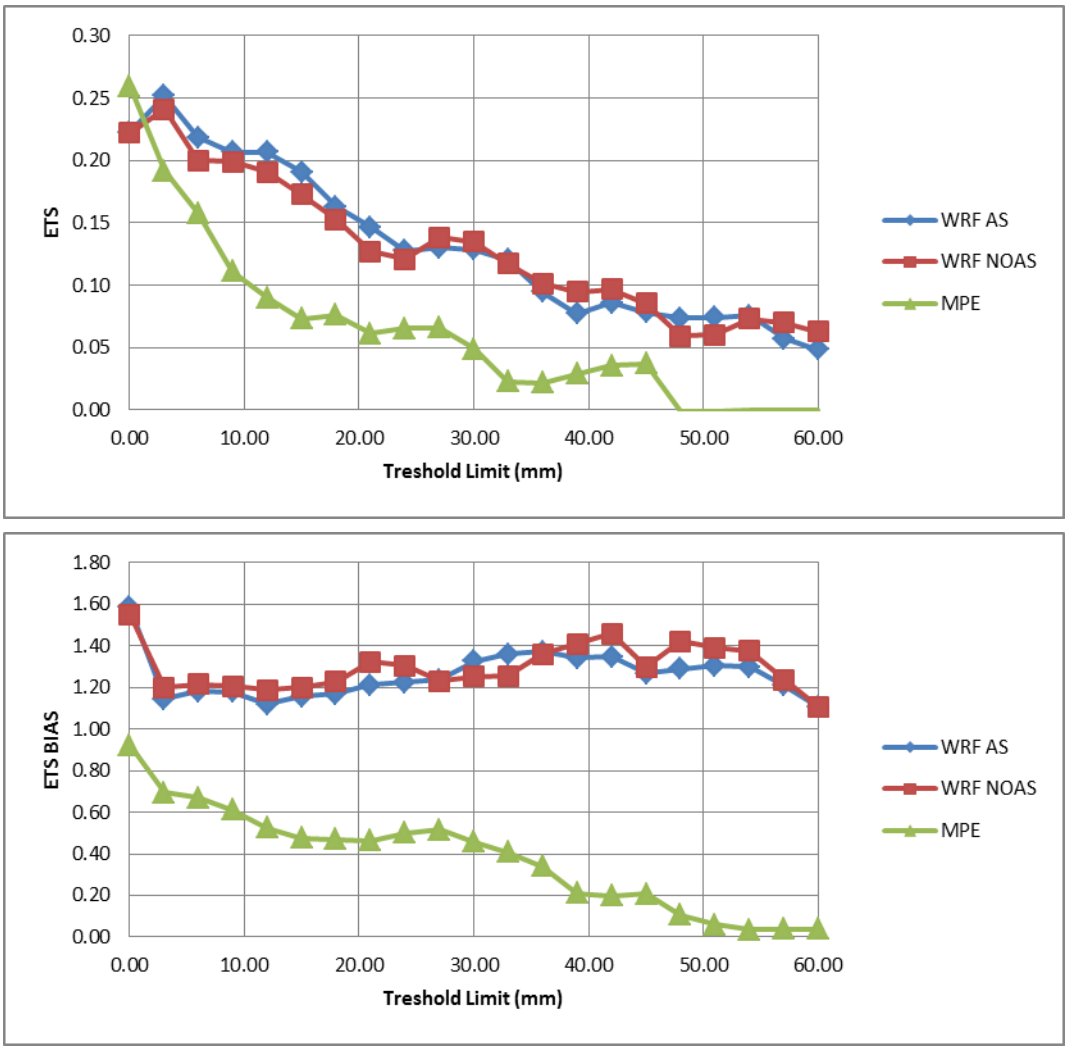
3.1. MPE Yağışlarının Gözlemler ile Karşılaştırılması

MPE yağış değerleri Tablo 1'deki olayların tamamı kullanılarak Şekil 1'de gösterilen gözlem noktalarında değerlendirilmiş ve 1, 3, 6, ve 24 saatlik aralıklarda fark, hata ve ilişki değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan istatistikler hem düzenli yağışlar için bulunmuş hemde şartlı (sadece gözlemlenen yağışlı dönemler) yağışlar için elde edilmiştir (Tablo 1). Negatif Fark sonuçlarına göre, MPE düzenli ve şartlı yağış değerlerini bütün zaman aralıklarında gözlemlere göre az tahmin etmiştir. Zaman aralığı arttıkça ilişkilerde düzelme gözlenmiş fakat günlük değerlerde düzelme düşmüştür. Bu durum, MPE algoritmasındaki yağışı az tahmin etme eğiliminin günlük yağışlarda daha fazla ön plana çıkmasından kaynaklanmıştır. MPE algoritması WRF modeline göre yağış büyüklüklerini daha az tahmin etme eğilimi göstermiştir.

Tablo 2: 1, 3, 6, ve 24 saatlik düzenli ve şartlı yağış istatistikleri özeti. İstatistiksel veriler asimilasyonlu ve asimilasyonsuz WRF model sonuçları içinde verilmiştir.

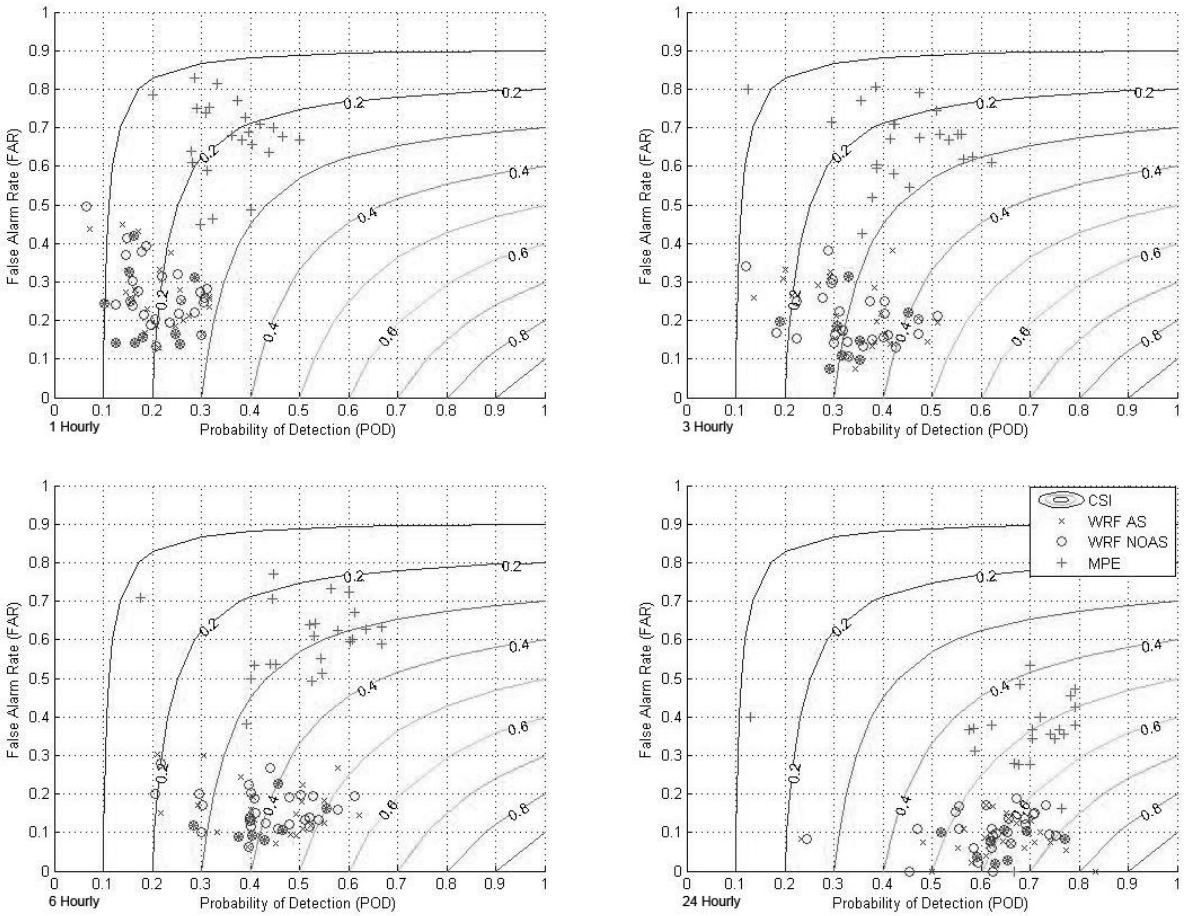
Gözlem Aralığı		WRF MODEL AS		WRF MODEL NOAS		MPE	
		Düzenli	Şartlı	Düzenli	Şartlı	Düzenli	Şartlı
1 Saat	**Fark**	0.0389	-1.0240	0.0493	-1.0048	-0.0885	-1.2968
	Hata	1.6171	3.8412	1.6590	3.8774	1.3200	3.4998
	İlişki	0.1088	0.0664	0.1030	0.0615	0.1613	0.1562
3 Saat	**Fark**	0.1300	-1.1792	0.1604	-1.1097	-0.2733	-2.1068
	Hata	3.6279	6.6968	3.7630	6.8647	2.9886	6.0921
	İlişki	0.1696	0.1296	0.1541	0.1092	0.2016	0.2078
6 Saat	**Fark**	0.2581	-1.0870	0.3174	-0.9508	-0.5249	-2.8489
	Hata	5.8472	9.4730	6.0361	9.8639	4.7591	8.4245
	İlişki	0.2270	0.1819	0.2114	0.1559	0.2397	0.2450
24 Saat	**Fark**	0.8478	-0.2519	1.0530	0.0237	-1.8022	-5.3121
	Hata	13.3393	18.5403	13.7038	19.0404	10.8916	16.3499
	İlişki	0.3645	0.2939	0.3605	0.2910	0.2822	0.2038

Şekil 3'de MPE algoritmasının farklı yağış eşik değerlerinde ETS (Equatable Treat Score) ve ETS Bias değerleri gösterilmiştir. Bu değerler, WRF modeli yağış değerleri ilede karşılaştırılmıştır. MPE'nin ETS değerlerinde, 20 mm/gün lük eşik değerine kadar keskin bir düşüş gözlemlenirken bu değerden sonra başarı oranlarındaki düşüş daha bir yavaş şekilde devam etmiştir. Ayrıca, MPE sürekli olarak bütün yağış eşik değerleri için ETS Bias değerini 1'in altında vermiş olup bu durum algoritmanın az tahmin özelliğini belirgin bir biçimde ortaya koymuştur. Yüksek eşik değerlerine doğru bu özellik çok daha belirgin hale gelmiştir. WRF modeli günlük yağışlar için MPE'e göre daha başarılı sonuçlar üretmiştir.



Şekil 3: Günlük yağış eşik değerleri için ETS ve ETS bias değerleri.

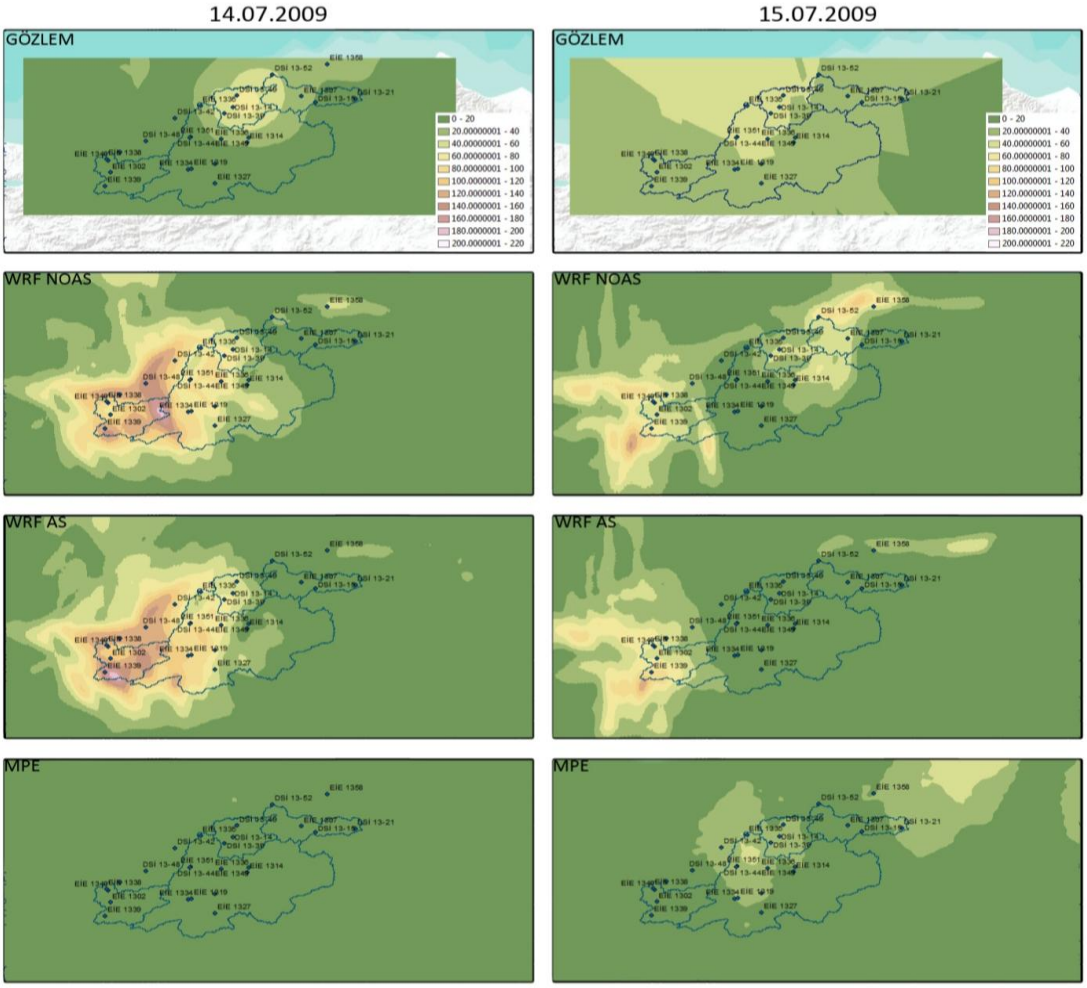
Şekil 4'de ise FAR, POD ve SCI istatistiksel parametrelerin beraberce gösterilimi verilmiş olup bu grafik ile her istasyondaki MPE yağışlarının 1 saatlik zaman diliminden 24 saatlik zaman dilimine geçerken takip ettikleri pattern gösterilmiştir. Genel olarak, zamansal boyuttaki bu geçiş süreci ile istatistiksel değerlerde düzelme gözlenmiştir. Yani, daha düşük FAR, ve daha yüksek POD ve CSI değerleri gözlenmiştir. MPE'nin FAR değerleri WRF modeline göre çok daha yüksek kalmıştır.



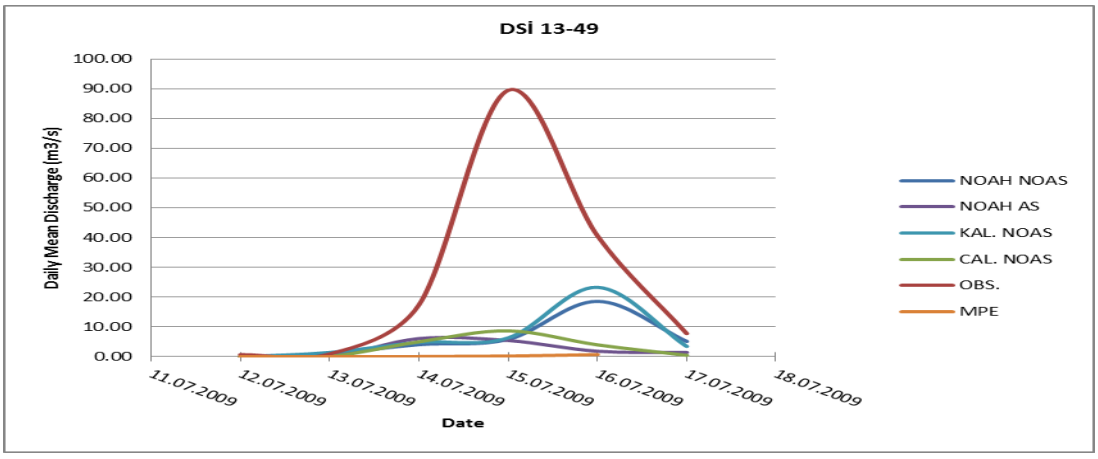
Şekil 4: 1, 3, 6, ve 24 saatlik yağışlar için FAR, POD ve CSI değerleri.

3.2. Uydu Yağışları ile Hidrolojik Model Uygulamaları

MPE yağışları hidrolojik modele girdi olarak verilip değişik şiddetli yağış olayları için taşkın hidrograflarının oluşturulmasındaki başarısı test edilmiştir. Bu kapsamda, ilk olarak yağış olaylarının bölge üzerindeki alansal dağılımlarına bakılmıştır. Şekil 5'de Tablo 1'de verilen 8 nolu olay için 14 ve 15 Eylül 2009 tarihlerindeki MPE ve gözlem yağışlarının dağılımları gösterilmiştir. Ayrıca, bu grafikte WRF modelinin asimilasyonlu ve asimilasyonsuz yağış değerleride gösterilmiştir. MPE yağışı ilk günde tamamen yakalayamazken ikinci günde (15 Eylül) az tahmin eğilimi ile belli bir miktarda gösterebilmiştir. Bu yağış değerleri kullanılarak yapılan hidrolojik simülasyonlar ise Şekil 6'da gösterilmiş ve MPE yağışları ile taşkın hidrografı oluşturulamamıştır.



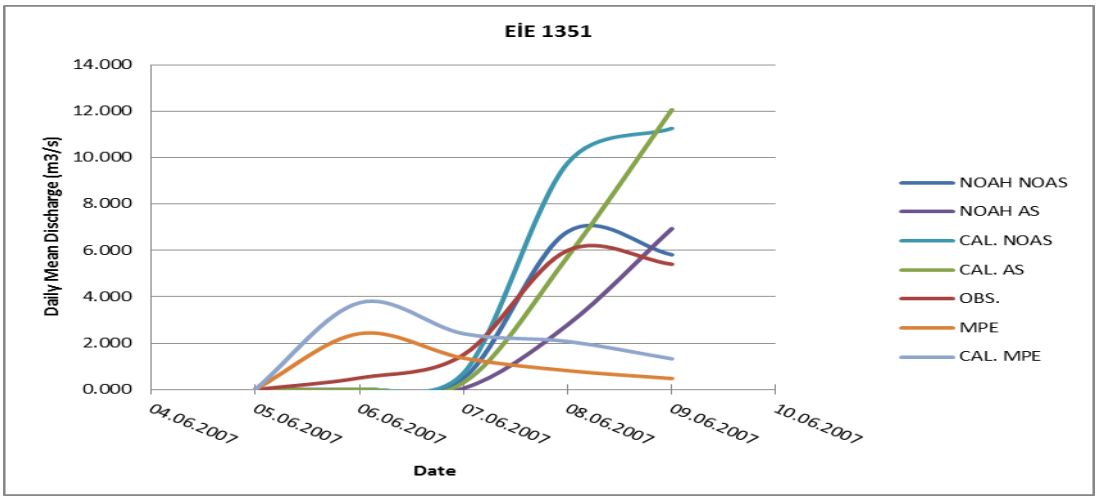
Şekil 5: 14 ve 15 Eylül 2009 tarihlerinde bölgede gözlemlenen ve tahmin edilen günlük yağış dağılımları.



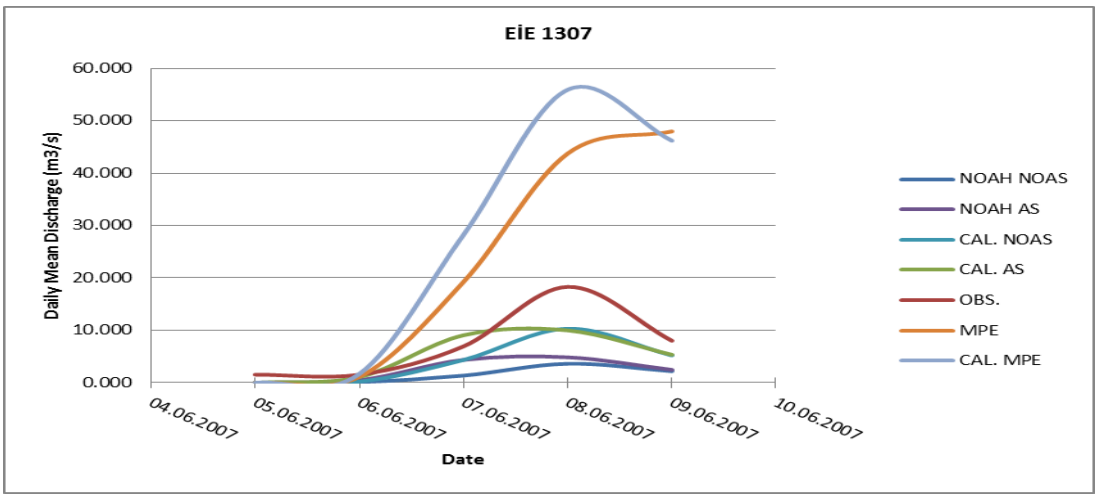
Şekil 6: Farklı yağış ürünleri ile üretilen taşkın hidrografları.

Şekil 7 de de yine MPE algoritmasının az tahmin özelliğinden dolayı 4 nolu olay için oluşturulan taşkın hidrografı gözlem hidrografına göre hacimsel olarak daha düşük kalmış ve gözlem akımındaki pik değerin çok altında kalmıştır. Şekil 8 ise, yine 4 nolu olay için fakat farklı bir akım

gözlem istasyonunda oluşturulan taşkın hidrograflarının gözlem ile karşılaştırmasını göstermektedir. Bu durumda, MPE nadir görülen bir durum olarak yağışı gözlemlere göre daha yüksek tahmin etmiş ve taşkın hidrografı gözleme göre daha büyük pik oluşturmuştur. Fakat, pik değerin zamanlaması gözlemle uyumludur.

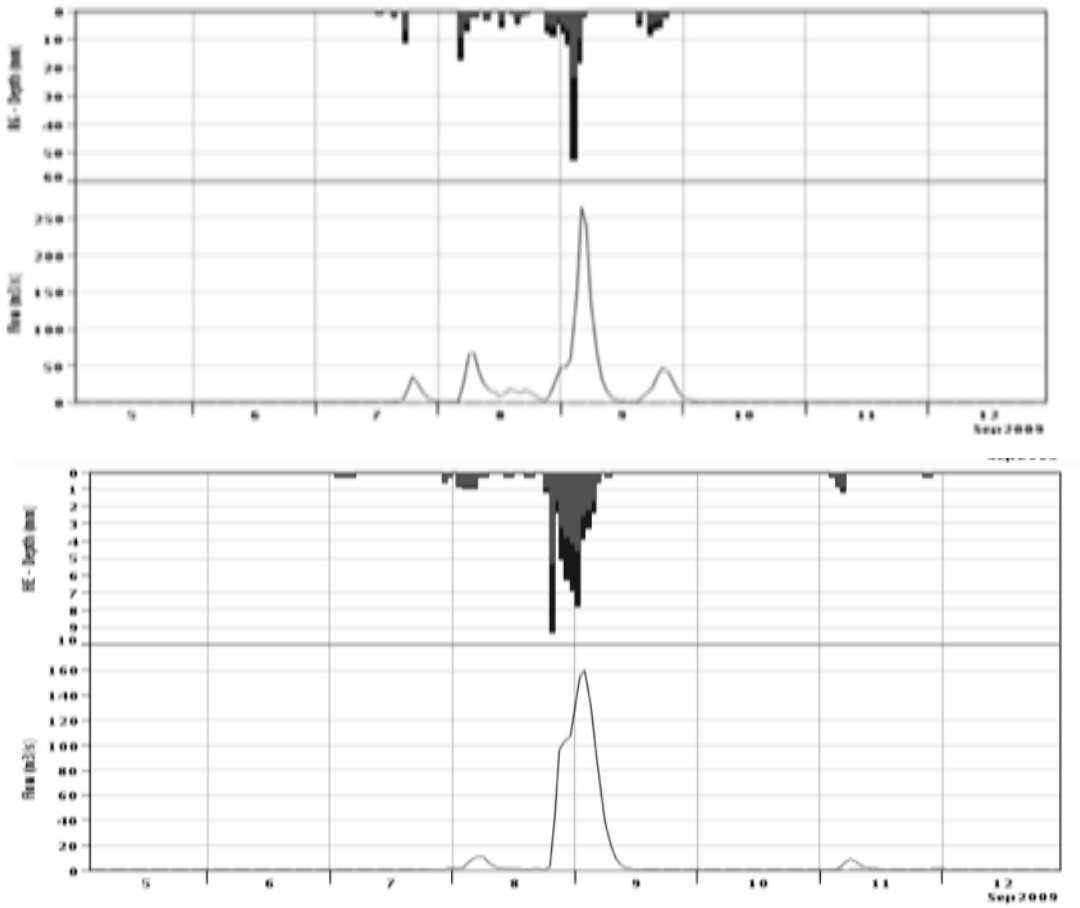


Şekil 7: 4 nolu olay için üretilen ve gözlemlenen taşkın hidrografları.



Şekil 8: 4 nolu olay için üretilen ve gözlemlenen taşkın hidrografları.

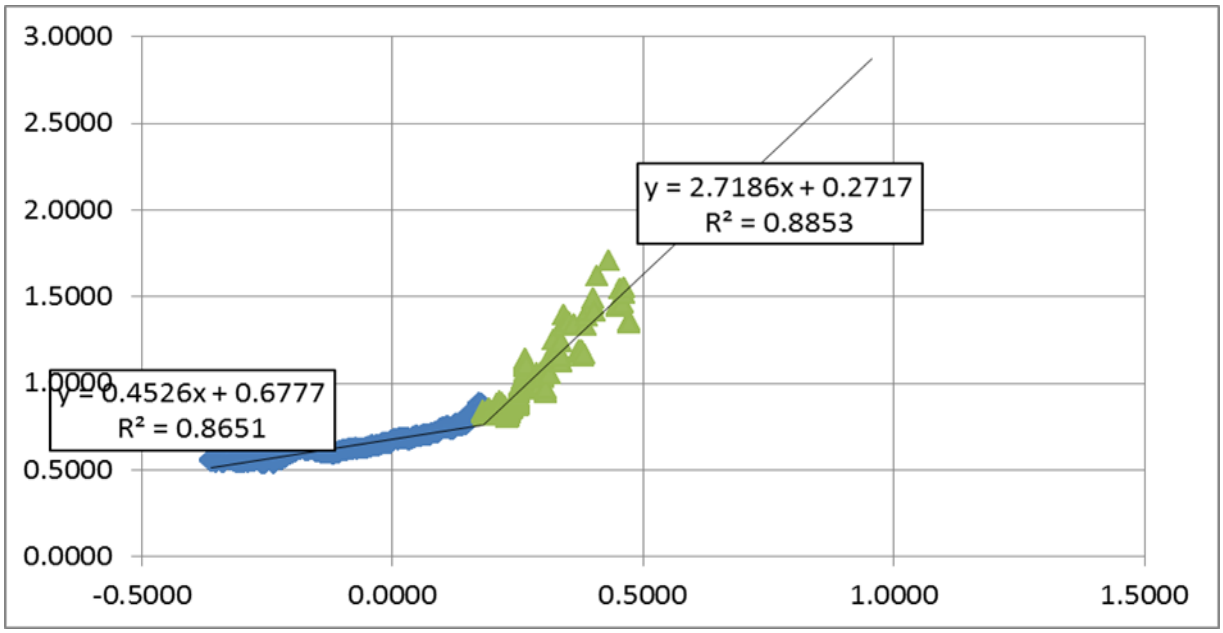
NOAA'nin HE yağış algoritmasından elde edilen yağışlar 8-12 Eylül 2009 tarihlerinde İstanbul'da meydana gelen taşkın olayı için değerlendirilmiş ve bir hidrolojik model kullanımı ile taşkın hidrografı elde edilmiştir. Şekil 9 hem gözlem yağışları kullanımı ile hemde HE yağışlarının kullanımı ile elde edilen taşkın hidrograflarını ve yağış heyetograflarını göstermektedir. HE yağışları kullanımı ile elde edilen taşkın hidrografının zamanlaması gözlem yağışları kullanıldığında elde edilen hidrografinki ile birebir uyumludur fakat HE yağışları ilede pik debinin büyüklüğü yakalanamamıştır.



Şekil 9: 8-12 Eylül 2009 İstanbul taşkını için gözlem ve HE yağışları kullanımı ile taşkın hidrografının elde edilmesi.

3.3. Topografik Etkilerin Değerlendirilmesi

Çoğu uydu yağış algoritmalarında topografyaya bağlı yağıştaki düzeltmeler mevcut değildir. Özellikle dağlık bölgelerde ki uygulamalarda orografik yağış düzeltmeleri bu algoritmalarda önemli hale gelmektedir [5]. Örnek olarak, NOAA'nın operasyonel yağış algoritması olan SCaMPR için dağlık bölgelerdeki yağış ölçüm değerleri kullanılarak orografik yağış düzeltme metodu geliştirilmektedir. Şekil 10'da konvektif yağışların yoğun olduğu 2002, 2003 ve 2004 yıllarına ait yaz ayları için toplanan gözlem yağışları kullanılarak elde edilen SCaMPR yağış hata oranları (gözlem/SCaMPR), bölgesel bir atmosfer modelinden elde edilen 0.2 m/s lik aralıklı düşey yönlü hızlarla ilişkilendirilmiş ve ilgili regrasyon denklemleri çıkartılmıştır. Bu ilişkiye göre, yüksek düşey hızlara doğru gidildikçe SCaMPR yağışlarının hata değerleri artmakta ve dolayısı ile algoritma içinde topografyaya bağlı yağış düzeltmelerine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Elde edilen denklemler SCaMPR yağışlarına uygulandığında yaklaşık olarak yaz yağışlarında %1.5 oranında düzelme sağlanmıştır.



Şekil 10: Y-eksenindeki hata oranları (gözlem yağışları/SCaMPR yağışları) ile x-eksenindeki 0.2 m/s aralıklı düşey hız değerleri arasındaki ilişki.

KAYNAKLAR

[1] Scofield, R. A. ve Kuligowski, R. J., Status and outlook of operational satellite precipitation algorithms for extreme-precipitation events. Weather Forecasting, 18, pp. 1037–1051, 2003.

[2] Yucel, I, Kuligowski, R. J., ve D. Gochis, Evaluating the hydro-estimator satellite rainfall algorithm over a mountainous region. International Journal of Remote Sensing, 32:22, 7315-7342, 2011.

[3] Heinemann T., Lattenzio A., Roveda F., The Eumetsat Multi Sensor Precipitation Estimate (MPE), Eumetsat, 2002.

[4] Kuligowski, R. J., A self-calibrating real-time GOES rainfall algorithm for short-term rainfall estimates, J. Hydrometeor., 3, 112-130.

[5] Vicente, G.A., Davenport, J.C. and Scaofield, R.A., The role of orographic and parallax corrections on real time high resolution satellite rainfall rate distribution. *International Journal of Remote Sensing*, **23**, pp. 221–230, 2002.

Bitki Gelişiminin Uzaktan Algılama Yöntemleri ile 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
caldag@itu.edu.tr

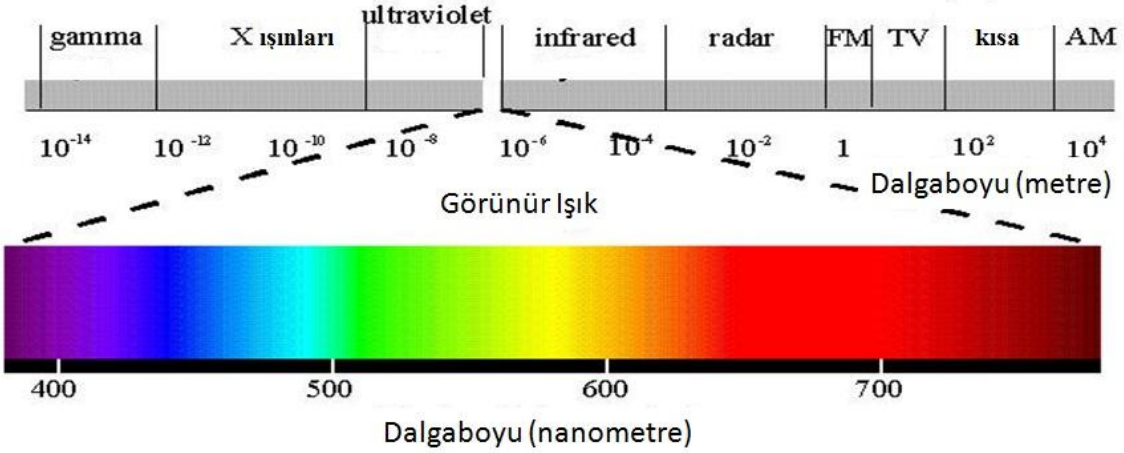
ÖZET

Agro-meteorolojik ve biyofiziksel parametrelerin takip edilmesi bitki gelişiminin ve veriminin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Uzaktan algılama yöntemleri ile yersel ölçümlere nazaran daha hızlı ve ekonomik şekilde bilgilere ulaşılabilmekte böylelikle bitki gelişim ve verimi tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada, Kırklareli'nde kışlık buğday (Triticum aestivum L.) ekili arazi üzerinde el tipi spektroradyometre ile yapılan ölçümlerden elde edilen Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) değerleri ile Aqua MODIS uydusundan alınan 250m uzaysal çözünürlüklü 16 günlük kompozit NDVI ürünü (MYD13Q) arasında pozitif doğrusal ilişki tespit edilmiştir (R^2=0.72). Yersel ölçümler ile belirlenen yaprak alan indeksi (LAI) ve biyokütle değerleri ile gelişme dönemi boyunca olan toplam NDVI ($NDVI_t$) arasındaki ilişkiler belirlenmiş buna göre LAI –$NDVI_t$ R^2=0.88 ile ve Biyokütle-$NDVI_t$ R^2=0.95 ile doğrusal olmayan ilişkilere sahip olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlara göre MODIS uydusundan temin edilen NDVI ürünü incelenerek bitkinin gelişimi hakkında bilgi elde edilebilecektir. Böylelikle yersel ölçümlerle belirlenmesi zahmetli ve maliyetli olan LAI ve biyokütle gibi biyofiziksel parametreler uydu verileri sayesinde kolay ve pratik yoldan elde edilerek bitki gelişim aşamaları kolaylıkla takip edilebilecektir.

Anahtar Kelimeler — uzaktan algılama, NDVI, tarımsal meteoroloji, LAI, biyokütle.

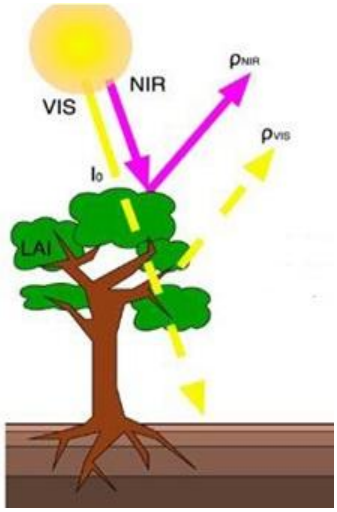
1.GİRİŞ

Her cisim Şekil 1'de gösterilen elektromanyetik spektrumun farklı dalga boylarında farklı yansıtma özelliklerine sahiptir. Bu farklı spektral özellikler cisimleri uzaktan algılama teknikleri ile uydu verileri kullanılarak ayırt etmede kullanılır.



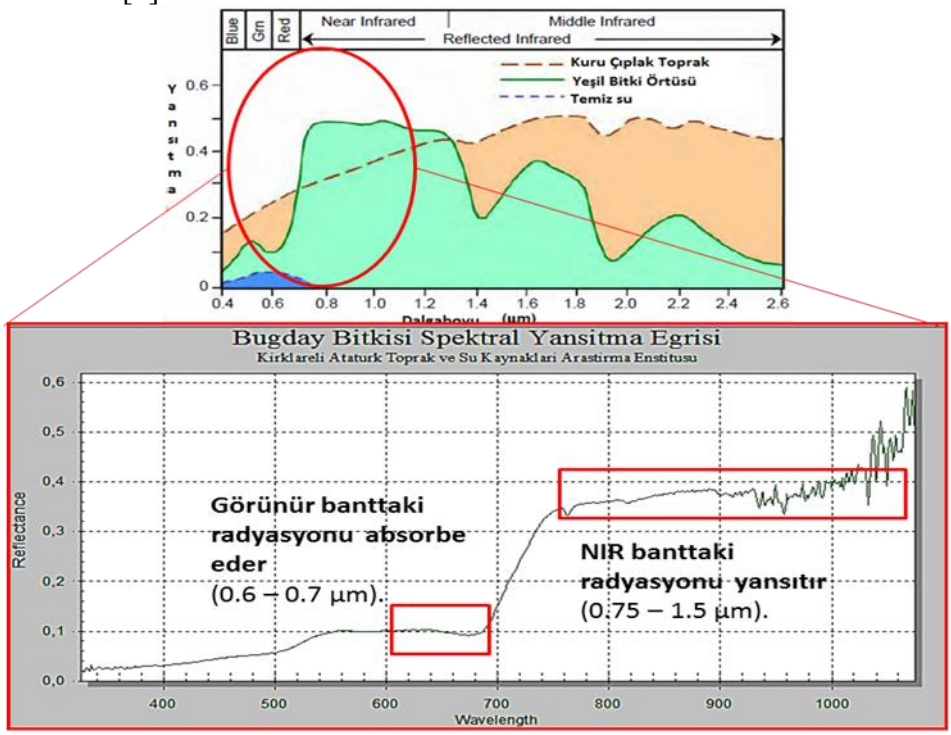
Şekil 1: Elektromanyetik spektrum

Bitki örtüsü elektromanyetik spektrumun yakın kızılötesi (NIR) ve görünür (VIS) kırmızı bölgelerinde oldukça farklı yansıtma özelliklerine sahiptir. Yakın kızılötesi bandında sağlıklı bitkiler yüksek yansıtma değerlerine sahipken görünür banttaki radyasyonu absorbe eder. Tam tersi olarak da sağlıksız ya da hasta bitki örtüsü de yakın kızılötesi bandında düşük yansıtma ve görünür bantta da yüksek yansıtma değerlerine sahiptir (Şekil 2 ve Şekil 3).



Şekil 2: EMR ile bitki örtüsünün etkileşimi.

Özel seçilmiş en az iki spektral banda ait değerler vasıtası ile elde edilen ve bitkilerin özelliklerini ön plana çıkararak daha iyi anlaşılmasını sağlayan spektral dönüşümlere "spektral bitki indeksi" denir [1].



Şekil 3: Bitki örtüsünün spektral özellikleri.

Bitki gelişim aşamaları boyunca bitkinin gözlemlenmesinde normalleştirilmiş fark bitki indeksi (NDVI) sıklıkla kullanılan spektral bitki indekslerinden biridir. 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 [2-3]. Bu dönüşümler sayesinde yeşil bitki örtüsünün sağlık durumu ve biyokütle ile yaprak alan indeksi (LAI) gibi gelişmişlik durumunu belirten biyofiziksel özellikleri hakkında bilgi sahibi olunabilir. Ölçümler yerinde çeşitli aletlerle mümkün olmakla birlikte, kolaylıkla ulaşılabilen uydu verileri sayesinde bitki gelişiminin takibi de kolaylaşmıştır [3].

LAI, birim alandaki yaprak miktarı değeri olarak tanımlanmaktadır ve ekosistemdeki yaprak miktarı ve gelişmişliğin bir ölçüsüdür [4]. Boyutsuz bir değer olup fotosentez, solunum ve yağmurun tutulması gibi bitki örtüsü ile çevresel faktörlerin etkileşimini tanımlayan süreçlerde önemli bir rol oynamaktadır [2-5]. LAI, arazide yapılan ölçümlerle tespit edilebilir ya da uydudan elde edilen değerlerden türetilebilmektedir [3]. Bitkinin türüne- klorofil içeriği ve diğer karakteristikleri - göre değişmekle birlikte yapılan çalışmalar göstermiştir ki NDVI-LAI arasında eksponansiyel bir ilişki söz konusudur [2-5-6].

Biyokütle, bitkinin kuru madde ağırlığı olarak tanımlanmaktadır. LAI gibi biyokütle de verimin tespitinde kullanılabilen önemli biyofiziksel parametrelerden biridir. Konvansiyonel metodlar kullanılarak 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 (AVHRR) dan türetilen toplam NDVI değerleri (ΣNDVI) arasındaki ilkişkinin belirleyici olduğu (R^2=0.42) tespit edilmiştir [7].

Bu çalışmada Kırklareli Atatürk Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü arazisinde ekili olan kışlık buğday bitkisi *(Triticum aestivum L.)* için Kasım 2009-Temmuz 2011 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

2.1Deneme Alanı ve Kullanılan Veri

Kırklareli Atatürk Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü arazisinde kışlık buğday bitkisi ekili arazi Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4: Çalışmanın yapıldığı buğday 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 ölçülmektedir [8-9].

Spektral yansıtma değerleri Şekil 5'te gösterilen el tipi spektroradyometre (FieldSpec HandHeld Portable Spectroradiometer, ASD Inc.) ile düzenli aralıklarla ölçülerek kaydedilmiş ve Denklem 1'de belirtilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

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



Şekil 5: El-tipi spektroradyometre.

Bitkilerden alınan örnekler etüv'de (65-70 ^{o}C arasında 48 saat) kurutularak biyokütle değerleri elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6: Bitkiden alınan örnek etüvde kurutularak biyokütle ölçümü yapılmaktadır.

Güneşten gelen radyasyonu kullanarak ölçüm yapan Şekil 7'de gösterilen LAI-2000 aleti kullanılarak 2 haftalık periyotlarda hem bitkinin üstünden hem de bitkinin aralarından 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.



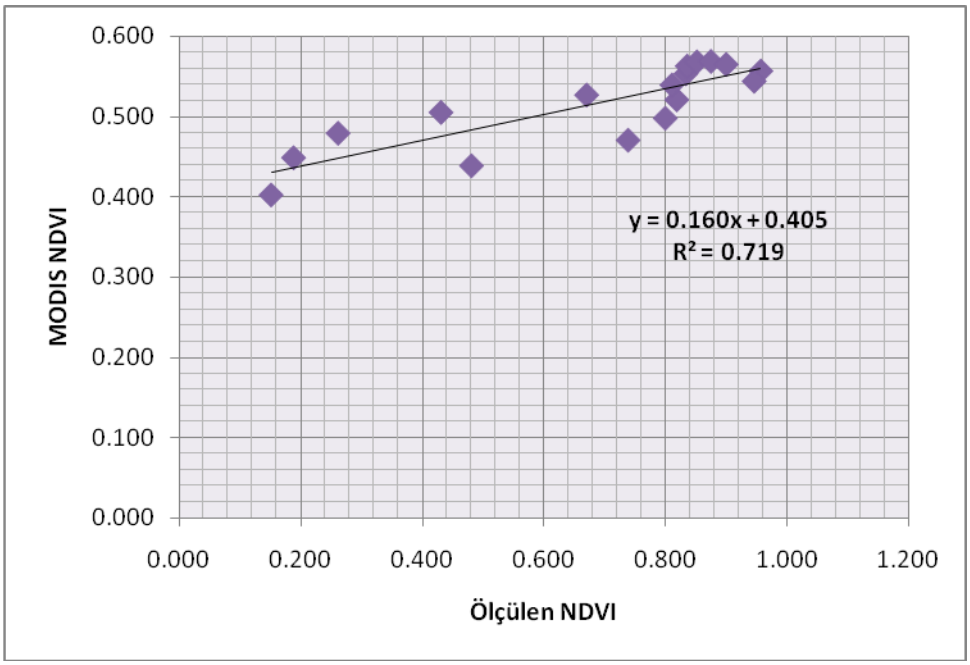
Şekil 7: Yaprak alan indeksi ölçer.

3.UYGULAMA

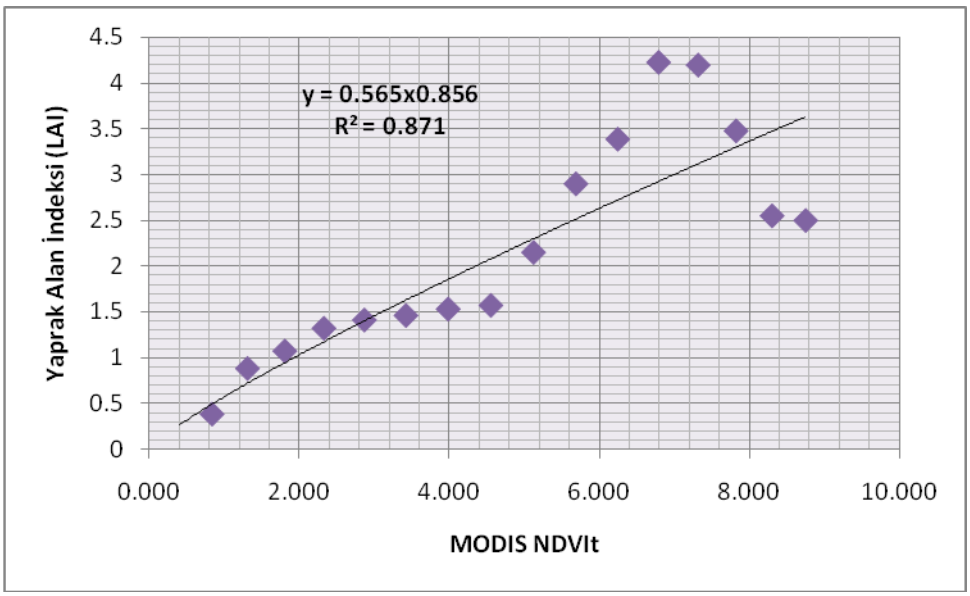
Çalışmada el spektroradyometresi ile kışlık buğday ekili alanda 325-1075 nm aralığında ölçümler yapılarak bitkilerin yansıtma değerleri iki hafta bir olmak üzere kaydedilmiştir. Kışlık buğday bitkisi için gelişme dönemi boyunca ölçülen NDVI ve uydudan elde edilen ve Savitzky-Golay yöntemi ile ikinci dereceden filtrelenerek düzeltilen Aqua-MODIS NDVI değerleri arasında ilişkiler elde edilmiştir. Daha sonra arazide ölçümü yapılan LAI ve biyokütle değerlerinin ve gelişme dönemi boyunca olan toplam MODIS NDVI'nın ilişkileri ortaya konmuştur.

4. SONUÇ LAR

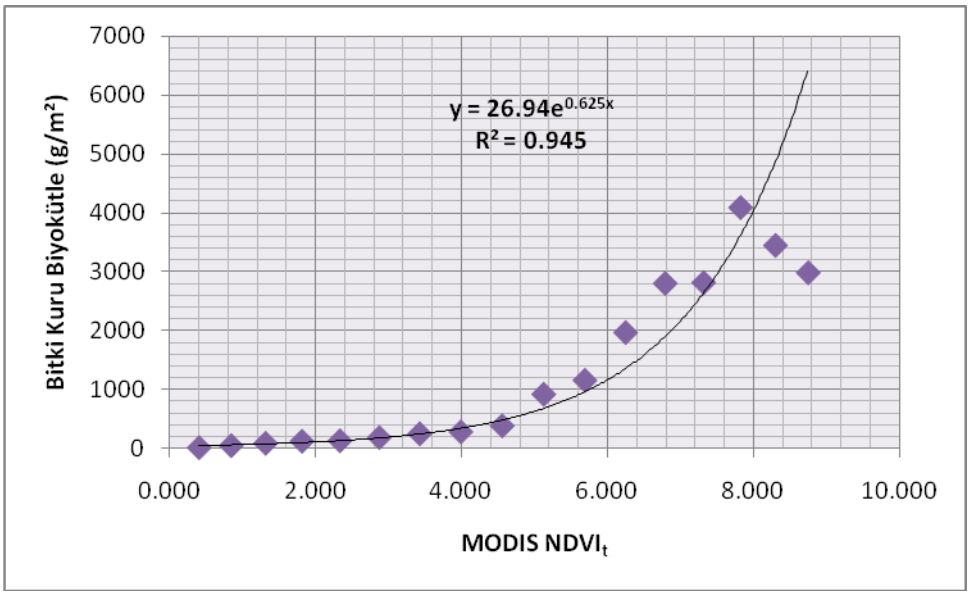
Ölçülen ve uydudan temin edilen NDVI değerleri arasında doğrusal ilişki tespit edilmiştir. İki veri seti arasındaki determinasyon katsayısı r^2 =0.72'dir (Şekil 8). Yersel ölçümler ile belirlenen yaprak alan indeksi (LAI) ve biyokütle değerleri ile gelişme dönemi boyunca olan toplam NDVI ($NDVI_t$) arasındaki ilişkiler belirlenmiş buna göre LAI –$NDVI_t$ r^2=0.88 (Şekil 9) ile ve Biyokütle-$NDVI_t$ r^2=0.95 (Şekil 10) ile doğrusal olmayan ilişkilere sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 8: Yersel ölçüm ile elde edilen NDVI ile MODIS uydusu arasındaki ilişkiyi gösteren saçılma diyagramı.



Şekil 9: MODIS uydusundan elde edilen toplam NDVI ile LAI arasındaki ilişkiyi gösteren saçılma diyagramı.



Şekil 10: MODIS uydusundan elde edilen toplam NDVI ile biyokütle arasındaki ilişkiyi gösteren saçılma diyagramı.

Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre yapılan 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.

KAYNAKLAR

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] Şaylan, L., Çaldağ, B. ve Bakanoğulları, F. 2010b. İklim Değişiminin Bitki Gelişimine Olası Etkilerinin Bitki Gelişim Modelleri ile İncelenmesi. TÜBİTAK COST 108O567 nolu proje 3. dönem araştırma geliştirme raporu.

Türkiye İçin Meteosat İkinci Nesil Uyduları(MSG) Yangın Ürünü(FIR) Validasyonu

Murat ARSLAN[1], Fatih DEMIR[2], Erdem ERDİ[3], İbrahim SÖNMEZ[4], Ahmet Emre TEKELI[5]

[1] MGM Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, muarslan@mgm.gov.tr
[2] MGM Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, fdemir@mgm.gov.tr
[3] MGM Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, eerdi@mgm.gov.tr
[3]Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Meteoroloji Mühendisliği, Samsun, Türkiye, isonmez@omu.edu.tr
[5]Kral Saud Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Riyad, Suudi Arabistan,ahmetemretekeli1975@yahoo.com

ÖZET

Orman yangınları sebep oldukları zararlar açışından en tehlikeli doğal afetler arasında bulunmaktadır. Lokal, bölgesel ve küresel etkilerinden dolayı dikkatle izlenmektedirler. Orman yangınlarının tespit ve takibinde, geleneksel gözlem şebekelerine ek olarak, uzaktan algılama ve özellikle uydu verileri gün geçtikçe daha etkin olarak kullanılmakta ve bu konudaki çalışmalar umut vaad etmektedir. Bu çalışmada, MSG uydularındaki SEVIRI sensörü verilerinden elde edilen yangın ürünü(FIR), 2007, 2008 ve 2009 yıllarına ait Mart-Eylül dönemi için Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğünden elde edilen orman yangın kayıtları ile kıyaslanmıştır. Tutarlılık oranı(POD) ve yanlış tespit oranı(FAR) değerleri ürün alt grupları olan muhtemel ve olası yangınlar için aylık olarak sunulmuştur. POD değerlerinin yanan alan miktarı ile değişimi her iki alt grup için aylık olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Orman yangınları, MSG, uydu verisi, validasyon, yanan alan

1. GİRİŞ

Orman yangınları, sebep oldukları zararlar açısından en büyük doğal afetler arasında yer almaktadır. Yüksek sıcaklık ve düşük nem şartlarının gözlendiği yaz aylarında orman yangınları en sık gözlenirken, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde de benzer hadiselere rastlanmaktadır.

Lokal bir olay olarak düşünülen orman yangınlarının küresel ölçekteki etkilerinden dolayı tüm dünyada dikkatli bir şekilde takip edilmektedir. Lokal ölçekteki en önemli etkileri, ekosistemdeki doğal döngüyü doğrudan etkilemeleri ve bazı canlı çeşitlerinin yok olmasına neden olmaları(Bradstock, 2008) ile birlikte can ve mal kaybına sebebiyet vermeleridir(Cohen, 2000). Bölgesel etkileri ise, atmosfere karbondioksit, ozon, karbonmonoksit, sülfür gibi kirleticiler ile partiküler madde bırakmaları(Hardy vd., 2001) ve su kaynaklarına etkileri(Spencer vd., 2003) olarak özetlenebilir. Daha karmaşık etkilerinin gözlendiği küresel ölçekteki etkileri arasında,

yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonunu azaltıcı etkileri(Andreae ve Merlet, 2001) ve bulut yoğunlaşma çekirdeği görevi üstlenen aerosol salınımı nedeni ile yağış karakteristiklerinde neden oldukları değişiklikler(Rosenfeld, 1999) gösterilebilir.

Farklı ölçeklerdeki etkileri nedeni ile orman yangınlarının dikkatli bir şekilde takip edilmesi gerekmektedir. Geleneksel gözlem şebekesini oluşturan gözetleme kulelerinin yetersizliği ve ormanlık alanların zorlu topoğrafik yapısı, etkin gözlem yapılmasını zorlaştırmaktadır. Alternatif olarak uzaktan algılama yöntemleri ve özellikle uydu verisinin kullanılması, daha sistematik ve sürekli gözlem sağlayabilmektedir.

Yeryüzünden yansıyan ve yayınlanan radyasyonu algılamak için tasarlanan pasif uydu sensörleri, orman yangını gözleminde kullanılmaktadır. Yangınlar, en fazla orta infrared bölgesinde(3-5 μm) olmak üzere spektrumum geniş bir aralığında radyasyon yayınlamakla birlikte, 10-11 μm termal infrared bandında çevresine göre daha yüksek parlaklık sıcaklığı(PS) gösterirler(Zhukov vd., 2006). Bu nedenle uydu gözlemlerinde orta ve infrared kanalları yangın tespitinde kullanılmaktadır(Flasse ve Ceccato, 1996).

Dünya üzerinde sabit disk alanını görüntüleyen sabit yörüngeli uydular, sahip oldukları yüksek zamansal çözünürlük sayesinde orman yangınlarının oluşum ve gelişim takibini mümkün kılmaktadırlar(Calle vd., 2006). Düşük uzaysal çözünürlükten kaynaklanan küçük ve/veya şiddeti az yangınların tespitindeki performans düşüklüğü ise sabit yörüngeli uyduların dezavantajıdır(Boschetti vd., 2004).

Bu çalışmada, Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğünden(OGM) temin edilen 2007, 2008 ve 2009 yıllarına ait Mart-Eylül dönemi orman yangın kayıtları ile, Meteosat İkinci Nesil(MSG) uydularında bulunan SEVIRI(Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) sensorü verileri kullanılarak üretilen yangın ürünü(FIR) validasyonu gerçekleştirilmiştir. FIR ürün performansı, ‘muhtemel’ ve ‘olası’ alt grupları için ayrı olarak incelenmiştir. Herbir ürün sınıfına ait tutarlılık oranı(POD) ve yanlış tespit oranı(FAR) istatistik sonuçları aylık olarak sunulmuştur. Ayrıca POD değerlerinin yanan alan büyüklüğüne göre değişimi incelenmiştir.

2. VERİ

2.1 FIR Ürünü

MSG uydularında bulunan SEVIRI 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(Schmetz vd., 2003).

FIR ürününü için, SEVIRI 3.9μm(IR3.9) ve 10.8μm(IR10.8) kanallarına ait PS değerleri, PS farkları ve 3x3 piksel alanındaki PS standart sapmaları kullanılmaktadır (EUMETSAT, 2007a). FIR ürününde kullanılan testler ile gündüz ve gece eşik değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Belirtilen testler sadece kara üzerindeki pikseller için uygulanıp deniz, bulut ve çöl bölgelerini içeren pikseller maskelenmiştir. Tablo 1'de belirtilen kriterlere göre pikseller, 'muhtemel', 'olası' veya 'yangın yok' olarak sınıflandırılır. Muhtemel, veya daha kuvvetli bir uyarı olan olası yangın bilgilerini içeren FIR ürünü, 15 dakikalık aralıkla tam disk alanı için ASCII ve GRIB formatında EUMETCast (EUMETSAT veri gönderme sistemi) aracılığı ile kullanıcılara ulaştırılmaktadır.

Tablo 1. FIR ürünü testleri ve gündüz ile gece için kullanılan test eşik değerleri.

	Muhtemel Yangın		**Olası Yangın**	
Test	**Gündüz (^{o}K)**	**Gece (^{o}K)**	**Gündüz (^{o}K)**	**Gece (^{o}K)**
IR3.9	310	290	310	290
IR3.9-IR10.8	8	0	10	5
STD3.9	2.5	2.5	4	4
STD10.8	2	2	2	2

2.2 Bulut Maskesi ürünü

Bu çalışmada kullanılan uydu bulut maskesi ürünü(BM), EUMETSAT MPEF(Meteorolojik Ürünler Üretim Birimi) tarafından üretilmektedir. MSG piksel çözünürlüğünde bulutluluk bilgisi verilen üründe pikseller, 'su üzerinde açık gökyüzü', 'kara üzerinde açık gökyüzü', 'bulut' veya 'veri yok' sınıflarından birine atanmaktadır. Ürün algoritması ile alakalı detaylar EUMETSAT(2007b) tarafından sağlanmaktadır. BM her 15 dakikada bir üretilerek EUMETCast aracılığıyla GRIB formatında dağıtılmaktadır.

2.3 Yer Gözlemleri(Yangın Kayıtları)

Orman Genel Müdürlüğü bünyesinde bulunan Yangından Korunma ve Yangınla Mücadele Daire Başkanlığı, Türkiye geneli için Orman Yangınları Kayıtlarını(OYK) tutmaktadır. Bu kayıtlarda, yangın sonrasında yerel şube tarafından Daire Başkanlığına ulaştırılan bilgiler kapsamında, Bölge-İşletme-Şeflik(BİŞ) alt bölge bilgisi, yangın zamanı, yanan alan büyüklüğü, yanan orman karakteristikleri gibi bilgiler saklanmaktadır. 2008 yılına ait örnek bir kayıt, bu çalışma için uyarlandığı şekliyle Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. 2008 yılına ait orman yangın kayıtlarının bir bölümü

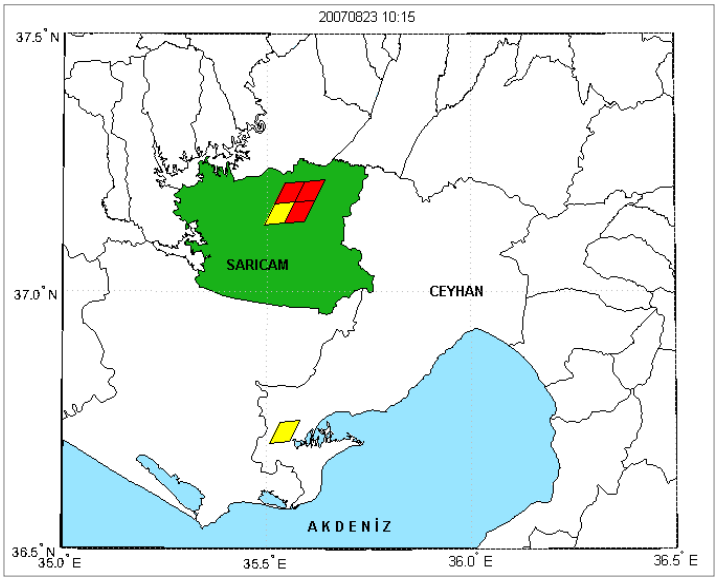
	Yer Bilgisi			Yangın Başlama		Yangın Bitiş		
Kayıt No	**Bölge**	**İşletme**	**Şeflik**	**Tarih**	**Saat**	**Tarih**	**Saat**	**Yanan Alan(ha)**
1102	İzmir	Manisa	Saruhanlı	20080729	12:25	20080730	02:25	2.5
1103	Adapazarı	Adapazarı	Adapazarı	20080729	14:10	20080729	17:55	0.6
1104	K.Maraş	Adıyaman	Gölbaşı	20080729	14:50	20080729	16:00	0.1
1105	Elazığ	Tunceli	Pulumur	20080729	14:00	20080729	18:15	2.0

3. VALİDASYON METODOLOJİSİ

FIR ürünü ile OYK bilgilerinin kıyaslanabilmesi için her iki verinin zaman ve uzay boyutunda çakıştırılması gerekmektedir. Zaman boyutu dikkate alındığında, FIR ürünleri her saatin çeyrek dilimlerinde(00, 15, 30 ve 45 dakikalarında) mevcut iken OYK ise belirtilen yangın başlangıç ve bitiş zamanı arasında süreklilik göstermektedir. Bu nedenle OYK verileri başlangıç ve bitiş zamanları dikkate alınarak 15'er dakikalık ayrık veriler haline getirilmiştir. Tam olarak çeyrek üzerine düşmeyen OYK başlangıç saatleri bir sonraki çeyreğe; bitiş saatleri ise bir önceki çeyreğe yuvarlanmıştır.

OYK veri setindeki yangın kayıtlarına ait uzaysal konum bilgisi mevcut değildir. Ancak, yangının meydana geldiği şeflik bilindiğinden ve her şefliğin sorumluluk alanı bir poligon olarak OGM tarafından belirlenmiş olduğundan, ilgili yangın kaydının hangi uzaysal alan içine düştüğü bulunabilmektedir. Bu çalışma ile validasyonu yapılan FIR uydu ürünü , piksel temelli olup, her pikselin temsil ettiği uzaysal alan ilgili hesaplar kullanılarak bulunabilmektedir.

Örnek olarak, 23 Ağustos 2007, 10:15 UTC için piksel bazlı FIR ürünleri ve OYK bilgileri Şekil 1'de verilmiştir. Şekilde ilgili tarih için OYK'da aktif yangın sadece Adana-Adana-Sarıçam BİŞ poligonunda gözlenmektedir. Bununla birlikte, FIR ürünü Sarıçam Şeflik sınırları içinde üç tane olası(kırmızı) bir tane de muhtemel (sarı) yangın ürünü vermektedir. Ayrıca, Adana-Adana-Ceyhan BİŞ sınırları içinde ise bir tane muhtemel FIR ürünü bulunmakta ancak OYK kayıtları bu şeflik içinde aktif bir yangın göstermemektedir.



Şekil 1: 23 Ağustos 2007, 10:15 UTC için OYK bilgilerine göre aktif yangın gözlenen Sarıçam şefliği ile Sarıçam ve Ceyhan Şefliklerine düşen toplam FIR ürünleri

FIR ve OYK bilgilerinin uzaysal kıyaslamalarının yapılabilmesi için FIR ürünlerinin içinde bulundukları poligona göre BİŞ karşılıklarının tespit edilmesi gerekmektedir. Şekil 1'deki FIR ve OYK bilgileri dikkate alındığında, toplam beş FIR ürünlerine ait BİŞ bilgileri Tablo 3'te verilmiştir.

FIR ürününün bulutsuz bir ortamda aktif bir yangını tespit etmesi beklenir ancak bulut varlığı, yangın tespitini zorlaştırır ve ürün performansını kötü yönde etkiler(Pereira ve Setzer, 1996). Bulut etkisinden dolayı ürünün yangın tespit edemediği durumların dikkate alınması için çalışmada MPEF BM ürünü kullanılmıştır. 15'er dakikalık zaman adımı için, OYK verilerinde yangın belirtilen şeflik alanı üzerindeki herhangi bir pikselde BM ürünü bulut gösteriyorsa, OYK' nın bu verisi ilgili zaman adımı için değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 3. 23 Ağustos 2007, 10:15UTC için verilen FIR ürünlerinin BİŞ karşılıkları

FIR ürünü			**BİŞ karşılığı**		
Enlem	**Boylam**	**Yangın Tipi**	**Bölge**	**İşletme**	**Şeflik**
37.1548	35.5791	*Olası*	Adana	Adana	Sarıçam
37.1513	35.5298	*Muhtemel*	Adana	Adana	Sarıçam
37.1953	35.6047	*Olası*	Adana	Adana	Sarıçam
37.1918	35.5554	*Olası*	Adana	Adana	Sarıçam
36.7275	35.5447	*Muhtemel*	Adana	Adana	Ceyhan

FIR ve OYK validasyon değerlendirmeleri için Tablo 4'te verilen Kıyaslama Tablosu elemanları kullanılmıştır. Kıyaslama tabloları, Mayıs-Eylül dönemini içerecek şekilde 2007, 2008 ve 2009 yılları için aylık olarak elde edilmiştir.

Tablo 4 FIR ve OYK kıyaslamaları için kullanılan Kıyaslama Tablosu elemanları

		OYK bilgisi	
		Evet	**Hayır**
FIR	**Evet**	A	B
	Hayır	C	D

Aylık Kıyaslama Tablosu elemanları olan A, B, C ve D değerleri, s(sayısı) ve oes(ortak eşleşen sayısı) kısaltmalarını göstermek üzere 'muhtemel' ve 'olası' ürün cinsleri için ayrı olarak aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

- A, B, C ve D değerlerine başlangıç olarak sıfır atanır.
- Tüm FIR ürünleri için BİŞ bilgileri elde edilir.
- Tüm OYK bilgileri 15'er dakikalık ayrık zaman adımları için hazırlanır.
- Ayın ilk günü saat 00:00 UTC'den başlamak üzere, ayın son günü saat 23:45'e kadar 15'er dakikalık zaman adımlarında FIR ve OYK'ye ait BİŞ bilgileri kıyaslanarak, tablo elemanları aşağıdaki şekilde yenilenir.

$$A = A + oes(FIR \text{ ve } OYK) \quad (1)$$

$$B = B + (s(FIR) - oes(FIR \text{ ve } OYK)) \quad (2)$$

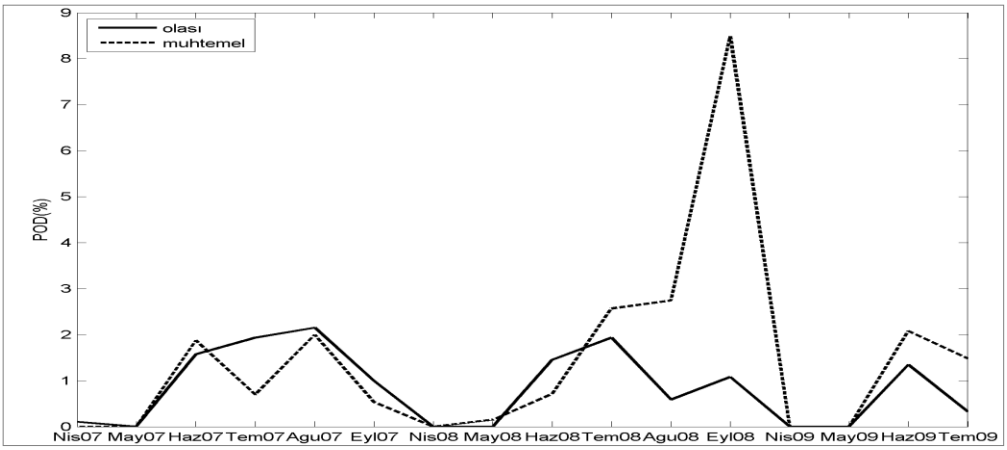
$$C = C + (s(OYK) - oes(FIR \text{ ve } OYK)) \quad (3)$$

$$D = D+1 \text{ (EĞER herhangi bir FIR ve OYK yoksa)} \quad (4)$$

4. VALİDASYON SONUÇLARI

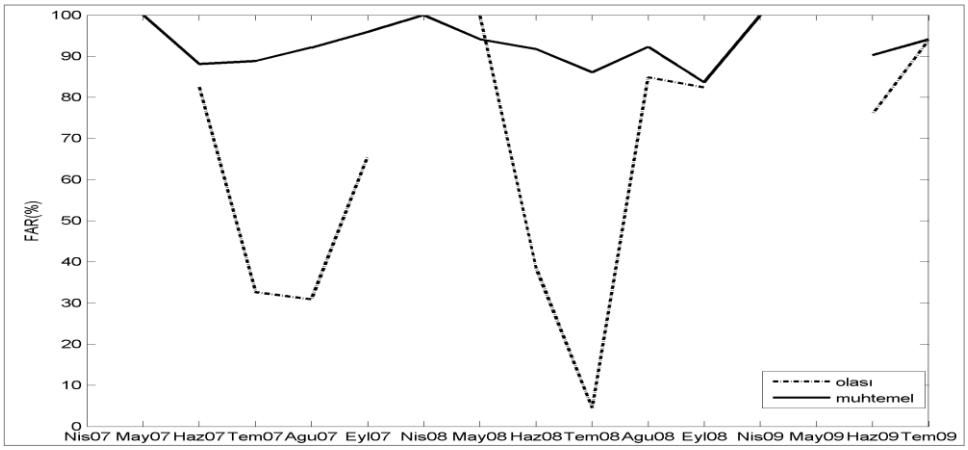
FIR ürün tutarlılığının incelenmesi için aylık kıyaslama tablo elemanları kullanılarak hesaplanan POD(A/(A+C)) değerleri 2007, 2008 ve 2009 yılları için Nisan-Eylül dönemini kapsayacak şekilde aylık olarak 'muhtemel' ve 'olası' ürün cinsleri için Şekil 2' de sunulmuştur. Ağustos 2009 tarihinden itibaren FIR uydu ürün algoritmasında köklü değişik yapıldığı için, 2009 yılına ait Ağustos ve Eylül ayları çalışma dışında tutulmuştur.

Şekil 2'de muhtemel ve olası ürünler için verilen POD yüzdeleri FIR ürün tutarlılığının düşük oluğunu göstermektedir. Üç yıllık dönem dikkate alındığında POD değerleri her iki ürün cinsi için yaz aylarında en yüksek değerlerine ulaşmaktadırlar. 2007 yılı için muhtemel POD değerleri olası POD değerlerinden daha düşükken 2008 ve 2009 yıllarında muhtemel ürünlerinin daha yüksek POD değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Olası ürünü için en yüksek POD değerleri tüm periyot dikkate alındığında %2-3 arasında seyretmektedir. Yaklaşık oranlar muhtemel ürünü için 2007 yaz aylarında gözlenirken, POD değerleri 2008 yılı yaz aylarında %9'a yaklaşarak tüm periyot için en yüksek değerine ulaşmaktadır. 2009 yılı için değerlerin yeniden %2-3 seviyelerine indiği gözlenmektedir.



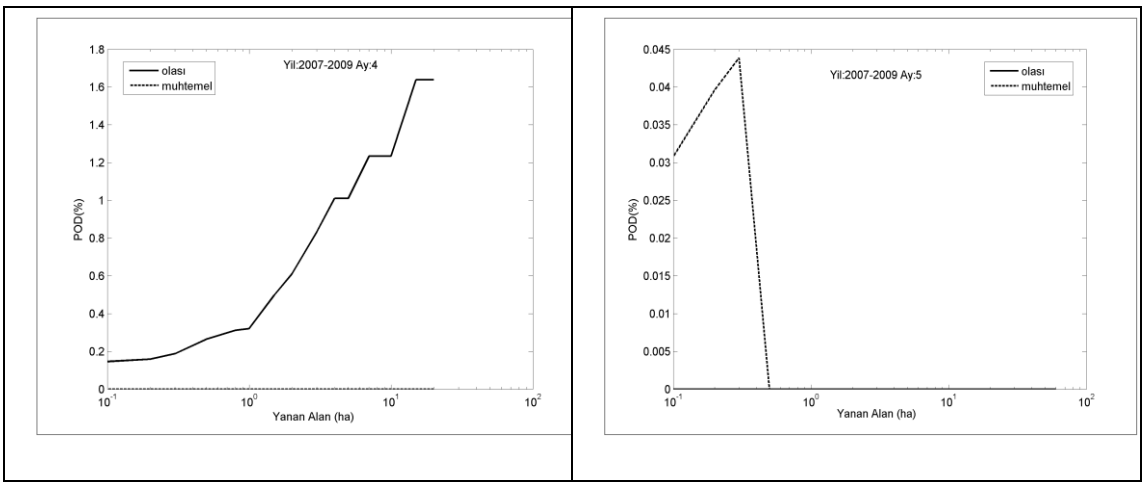
Şekil 2. Muhtemel ve olası FIR ürünleri için aylık yüzde POD değerleri

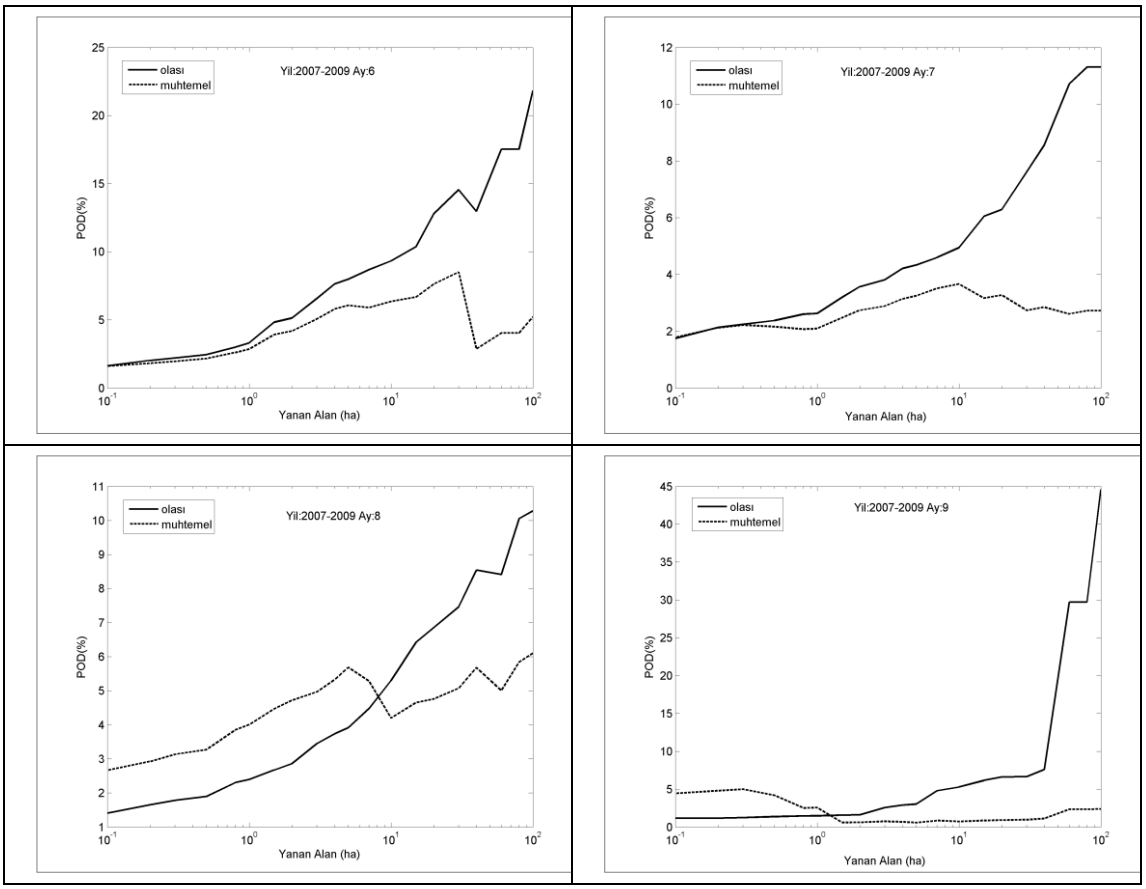
Ürün tutarlılığını incelenmesinde ikinci adım olarak aktif yangın bulunmamasına karşın FIR ürününün yangın işaret ettiği durumlar incelenmiştir. Yanlış tespit oranını ifade eden FAR(B/(A+B)) değerlerinin muhtemel ve olası ürünler için aylık değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Grafikteki süreksiz bölgeler FAR değerlerinin hesaplanamadığı(A ve B =0) durumları göstermektedir. Olası ve muhtemel ürünleri için yüksek FAR değerleri bahar aylarında gözlenirken, yaz aylarına doğru her iki ürünün FAR oranlarında azalma gözlenmektedir. Bu sonuç, Şekil 2'de gözlenen yaz aylarındaki daha yüksek POD değerleri ile tutarlılık göstermektedir. Muhtemel ürünler için FAR değerleri %90-100 arasında salınırken, muhtemel ürünlerde 2007 yazında değerler %30; 2008 yazında ise % 5' e kadar düşmektedir. Şekil 3'ten elde edilen en önemli sonuç ise, olası olarak verilen FIR ürününe göre yerde gerçekleşen yangın bulunması muhtemel ürüne kıyasla çok daha yüksektir.



Şekil 3. Muhtemel ve olası FIR ürünleri için aylık yüzde FAR değerleri

Şekil 2 ve 3'te verilen POD ve FAR analiz sonuçları OYK'ye göre tüm yanan alan büyüklüklerini içermekte olup herhangi bir yanan alan büyüklüğü kriteri kullanılmamıştır. FIR ürün validasyonu için merak edilen diğer bir husus ise, yanan alan büyüklüğüne göre muhtemel ve olası ürün tutarlılıklarının(POD) değişimidir. Yanan alan büyüklükleri 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.8, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100 ha değerlerinden büyük eşit olacak şekilde OYK bilgileri süzgeçlenerek POD değerleri aylık olarak hesaplanmıştır. Muhtemel ve olası ürün cinslerine göre POD değerlerinin aylık değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Aylık POD değerlerinin hesabı için 2007, 2008 ve 2009 yıllarına ait yanan alan kriterine göre elde edilen Kıyaslama Tablo elemanların toplanması ile elde edilen tablo elemanları kullanılmıştır.





Şekil 4. Muhtemel ve olası FIR ürünleri için yanan alan miktarına göre POD değerleri

Grafikler, muhtemel ve olası ürünler için artan yanan alan değeri ile birlikte artan POD değerlerine işaret etmektedir. Bu sonuç, yanan alan miktarındaki artışın FIR ürünü tarafından tespit edilme olasılığını arttırdığını göstermektedir. İlkbahar aylarında düşük gözlenen artış miktarı, yaz aylarında daha fazla olmaktadır. En yüksek yanan büyüklüğüne bağlı olarak olası ürünü için, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında sırasıyla %23, %12, %11 ve %45 değerlerine ulaşmaktadır. İki ürün kıyaslamalarında ise, olası ürünlere ait POD değerlerinin muhtemel ürün değerlerine göre daha yüksektir. Ancak, yanan alan miktarının 10 ha'dan küçük olduğu Ağustos ve 1 ha'dan küçük olduğu Eylül için muhtemel ürüne ait POD değerleri olası ürün değerlerine göre daha yüksek elde edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Uzaktan algılama yöntemleri ve özellikle uydu verilerinin orman yangınlarının önceden tespiti ve erken uyarı amaçlı kullanılması, bu alanda başlatılan yeni uygulamalardan olup kutupsal ve sabit yörüngeli uydu sensör verileri kullanılarak farklı yangın ürünleri önerilmiştir.

Bu çalışmada, MSG sabit yörüngeli uydularında bulunan SEVIRI sensöründen elde edilen FIR ürünü validasyonu sunulmuştur. OGM'den elde edilen orman yangın kayıtları 2007, 2008 ve 2009 yılları Nisan-Eylül dönemi için muhtemel ve olası FIR ürün sınıfları ile kıyaslanarak POD ve FAR değerleri aylık olarak sunulmuş ve aynı değerlerin yanan alan büyüklüğü ile değişimi irdelenmiştir.

Gözlenen yangın sayısına paralel olarak ilkbahar aylarından yaz aylarına doğru muhtemel ve olası ürünleri POD değerlerinde artış gözlenmiş, yaz aylarında en yüksek değerine ulaştıktan sonra sonbahar aylarına doğru yeniden düşmüştür. Elde edilen POD değerleri olası ürün için %2 mertebesinde gerçekleşmiştir. Aynı oranlar muhtemel ürün için de geçerli olmakla birlikte 2008 yazında %9'a varan bir sıçrama dikkati çekmiştir. Aynı dönem FAR analizleri incelendiğinde her iki ürün için yaz aylarında en düşük değerler elde edilmiştir. Muhtemel ürünleri için elde edilen FAR değerleri %90-100 gibi yüksek oranlarda salınım gösterirken, olası ürünler için aynı değerler yaz aylarında %30(2007) ve %5(2008) olarak gerçekleşmiştir. POD ve FAR grafiklerinden elde edilen en önemli sonuç, muhtemel ürün tutarlılığının olası ürün tutarlığına göre yüksek olmasına karşılık aynı ürünün olası ürününe göre çok daha fazla yanlış uyarı vermesidir. Bunun nedeni ise, muhtemel ürün eşik değerlerinin olası ürün şartlarına göre daha esnek(düşük) olması ve dolayısıyla muhtemel ürün sayısının olası ürün sayısına göre çok daha fazla olması gösterilebilir.

Yanan alan miktarı ile muhtemel ve olası ürün tutarlılıklarının değişimi incelendiğinde, yanan alan büyüklüğü ile tutarlılığın doğru orantılı olarak artığı saptanmıştır. Gözlenen aktif yangın sayına bağlı olarak, bahar aylarından yaz aylarına doğru artışın daha fazla olduğu gözlenmiştir. Özellikle Haziran ayında en yüksek yanan alan değeri için tutarlılık %23'ye kadar çıkmaktadır. Aynı değer Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için %12, %11 ve %45 olarak elde edilmiştir. Diğer önemli bir bulgu ise, herhangi bir yanan alan miktarı için olası ürün POD değerinin muhtemel ürün değerinden daha yüksek olması dolayısıyla olası ürünün yanan alan büyüklüğüne muhtemel üründen daha fazla duyarlı olduğunun gözlenmesidir.

Elde edilen düşük POD ve yüksek FAR değerlerinde, FIR ürün algoritmasında küresel eşik değerlerinin kullanılmasının etkisi muhakkaktır. Bölgesel eşik değerlerine göre üretilecek olan FIR ürünleri, ilgili coğrafyada geçekleşen aktif yangınların tespitinde daha duyarlı olacaktır. Benzer hedefler için, 2009 Ağustos döneminden itibaren FIR algoritmasında sabit eşik değerleri uygulaması yerine dinamik eşik değerlerinin kullanılmasına geçilerek hem bölgesel hem de zamansal olarak değişen eşik değerleri yardımı ile ürün hassasiyetinin arttırılması hedeflenmiştir.

MSG gibi sabit yörüngeli uydular hem kapsama alanları hem de zamansal ölçüm sıklıkları dikkate alındığında, orman yangınları gözlemleri için etkin bir alternatif olarak önümüzde durmaktadır. Her ne kadar ürün validasyon sonuçları yüksek tutarlığa işaret etmese de, bölgesel eşik değerleri ve orman altlıklarının kullanılması gibi ürün tutarlılığını iyileştirecek alternatif yöntemler sayesinde ürün güvenilirlikleri arttırılabilir.

KAYNAKLAR

[1] **Andreae, M.O., Merlet,** *P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning***,** Global Biochemical Cycles**,** 15, 955–966, 2001

[2] **Boschetti, L., Flasse, S. P., Brivio,** *P. A. Analysis of the conflict between omission and commission in low spatial resolution dichotomic thematic products: the Pareto Boundary,* Remote Sens Environ, 91, 280−292, 2004

[3] **Bradstock, R.A.,** *Effects of large fires on biodiversity in south-eastern Australia: disaster or template for diversity*, Int J Wildland Fire, 17: 809-822, 2008.

[4] **Calle, A., Casanova, J. L., Romo, A.,** *Fire detection and monitoring using MSG Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI) data*, J Geophys Res, 111, G04S06, 2006

[5] **Cohen, J.D.,** *Preventing disaster: home ignitability in the wildland– urban interface*, J Forestry 98(3), 15–21, 1997.

[6] **EUMETSAT.,** *Active Fire Monitoring with MSG-Algorithm Theoretical Basis Document(ATBD)*, EUM/MET/REP/07/0170, 15p., 2007a.

[7] **EUMETSAT.,** *Cloud Detection for MSG – Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD),* EUM/MET/REP/07/0132, 26p., 2007b.

[8] **Flasse, S.P., Ceccato, P. A,** *Contextual algorithm for AVHRR fire detection,* Int J Remote Sens, 17, 419–424, 1996.

[9] **Hardy, C.C., Ottmar, R.D., Peterson, J.L, Core, J.E., Seamon, P.,** *Smoke management guide for prescribed and wildland fire,* USDANational Wildfire Coordination Group Publication PMS 420-2, 2001.

[10] **Pereira, J.M.C., Setzer, A.W.,** *Comparison of fire detection in savannas using AVHRR's channel 3 andTM images,* Int J Remote Sens, 17, 1925–1937, 1996.

[11] **Rosenfeld, D.,** *TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall,* Geophys Res Lett, 26 (20): 3105-3108, 1999.

[12] **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.

[13] **Spencer, C.N., Gabel, K.O., Hauer, F.R.,** *Wildfire effects on stream food webs and nutrient dynamics in Glacier National Park,* USA. Forest Ecology and Management, 178, 141–153., 2003.

[14] **Zhukov, B., Lorenz, E., Oertel, D., Wooster, M. J., Roberts, G.,** *Space borne detection and characterization of fires during the bi-spectral infrared detection (BIRD) experimental small satellite mission (2001–2004).,* Remote Sens Environment, 100(1), 29−51., 2006.

Dust Storm Monitoring With Modis Data In The Anatolian Peninsula

Hakkı Baltacı [1,2]

[1] **MGM, The 1. Regional Directorate, Cevizli- Kartal/Istanbul, Turkey**
[2] **ITU, Eurasia Institute of Earth Sciences, 80526 Maslak/Istanbul, Turkey**
hbaltaci@mgm.gov.tr

E. Günseli Özgül [1]

[1] **MGM, The 1. Regional Directorate, Cevizli- Kartal/Istanbul, Turkey**
gunseliozgul@mgm.gov.tr

Abstract

One of the main natural hazards that can effect the human life is known as dust storms. In the last decade, dust storm events highly increased in Turkey. Thus, monitoring dusts accurately have important key role to minimize the negative effects of dust disaster. In this study, Modis Terra satellite images used to monitor dust storm process occurred in Turkey during the April, 2008. The field of dust storm was extracted and the intensity grades were estimated. Later, Pm10 values in the ground stations and the synoptic conditions based on NCEP-NCAR reanalysis data have been analyzed during the specific dust storm events.

Key words: *Dust storm, Turkey, Modis satellite, NCEP-NCAR reanalysis, synoptic condition*

1. INTRODUCTION

Dust particles play important key role for human health (causing respiratory diseases), visibility and climate (Middleton et al., 2008). Many studies showed that, there are close relationship between fine particles and health effects (e.g. Dockery and Pope, 1996). Dust particles represent a fraction of the atmospheric total particulate matter (PM) concentration ($\mu g/m^{-3}$) measured by air quality monitoring networks. In the latest studies after 1987, monitoring of TSP (total suspended particles) was replaced by PM_{10} measurements in the United States. In addition to PM_{10} observations, $PM_{2.5}$ (particulate matter < 2.5 μm) measurements added as a new air quality standardisation.
During the year 2010, new PM_{10} limit values decided by European Comminity (40 μg PM_{10} m^{-3} as annual daily value and not exceeding the daily value of 50 μg PM_{10} m^{-3} more than 35 days per year).
In Turkey, many of the measurements showed that, daily PM_{10} values generally exceed standard limits. This exceedances may not always be caused by anthropogenic emissions. Natural PM_{10} sources by Sahara region increase PM_{10} values especially in the south part of the country. Wind blowing dust can be advected on a wide range of altitudes, varying from 1.5 km up to 8 km and it has a long residence time in the atmosphere, ranging from few days to few weeks (Pandis et al., 1995).
Numerious studies have focused on the long-range transport of Saharan air masses over Western and Eastern North Atlantic areas (Prospero and Ness, 1986; Conde-Gaussen et al., 1987; Bergamitti et al., 1989; Muhs et al., 1990; Savoie et al., 1992; Chiapello et al., 1995; Rajkumar and Siung Chang, 2000) and the Mediterranean (Loye-Pilot et al., 1986; Molinaroli et al., 1993; Avila et al., 1997,1998; Diaz and Miranda, 1997; Guerzoni et al., 1997).
The transport of dust from Sahara desert explains a seasonal trend (Moulin et al., 1998) with a peak during spring and a minimum activity during winter. To monitor and determine more influenced regions by Saharan dust particles, SEVIRE's Metesosat Second Generation (MSG) products are generally used in Anotolian Peninsula. MSG images of high temporal resolution (every 15 minutes) give an oppurtunity to make alerts to the public and local authorities.
In this research, as a case study, 12 April 2008 dusty day was investigated. This day was chosen because of the all day effectivity of dust storms on large area. Differently from the previous studies for Turkey, besides MSG products, Modis data were used to take more detail information for dust events. PM_{10} observations for selected stations were extracted and compared with the normal values. In addition, synoptic conditions using Lamb Weather Type (LWTs hereafter) methodology were applied to Marmara Region (NW of Turkey, most populated area).

2. DATA and METHODS

Dust storms cause have many environmental problems in Turkey. Many dust storms occur in spring and summer months and result with destructive effects. In this paper, firstly, as a case research, 12 april 2008 dust event was analyzed by SEVIRE (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) instrument on board the geostationary Meteosat Second Generation(MSG) satellite (Schmetz et al., 2002). The satellite is located at 3.5° W over the equator and has a horizontal resolution 3 km at nadir and a time resolution of 15 min. The dust index is composed of the BTD (brightness temperature difference) at 12.0-10.8 μm and at 10.8-8.7 μm, as well as of the BT at 10.8 μm (Schepanski et al., 2007).
In an alternative approach, Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) were used to monitor dust particles. Among the 36 channels of Modis, the visible and near infrared channels are used to meause objects reflection while thermal channels are used to meause brightness temperature. Based on the spectrum characteristics, modis data true colour image has divided into five regions: sand, cloud- sand, land and cloud. Cloud has high reflection and low brightness temperature, ground has low reflection and high brightness temperature, the reflection and brightness temperature of dust storm are observed betweeon of two.

2.1 Dust Storm Extraction

In Modis data, comparision of BTD in thermal bands 31 and 32 channels are used to detect dust storms due to of the absoption of other atmospheric gases are nearly neglicible. Five regions selected in the study: land-sand in Anotolia, land-sand in Africa, sea-sand in Mediterranean, cloud-sand in Anatolia and cloud (Fig. 1). For analyzing, dust events were divided into two sub-regions in order to observe better BTD: Africa and Anatolia. In addition, these regions brightness temperature differences were identified.

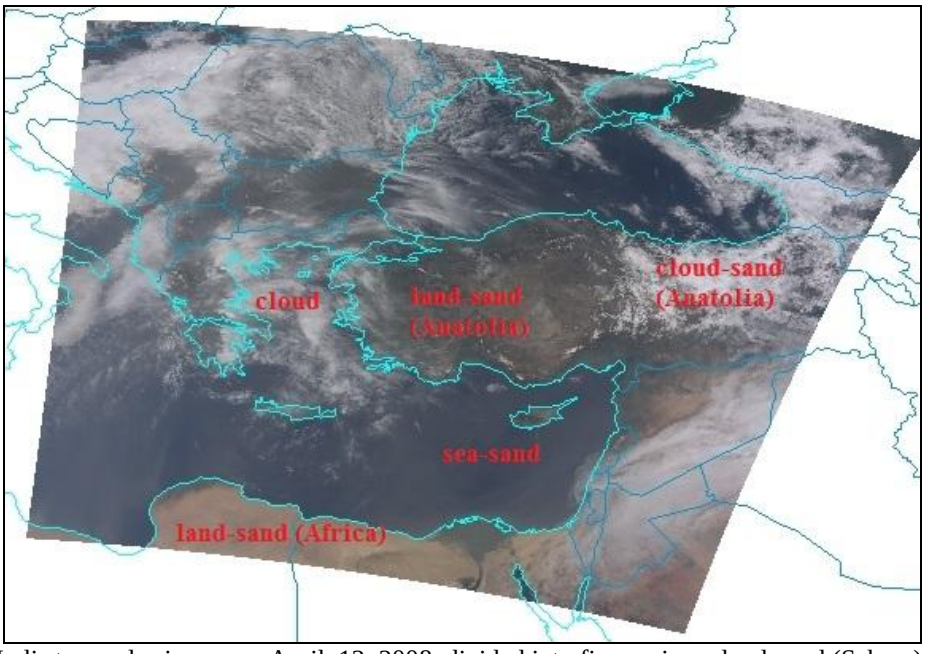


Figure 1. The Modis true color image on April, 12, 2008. divided into five regions: land-sand (Sahara), sea-sand, land-sand Anatolia, cloud-sand (Anatolia) and cloud

2.2 PM_{10} Variations in the Ground Stations

After analyzing dust event with two high temporal and spatial satellites, MSG and Modis, PM_{10} concentrations were analyzed in the ground stations. For this purpose, National Air Quality Monitoring Stations (www.havaizleme.gov.tr/) data were used for the April, 2008 (Fig. 2). As a result, 83 stations were distributed uniformly to the country. Many of the station's (76) monthly (April) mean values exceed The European Union's PM_{10} safety threshold (50 μg/m³). The population increament, economic development and industrialization makes difficulty the efforts in decreasing values to emission regulations. On the other hand, region are exposed to natural particulate matters especially in some definite months (i.e. spring and autumn) due to of the geographic closeness of Anatolian Peninsula to the dust source regions. To differentiate of natural dusts than anthropogenic origins, dust transport mechanism should also be understood. Based on dust storms, 12 April 2008 is a good example for explore the possible cause and effects of natural dusty particles. Therefore, daily PM_{10} values were extracted from this dataset to investigate the fluctuating from the normals.

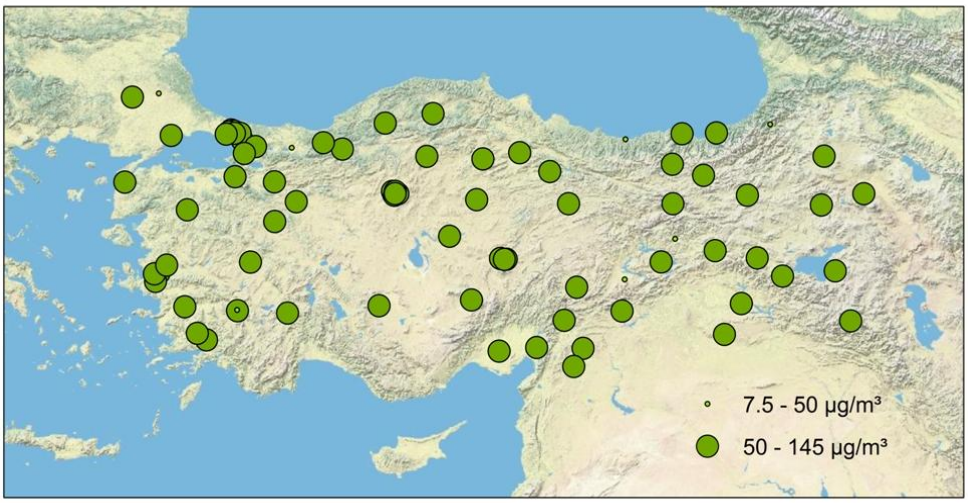


Figure 2. Distribution of PM_{10} concentrations over 83 air quality stations during April 2008

2.3 Synoptic Conditions of Marmara Region (Most Populated Area of Turkey)

Turkey has divided into seven geographical region from the previous studies**.** One of these regions is called Marmara (NW of Turkey, black solid rectangle in Fig. 3). Marmara is known the most populated (nearly 28% of country population), agriculturel, highly industrialized, culturel and touristic region of country. Particularly, many heavy industries exist in the east-south parts of Marmara (i.e. Kocaeli, Bursa) and thus, region is adequately sensitive the pollutant concentrations. Any upper change in the concentration limits by the external forcings (e.g. dust storms) exceeds threshold values and results with the negative effects in the living organisms. In the study, Lamb Weather Types (LWTs hereafter) methodology was applied to Marmara Region in order to gather the synoptic conditions for the specific dusty day. This methodology is widely used in the Northern Hemisphere synoptic researches and can be found easily detailed information from the previous studies (Lamb HH., 1972; Hess P. et al.,1977;Jenkinson A.F. et al., 1977;Lorenzo M.N. et al, 2008; Demuzere M. et al., 2009; Dayan U. Et al., 2012; Jones PD. Et al., 2012). To this end, NCEP/NCAR Reanalysis daily mean sea level pressure data (DMSLP) between were extracted for the 12 April, 2008.

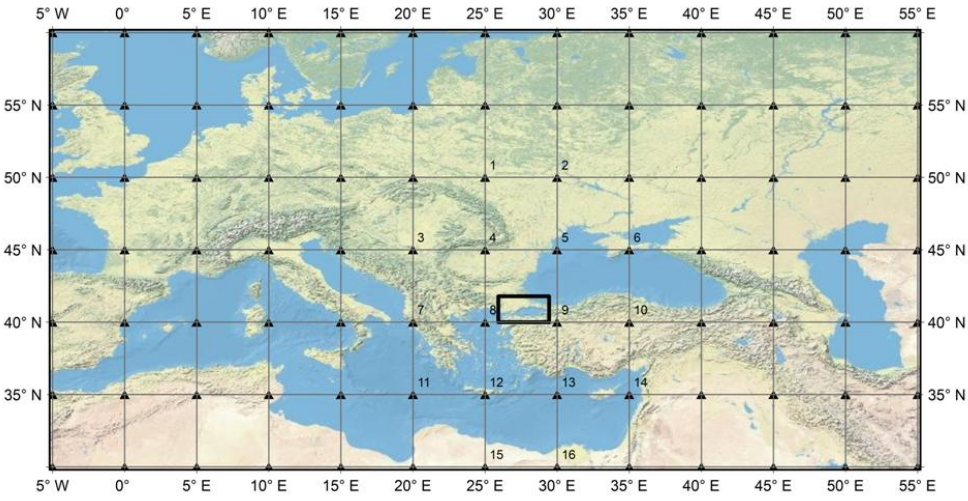


Figure 3. Main domain of the LWTs method used in the study. The numbers indicate the NCEP/NCAR Reanalysis daily sea level pressures studied in the algorithm. Black solid rectangle marks the Marmara Region.

3. RESULTS and DISCUSSION

3.1 Dust Storm Montitoring in the SEVIRE's MSG

Numerous dust particles observed in Turkey during the 12 April, 2008. In order to track dust source activation, transport and warning to the public-local authorities, SEVIRE's MSG dust index images are generally used because of the high spatio-temporal resolution (every 15 minitus). From Fig. 4, RGB products can easily show the dust, thick-high level clouds, thick-mid level clouds and cirrus clouds. In this specific day, whole the big area including eastern Mediterranean countries were influenced the transportation of particulate matter by desert dusts. For Anatolian Peninsula, whereas this dust outbreaks are generally observed in the south part of the region, differently from formers, extended towards Black Sea during day and night times. At daytime in the figure 4 (0900 UTC), dust particles are clear in magenta colour both for source and Mediterrenean basin. When passing through the land areas, this magenta color returns the blurish color during daytime. To get more information from satellites, except of MSG products, in order to monitor dust particles in more detail together with the high spatial resolution, polar orbits images are needed.

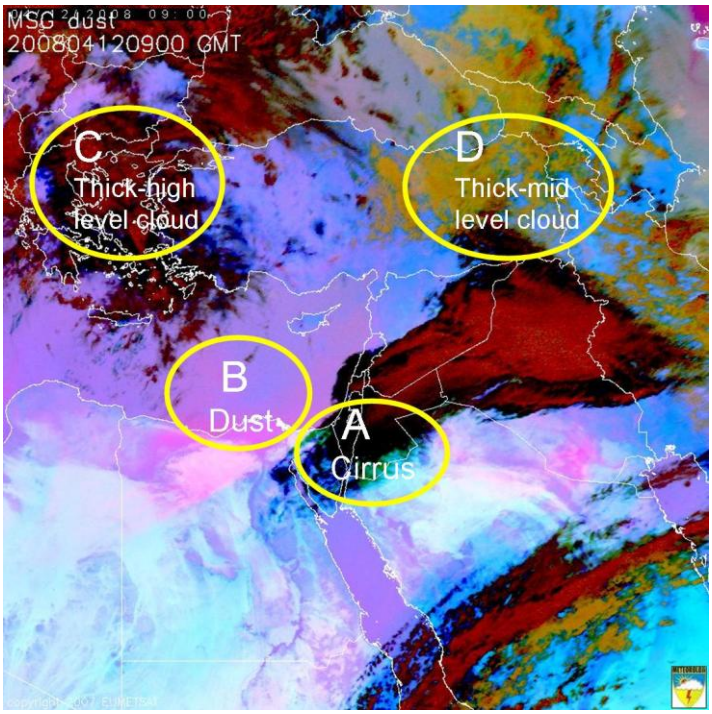


Figure 4. Dust RGB products in SEVIRE's MSG on 12 April 2008 at 0900 UTC.

3.2 Dust Storm Montitoring in the Modis Data

As seen in Figure 1, Anatolian Peninsula, Mediterranean and Sahara (source region) seperated in five sub-parts: land-sand in Anotolia, land-sand in Sahara, sea-sand in Mediterranean, cloud-sand in Anatolia and cloud. It is known from the former studies (Fan Yida, Shi Peijun, Wang Xiushan, 2002) that, dust storm extraction individually from the clouds, snow, ground etc. can easily described accurately. In Modis data, thermal-IR 31 and 32 channels brightness temperature difference (BTD) are used to detect dust. In these channels minimum absorption by other atmospheric gases allow us an opportunity to detect dust particles. Figure 5 illustrates that, BTD in 31-32 bands, most minimum differences are observed in the source region. This means that, higher emmissivity values at band 32 than 31 are measured in the Africa. During the dust particles pass throughout the Mediterranean basin, take more moisture and decrease the BTDs. Moreover, in 31 band, brightness temperature are higher than 32 band in the clouds without dust particles. Therefore, the threshold value below 0 best represents sand areas than other objects. However, 1K was used as a threshold value to detect full dusty particles.

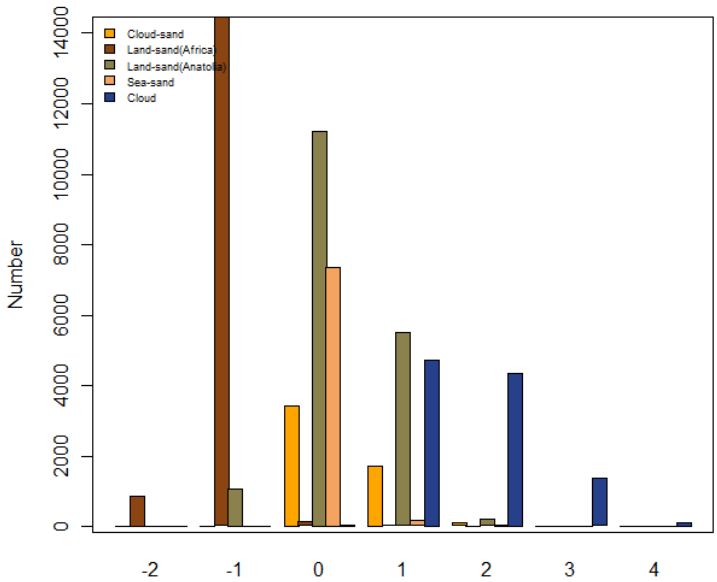


Figure 5. BTDs in thermal channels between 31 and 32 bands for five subregions: cloud-sand, land-sand (Sahara), land-sand (Anatolia), sea-sand, cloud

Conversly, the infrared radience is primarily sensitive to the upper cirrus cloud layer, BTD cannot be possible to detect dust under cirrus cloud, thus other bands should be considered. During daytime, in order to eliminate dust storm than the influence of cloud and snow, the normalized difference dust index (NDDI) can be used. The NDDI can be written as

$$NDDI = \frac{(b7 - b3)}{(b7 + b3)}$$

where b3, b7 are reflection at the third band and the seventh band of MODIS. The reflection of cloud and snow reaches the maximum at the b3 (0.459-0.479 μm) and minimum at b7(2.105-2.155 μm).

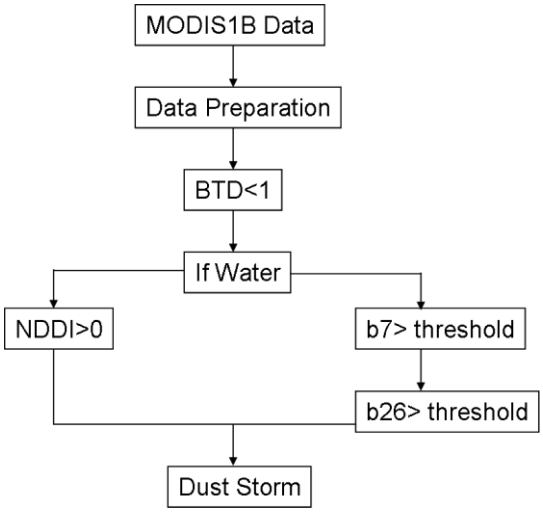


Figure 6. Modis algorithm for dust monitoring at daytime

NDD>0 can be used to remove the influence of cloud and give us better results for land areas. Conversly, if there is water, NDDI >0 cannot give perfect results. Thus, the effectivity of water should be removed firstly. Dust storm algorithm in Modis data at daytime period (Fig. 6**)** explains the processes of dust storm easily. To remove the influence of water, seventh band can be used firstly, later, twenty-sixth band is used to detect cloud. After applying Modis algorithm to date of 12 April 2008, it can be observed as dust particles with the brown color in Figure 7.

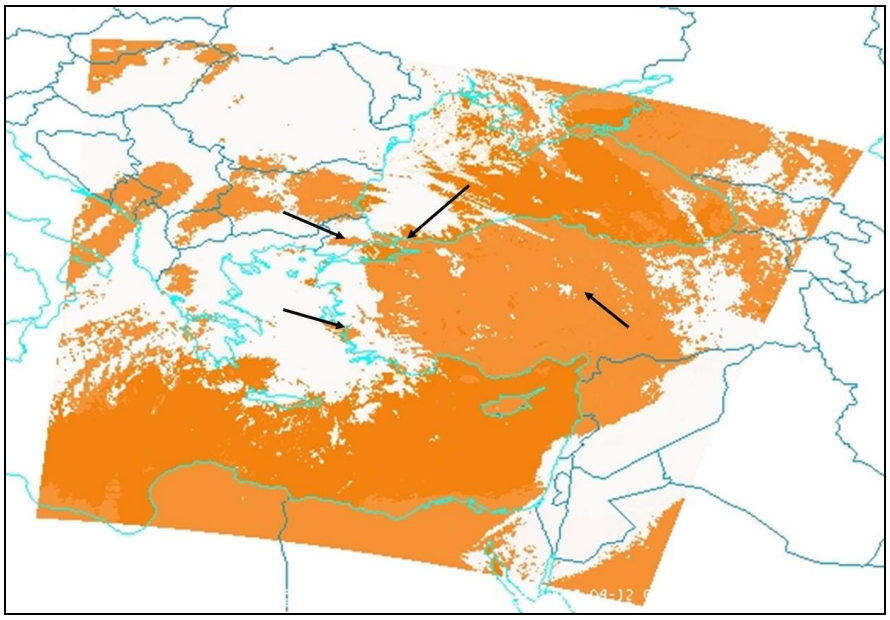


Figure 7. Modis algorithm for dust monitoring at daytime

3.3 PM_{10} Concentrations in the Ground Stations

Saharan dust outbreaks are concluded with high intensive PM_{10} concentrations in the ground stations. When analyzed particulate matter (PM_{10}) measurements on 12 April 2008 comparing with April mean values, this increasing percentage are observed as much as higher (above 30%) than normals in the west part of the Anatolian peninsula (Fig. 8). In some industrial cities of Marmara (e.g. Kocaeli), this daily concentration of PM_{10} reached 200 µg/m³. In addition to sensivity of region to the anthropogenic dust outbreaks, Saharan dust transport on area are revealed the second other problem for air pollution emissions. If this transport mechanism frequency increase and distrubute the whole year in the future than former years, the Eastern Mediterranean will face with many air quality and health problems. This mechanism also may associate with future climate scenerious and can be analyzed the large-scale conditions effectivity on environmental conditions in more detail.

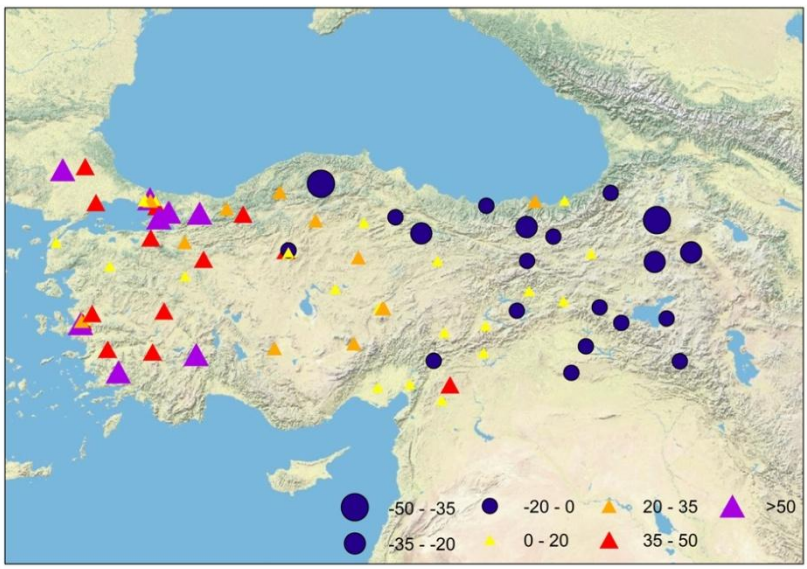


Figure 8. Percentage anomaly values of PM_{10} in the air quality stations in comparing with April means.

3.4 Analyzing of Synoptic Conditions of Marmara Region

LWTs methodology was used to Marmara Region to understand the releationships between synoptic conditions and dust transport. For this reason, daily mean sea level pressure data for 12 April 2008 were extracted. Based on the large-scale circulations (Fig. 9), High pressure anomaly located over the Eastern Meditereanen basin (over cyprus) and low pressure anomaly located over the European continent. The subsidence activity occur over the mid-Anatolian peninsula, thus, dust particles settled in this area and results with high PM_{10} concentrations. Nevertheless, nearly two times higher PM_{10} values in accordance with previous day were meausured in the west part of country. This synoptic situation looms large to find out the possible causes of dust transport mechanism to Marmara. Figure 9 states that, as a result of between low pressure anomaly over Europe and high pressure anomaly over Cyprus, SW (southwesterly) flows brings more dusty particles from Sahara region to the west sides of Turkey. Thereby, dust particles have enough energy to come from source region to Marmara together with the high wind gust speeds (three pressure gradient anomaly over Marmara). When we focused on the daily maximum wind speed and directions in the northwest meteorology stations, all the stations of Marmara have southerly component of wind directions (i.e. SW,WSW,SE,SSW). Maximum wind speed exceeds 10 m/s in all these stations (e.g. Istanbul, Bursa, Kocaeli, Çanakkale, Sakarya) and the peakest was measured in istanbul-Kumköy meteorology station (16.8 m/s). In thinking of meteorology stations location inside of urban metropolitian cities of Marmara, wind speed values are acceptable higher than measured ones.

Figure 8. Percentage anomaly values of PM10 in the air quality stations in comparing with April means.

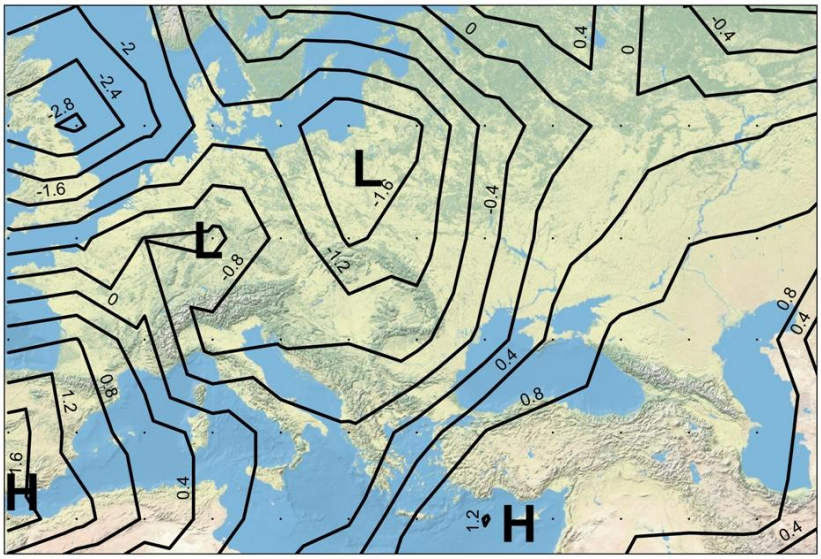


Figure 9. Synoptic conditions of Marmara Region with using LWTs methodology on NCEP/NCAR Reanalysis normalized daily sea level pressure data for 12 April, 2008. L and H indicates the low and high pressure anomaly centers, respectively.

4. CONCLUSIONS

This paper investigates the extreme natural dust transport over Anatolian Peninsula on 12 April 2008 date, based on in-situ observations, satellite data, and synoptic LWTs objective classification. Selected date was analyzed using satellite data. Geostationary satellite (MSG) images (every 15 minutes) showed that, desert intensive dust transported by Sahara region through Eastern Meditereanen and Black Sea during the whole day. This exteme phenomenon is very rare occured till now due to far away of source region. Also, for evaluating on more spatial resolution, Modis Terra images at daytime indicated that, source region of desert dusts BTDs between 31 and 32 thermal channels have higher differences due to the emissivity of particulate matter. When particule matter passes through the Meditereanen, they hold water droplets and decreased BTDs. In order to understand the natural particulate matter results in the Anatolia, PM_{10} observations were used in the 83 air quality stations of the country. All of the stations (except 4 of them) exceeds threshould limits,therefore, country policy makers and public should be studied more for adoptive the European Union Regulations. In addition to sensivity of Anatolia to the anthropogenic dust outbreaks, due to of the geographical closeness, the region are influenced by natural dust events for some definite times (e.g. spring and fall months). To discriminate natural ones from others, large scale circulation approach to the environment should be understood. For this purpose, LWTs methodology was used for the extreme dusty day. Consequently, Low and high pressure centers location identifies the rotation of the flows. If Low pressure center located over Europe and High pressure center located over Cyprus, southwesterly flows (SW) bring more dusty and humid particles to the west part of the country. NW part of the country, which has more industrialized mega cities, currently is sensitive to the

anthropogenic dust events. Any upper change of dust events by Saharan source to the Marmara results with many air pollution and health problems. Thus, in addition to satellite and in-situ observations, large-scale conditions are also considered to get a comprehensive evaluation.

REFERENCES

[1] **Avila, A., Queralt, I., Alarcon, M.,** *Mineralogical composition of African dust delivered by red rains over north-eastern Spain.* Journal of Geophysical Research 102, (21977-21996), 1997.

[2] **Avila, A., Alarcon, M., Queralt, I.,** *The chemical composition of dust transported in red rains-its contribution to the biochemical cycle of a holm oak forest in Catalonia (Spain).*Atmospheric Environment 32 (2), (179-191), 1998.

[3] **Bergametti, G., Gomes, L., CoudeH-Gaussen, G., Rognon, P., Le Coustumer, M.N.,** *African dust observed over Canary Islands: source regions identication and transport pattern for some summer situation.* Journal of Geophysical Research 94, (14855-14864),1989.

[4] **Chiapello, I., Bergametti, G., Gomes, L., Chatenet, B., Dulac, F., Pimienta, J., Santos Soares, E.,** *An additional low layer of Sahelian and Saharan dust over the North-Eastern Tropical Atlantic.* Geophysical Research Letters 22, (3191-3194),1995.

[5] **Conde-Gaussen, G., Rognon, P., Bergametti, G., Gomes, L., Strauss, B., Gros, J.M., Le Coustumer, M.N.,** *Saharan dust over Fuerteventura Island (Canaries), chemical and mineralogical characteristics, air mass trajectories and probable sources*. Journal of Geophysical Research 92, (9711-975), 1987.

[6] **Dayan U, Tubi A, Levy I.,** *On the importance of synoptic classification methods with respect to environmental phenomena.* International Journal of Climatology 32,(681-694), 2012.

[7] **Demuzere M., Werner M., van Lipzig N.P.M., and Roeckner E.**, *An analysis of present and future ECHAM5 pressure fields using a classification of circulation patterns*, Int. J. Climatol., 29, (1796-1810), 2009.

[8] **Diaz, H., Miranda, H.,** *Tasas de deposicion de polvo atmosferico en un area semiarida del entorno Mediterraneo Occidental.* Estudios Geologicos 53,(211-220),1997.

[9] **Dockery, D., Pope, A.,** *Epidemiology of acute health efects: summary of time-series studies. In: Wilson, R., Spengler, J.D. (Eds.), Particles in our Air: Concentration and Health Efects.* Harvard University Press, Cambridge, MA, USA, pp. (123-147),1996.

[10] **Goodess C. M. and Palutikof J. P.,** *Development of daily rainfall scenarios for Southeast Spain using a circulation-type approach to downscaling,* Int. J. Climatol, 18, (1051-1083), 1998.

[11] **Guerzoni, S., Molinaroli, E., Chester, R.,** *Saharan dust inputs to the western Mediterranean sea: depositional pattern, geochemistry and sedimentological implications.* Atmospheric Environment 44, (631-654), 1997.

[12] **Hess P. and Brezowsky H.,** *Katalog der GroBwetterlagen Europas.* Ber. Dt. Wetterd. in der US-Zone 33.Bad Kissingen, Germany ,1977.

[13] **Jenkinson A. F. and Collison B. P.,** *An initial climatology of gales of the North Sea*, Synoptic climatology Branch Memorandum, 62,1977.

[14] **Jones PD, Hulme M, Briffa KR.,** *A comparison of Lamb circulation types with an objective classification scheme* . International Journal of Climatology 13, (655–663), 1993.

[15] **Jones PD, Harpham C, Briffa KR.,** *Lamb weather types derived from reanalysis products.* International Journal of Climatology , doi: 10.1002/joc.3498, 2012

[16] **Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, Collins W, Deaven D, Gandin L, Iredell M, Saha S, White G, Wollen J, Zhu Y, Chelliah M, Ebisuzaki W, Higgins W, Janowiak J, Mo KC, Ropelewski C, Wang J, Leetmaa A, Reynolds R, Jenne R, Joseph D.,** *The NCEP/NCAR 40 year reanalysis project*. Bulletin of the American Meteorological Society 77,(437–471), 1996.

[17] **Lamb HH.**, *British Isles weather types and a register of daily sequence of circulation patterns , 1861-1971.* Geophysical Memoir 116 : HMSO, London, UK, 1972.

[18] **Lorenzo M.N., Taboada J.J., and Gimeno L.,** *Links between circulation weather types and teleconnection patterns and their influence on precipitation patterns in Galicia (NW Spain),* Int. J. Climatol., 28, (1493-1505), 2008.

[19] **Loye-Pilot, M.D., Martin, J.M., Morelli, J.,** *Influence of Sahara dust on the rain acidity and atmospheric input to the Mediterranean.* Nature 321, (427-428), 1986.

[20] **Middleton, N., Yiallouros, P., Kleanthous, S., Kolokotroni, O., Schwartz, J., Dockery, D.W., Demokritou, P., Koutrakis, P.,** *A 10-year time series analysis of respiratory and cardiovascular morbidity in Nicosia, Cyprus: the effect of short-term changes in air pollution and dust storms.* Environ. Health 7, 39, 2008.

[21] **Molinaroli, E., Gerzoni, S., Giacarlo, R.,** *Contribution of Saharan dust to the Central Mediterranean Basin. In: Jhonson, N.J., Basu, A. (Eds.), Processes Controlling the Composition of the Clastic Sediments.* Geological Society of America Special Paper, Vol. 284, pp. (303-312), 1993.

[22] **Moulin, C., Lambert, C.E., Dayan, U.,** 1998. *Satellite climatology of African dust transport in the Mediterranean atmosphere.* J. Geophys. Res. 103, (13137-13144), 1998.

[23] **Muhs, D.R., Bush, C.A., Stewart, K.G.,** *Geochemical evidence of Saharan dust parent material for soils developed on quaternary limestones of the Caribbean and Western Atlantic islands.* Quaternary Research 33, (157-177),1990.

[24] **Pandis, S., Wexler, A., Seinfeld, J.,** *Dynamics of tropospheric aerosol.* J. Phys. Chem. 99, (9646-9659), 1995.

[25] **Prospero, J.M., Ness, R.T.,** *Impact of the North African drought and El Nino on mineral dust in the Barbados trade winds.* Nature 320, (735-738), 1986.

[26] **Rajkumar, W.S., Siung Chang, A.,** *Suspended particulate matter concentrations along the East-West Corridor, Trinidad, West Indies.* Atmospheric Environment 34, (1181-1187), 2000.

[27] **Savoie, D.L., Prospero, J.M., Oltmans, S.J., Graustein, W.C., Turekian, K.K., Merrill, J.T., Levy-II, H.,** *Sources of nitrate and ozone in the marine boundary layer of the tropical North Atlantic.* Journal Geophysical Research 97, (11575-11589), 1992.

[28] **Schepanski, K., Tegen, I., Laurent, B., Heinold, B., and Macke, A.,** *A new Saharan dust source activation frequency map derivedfrom MSG-SEVIRI IR-channels*, Geophys. Res. Lett., 34, L18803, doi:2007GL030168, 2007.

Schmetz, J., Pili, P., Themkes, S., et al., *An introduction to Meteosat Second Generation (MSG),* B. Am. Meteorol. Soc., 83,pp. 977, 2002.

İstanbul'da BLSA (Savrulan Kum)'un ve Epizodik PM_{10} Konsantrasyonlarının Sinoptik Analizi

E. Tuncay Özdemir
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Atatürk Havalimanı Meteoroloji Ofisi
İstanbul
etozdemir@gmail.com

İsmail Sezen
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Atatürk Havalimanı Meteoroloji Ofisi
İstanbul
sezenismail@gmail.com

Bahtiyar Efe
İstanbul Teknik Üniversitesi
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
İstanbul
efeba@itu.edu.tr

Ali Deniz
İstanbul Teknik Üniversitesi
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
İstanbul
denizali@itu.edu.tr

ÖZET

18 Nisan 2012 günü Türkiye üzerinde etkili olan Orta Akdeniz kaynaklı siklon Türkiye'nin batı ve iç bölgelerinde güneyli fırtınaya neden olmuştur. Sahra Çölü üzerinden taşınan ve Türkiye'nin iç bölgelerinden kalkan kum ve toz parçacıkları nedeniyle birçok yerde kum ve toz fırtınası meydana gelmiştir. Bu çalışmada 18 Nisan 2012 'de İstanbul'da bulunan Sabiha Gökçen ve Samandıra Havalimanları'nda güneyli fırtınayla birlikte meydana gelen BLSA (Savrulan Kum) hadisesinin sinoptik ölçekte analizi ve toz taşınımı sonucu İstanbul atmosferinin solunabilir partikül madde (PM_{10}) profili incelenmiştir. Çalışma kapsamında Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'ye bağlı Sabiha Gökçen ve Samandıra Havalimanları'na ait meteorolojik veriler (Metar, Speci Rasatları), sinoptik haritalar (Yer Kartı, 850 hPa, 500 hPa, …), uydu ürünleri (MSG Dust, MODIS, …), radar ürünü (PPI) ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilen hava kalitesi izleme istasyonlarına (10 Adet) ve Türkiye Bilimsel Ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 112Y319 nolu proje kapsamında Kağıthane Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'na ait PM_{10} verileri kullanılmıştır. Ayrıca MGM'den alınan 15 dakikalık MSG dust haritaları kullanılarak Sabiha Gökçen ve Samandıra Havalimanları için kısa vadeli toz taşınımı tahmini yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler — Güneyli Fırtına, BLSA, PM_{10}, MSG Dust, MODIS.

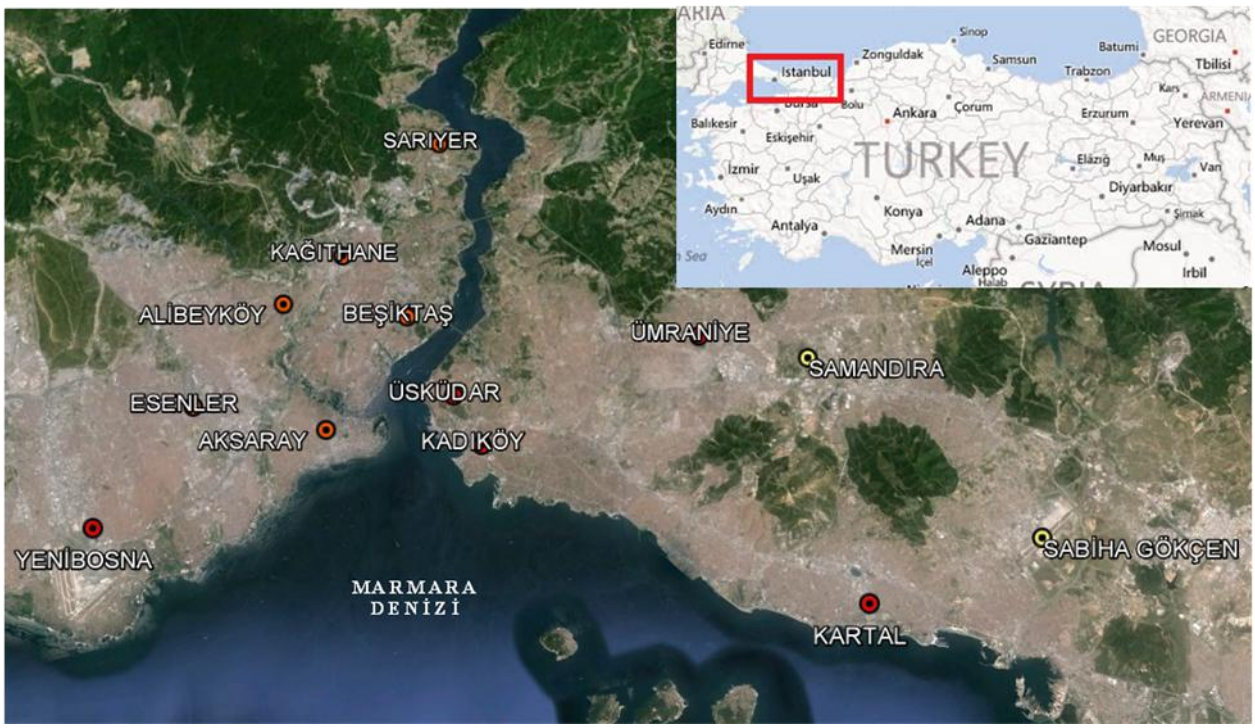
1. GİRİŞ

18 Nisan 2012 günü Türkiye üzerinde etkili olan Orta Akdeniz kaynaklı siklon Türkiye'nin batı ve iç bölgelerinde güneyli fırtınaya neden olmuş, Kuzey Afrika (Sahra Çölü) üzerinden taşınan toz ve Türkiye'nin iç bölgelerinden kalkan toz parçacıkları nedeniyle birçok yerde yer yer kum ve toz fırtınasının olmasına neden olarak görüş mesafesinin yer yer 1 km ve altına düşmesine yol açmıştır. Fırtına sonucunda bazı meteoroloji istasyonlarında yeni ekstrem rüzgar şiddeti değerleri ölçülmüştür. Ankara İli, Elmadağ İlçesinde ölçülen 150 km/sa'lik yeni ekstrem değerle bu siklon geçişinde kaydedilen en yüksek değer olmuştur. Diğer ölçülen ekstrem değerler; Datça 137 km/sa, Cihanbeyli 120 km/sa'dır [1].

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'in verilerine göre güneyli fırtına nedeniyle kara, deniz ve hava trafiğinde aksamalar meydana gelmiştir. Bazı il ve ilçelerde kum ve toz fırtınası meydana gelmiş, toz taşınımı nedeniyle görüş mesafesinde düşüşler yaşanmış ve bazı yerlerde yağışla birlikte çamur yağışları meydana gelmiştir. Konya'da ise saatteki hızı 117 km/sa'te ulaşan güneyli fırtına nedeniyle Konya - Ankara ve Konya - Ereğli karayolunda kum fırtınası meydana gelmiştir. Fırtına nedeniyle görüş mesafesinin yer yer sıfıra düştüğü karayolunda meydana gelen

zincirleme trafik kazalarında çok sayıda araç birbirine girmiştir. Kazalarda 2 kişi ölmüş, 20 kişi yaralanmıştır. İstanbul'da ise Boğaziçi ve Fatih Sultan Mehmet Köprülerinde yaklaşık iki saat boyunca kontrollü geçiş yapılmıştır. Rüzgarın şiddetinin bir ara 120 kilometreyi geçmesi nedeniyle trafik tamamen durdurulmuştur. İstanbul genelinde 300 çatı uçması ve 100 ağaç devrilmesi ihbarı yapılmıştır. Yaralanmalar meydana gelmiş, Türk Hava Yolları (THY), lodos fırtınası nedeniyle planladığı 42 iç ve dış hat seferlerini iptal etmiş, bir uçak ise pistte yerinden oynamıştır [2].

18 Nisan 2012 tarihinde İstanbul'da bulunan Sabiha Gökçen (Rakım 99 metre) ve Samandıra (Rakım 123 metre) Havalimanları'nda güneyli fırtınayla birlikte BLSA (Savrulan Kum) hadisesi meydana gelmiştir. Şekil 1'de bu iki havalimanının konumları gösterilmiştir (Sarı noktalar). Sabiha Gökçen Havalimanı'nda hakim rüyet 2200 metreye, Samandıra Havalimanı'nda ise 1000 metreye kadar düşmüştür. Ayrıca Samandıra Havalimanı'nda dikine rüyet 1000 metre değerine ulaşmıştır.



Şekil 1: *İstanbul'da bulunan Sabiha Gökçen ve Samandıra Havalimanlarının (Sarı noktalar), Aksaray, Alibeyköy, Beşiktaş, Esenler, Kadıköy, Kartal, Sarıyer, Üsküdar, Ümraniye, Yenibosna ve Kağıthane Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarının (Kırmızı noktalar) konumları [3].*

Havada bulunan katı partikülleri ifade etmek için partikül madde terimi kullanılmaktadır. Partikül maddelerin sabit bir kimyasal bileşimi yoktur. Bu partiküller insan faaliyetleri sonucu (Endüstri kaynaklı, evsel ısınma kaynaklı, trafik vs.) ve doğal kaynaklardan (Çöl tozları, orman yangınları vs.), doğrudan atmosfere karışırlar. Atmosferde diğer kirletici maddeler ile reaksiyona

girerek PM (Particulate Matter)'i oluştururlar. Sonuç olarak atmosfer şartlarında serbestçe hareket ederler. PM_{10}; 10μm' nin altında bir aerodinamik çapta olup solunabilir atmosferik partikül maddelerden biridir [4-5-6]. PM_{10}'in solunum sisteminde birikmesi, akçiğer fonksiyonlarında azalmaya yol açarak çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilir. Astım gibi solunum rahatsızlıklarını şiddetlendirebilir, erken ölümlere bile yol açan çeşitli ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir [6-7].

18 Nisan 2012 tarihinde İstanbul'da bulunan hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen PM_{10} verilerinde BLSA hadisesinin görüldüğü saatlerde önemli artışlar meydana gelmiştir. Bu çalışmada kullanılan PM_{10} verileri İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilen hava kalitesi izleme istasyonlarına (Aksaray, Alibeyköy, Beşiktaş, Esenler, Kadıköy, Kartal, Sarıyer, Üsküdar, Ümraniye, Yenibosna) ve Türkiye Bilimsel Ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 112Y319 nolu proje kapsamında Kağıthane Hava Kalitesi İzleme İstasyonuna aittir. Hava kalitesi izleme istasyonlarının yerleri Şekil 1'de gösterilmiştir (Kırmızı noktalar). Sabiha Gökçen Havalimanı'na en yakın olan Kartal Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'nun yaklaşık uzaklığı 8.1 kilometre ve Samandıra Havalimanı'na en yakın olan Ümraniye Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'nun yaklaşık uzaklığı 5.2 kilometredir.

Bu çalışmada 18 Nisan 2012 'de İstanbul'da bulunan Sabiha Gökçen ve Samandıra Havalimanlarında güneyli fırtınayla birlikte meydana gelen BLSA hadisesinin sinoptik ölçekte analizi ve toz taşınımı sonucu İstanbul atmosferinin solunabilir partikül madde (PM_{10}) profili incelenmiştir.

2. YÖNTEM

Saaroni ve arkadaşları (1998)'de fırtına tanımı yapabilmek için gerekli olan 3 şart tanımlamıştır. Bu şartlardan birisi olan "Rüzgar hamlesinin 50 knots'dan büyük olması'' koşulu bu çalışmada kullanılmıştır [8-9].

18 Nisan 2012 gününe ait yer rüzgar verilerinin ve hava hadiselerinin değerlendirilmesinde MGM'ye ait havalimanlarının AWOS (Automated Weather Observing System) yer gözlem verileri kullanılmıştır. Fırtına gününe ait Sabiha Gökçen ve Samandıra Havalimanlarının rüzgar hamle değerleri incelenmiş ve rüzgar hamle değerlerinin 50 knots'dan daha büyük olan değerleri ve hava hadiseleri bu çalışma kapsamına alınmıştır.

PM_{10} verileri İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilen hava kalitesi izleme istasyonlarına (Aksaray, Alibeyköy, Beşiktaş, Esenler, Kadıköy, Kartal, Sarıyer, Üsküdar,

Ümraniye, Yenibosna) ve TÜBİTAK 112Y319 nolu proje kapsamında Kağıthane Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'na ait veriler kullanılmıştır.

Uydu görüntüsünün analizinde NASA (National Aeronautics and Space Administration-Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)'in Aqua ve Terra uyduları tarafından çekilmiş olan MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Dust RGB uydu görüntülerinin analizinde ise MSG (Meteosat Second Generation) uydusundan elde edilen kızılötesi kanal verileri kullanılmıştır. Dust RGB uydu görüntüleri SEVIRI IR8.7, IR10.8 ve IR12.0 kanalların bir arada oluşturdukları görüntülerdir.

18 Nisan 2012 tarihine ait sinoptik analizinde Wetter3 internet sayfasından sağlanılan GFS (Global Forecast System) analiz ürünlerine ait yer kartı, 850 hPa, 700 hPa ve 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine ait haritalar kullanılmıştır. Radar görüntüsü olarak İstanbul Radarına ait PPI (Plan Position Indicator) ürünü kullanılmıştır. MGM'den alınan 15 dakikalık MSG dust haritaları kullanılarak Sabiha Gökçen ve Samandıra Havalimanları için kısa vadeli toz taşınımı tahmini yapılmıştır.

3. VERİ VE ANALİZ

Tablo 1'de Sabiha Gökçen Havalimanı'nın 18 Nisan 2012 tarihine ait 09:50 UTC (Coordinated Universal Time) ile 12:50 UTC arasındaki Metar (Meteorological Aerodrome Report) ve Speci (Aviation Selected Special Weather Report) rasatlarının zaman, rüzgar (Derece/Knots), hadise ve rüyet (Metre) değerleri gösterilmiştir. 09:50 UTC'deki Metar rasadında rüzgar 140 dereceden 11 knots, hakim rüyet 10.000 metre, hava sıcaklığı 28.2 ^{0}C, nisbi nem %21, ortalama deniz seviyesine indirilmiş basınç 987.3 hPa'dır. 10:20 UTC 'deki Metar rasadında 170 dereceden 17 knots hamlesi 28 knots olan rüzgarla birlikte havalimanında BLSA hadisesi başlamış, hakim rüyet 10.000 metreden 2.200 metreye düşmüş, hava sıcaklığı 26.6 ^{0}C, nisbi nem %20, ortalama deniz seviyesine indirilmiş basınç 987.5 hPa olarak ölçülmüştür. 10:28 UTC'deki Speci rasadında rüzgar hamlesi 50 knots'ı aşarak fırtınaya dönüşmüş, rüzgar 230 dereceden 40 knots hamlesi 59 knots'a yükselmiş, BLSA hadisesi devam etmiş, hakim rüyet 2.200 metre, hava sıcaklığı 9.7 ^{0}C düşerek 16.9 ^{0}C'ye ulaşmış, nisbi nem artarak %57 olarak ölçülmüş, ortalama deniz seviyesine indirilmiş basınç 2.2 hPa artarak 989.7 hPa'ya yükselmiştir. 10:50 UTC Metar rasadında rüzgar 260 dereceden 36 knots hamlesi 49 knots, BLSA hadisesi devam etmiş, hakim rüyet 6.000 metre, hava sıcaklığı 16.7 ^{0}C, nisbi nem %57 olarak ölçülmüş, ortalama deniz seviyesine indirilmiş basınç 2.3 hPa artarak 992.0 hPa'ya yükselmiştir. 11:20 UTC Metar rasadında rüzgar 260 dereceden 30 knots hamlesi 41 knots, BLSA hadisesi sona ermiş, hakim

rüyet 10.000 metre, hava sıcaklığı 16.9 ^{0}C, nisbi nem %56 olarak ölçülmüş, ortalama deniz seviyesine indirilmiş basınç ise 0.3 hPa azalarak 991.7 hPa'ya düşmüştür. 10:20 UTC 'de başlayan BLSA hadisesi Sabiha Gökçen Havalimanı'nda 11:20 UTC'de sona ererek 1 saat devam etmiştir.

Tablo 1: Sabiha Gökçen Havalimanı'nın 18 Nisan 2012 tarihine ait 09:50 UTC ile 12:50 UTC arasındaki Metar ve Speci rasatlarının zaman, rüzgar (derece/Knots), hadise ve rüyet (metre) değerleri.

Zaman	Rüzgar (Derece / Knots)			Hadise	Rüyet (Metre)	
(UTC)	Yön	Hız	Hamle		Hakim	Dikine
09:50	140	11	-	-	10.000	-
10:20	170	17	28	BLSA	2.200	-
10:28	230	40	59	BLSA	2.200	-
10:50	260	36	49	BLSA	6.000	-
11:20	260	30	41	-	10.000	-
11:50	250	20	-	-	10.000	-
12:20	VRB	14	25	-	10.000	-
12:50	180	15	-	-	10.000	-

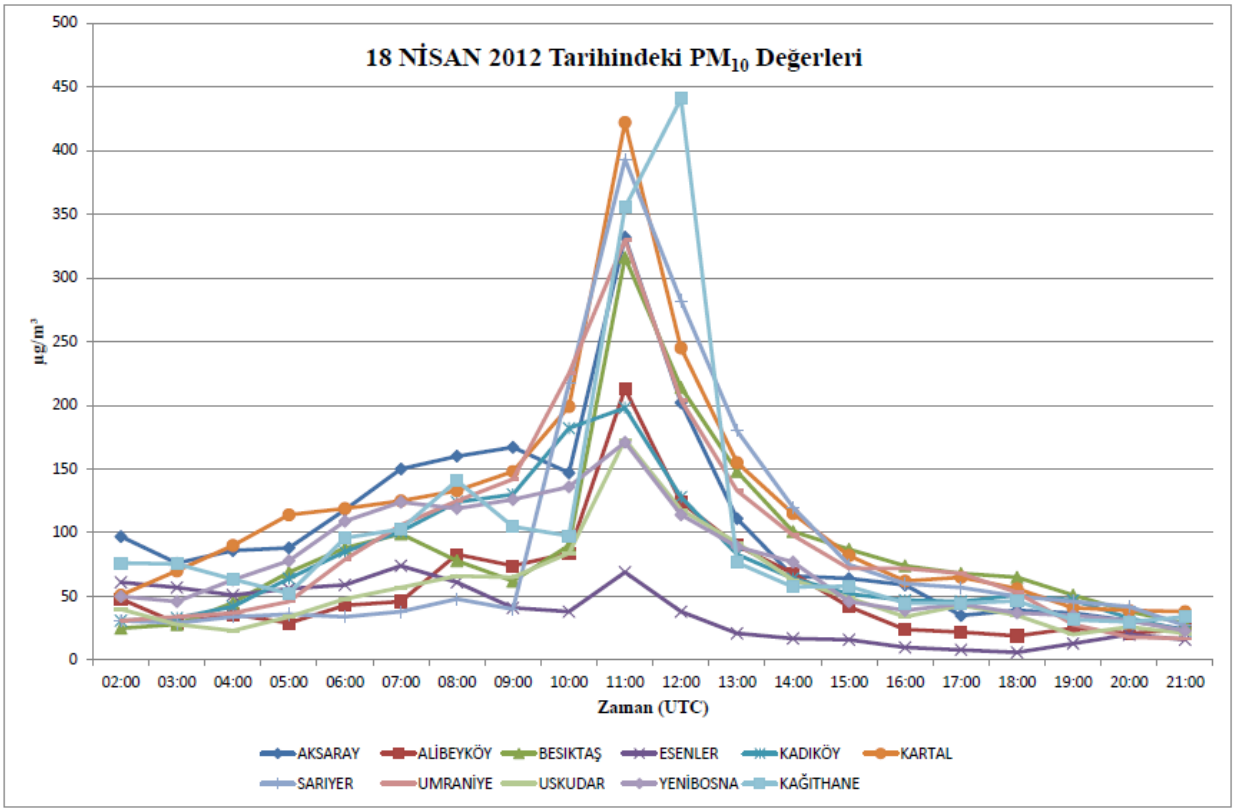
Tablo 2'de Samandıra Havalimanının 18 Nisan 2012 tarihine ait 09:50 UTC ile 12:50 UTC arasındaki Metar ve Speci rasatlarının zaman, rüzgar (Derece/Knots), hadise ve rüyet (Metre) değerleri gösterilmiştir. 09:50 UTC 'deki Metar rasadında rüzgar 170 dereceden 16 knots, hakim rüyet 10.000 metre, hava sıcaklığı 27.2 ^{0}C, nisbi nem %23, ortalama deniz seviyesine indirilmiş basınç 987.7 hPa'dır. 10:32 UTC'deki Speci rasadında rüzgar hamlesi 50 knots'ı aşarak fırtınaya dönüşmüş, 160 dereceden 40 knots hamlesi 57 knots olan rüzgarla birlikte havalimanında BLSA hadisesi başlamış, hakim rüyet 10.000 metreden 1.000 metreye ve dikine rüyette 1.000 metreye düşmüş, hava sıcaklığı 27.7 ^{0}C, nisbi nem %19, ortalama deniz seviyesine indirilmiş basınç 987.6 hPa olarak ölçülmüştür. 10:50 UTC Metar rasadında rüzgar 250 dereceden 27 knots hamlesi 40 knots, BLSA hadisesi sona ermiş, hakim rüyet 10.000 metreye yükselmiş ve dikine rüyette görüş kısıtlayıcı hadiseye raslanılmamış, hava sıcaklığı 16.3 ^{0}C, nisbi nem %59 ölçülmüş, ortalama deniz seviyesine indirilmiş basınç 3.5 hPa artarak 991.1 hPa'ya yükselmiştir. 10:32 UTC 'de başlayan BLSA hadisesi Samandıra Havalimanı'nda 10:50 UTC'de sona ererek 28 dakika devam etmiştir.

Tablo 2: Samandıra Havalimanı'nın 18 Nisan 2012 tarihine ait 09:50 UTC ile 12:50 UTC arasındaki Metar ve Speci rasatlarının zaman, rüzgar (derece/Knots), hadise ve rüyet (metre) değerleri.

Zaman	Rüzgar (Derece / Knots)			Hadise	Rüyet (Metre)	
(UTC)	Yön	Hız	Hamle		Hakim	Dikine
09:50	170	16	-	-	10.000	-
10:32	160	40	57	BLSA	1.000	1.000
10:50	250	27	40	-	10.000	-
11:50	230	16	26	-	10.000	-
12:50	220	10	-	-	10.000	-

Bu çalışma kapsamında 18 Nisan 2012 tarihine ait 02:00 UTC ile 21:00 UTC arasındaki İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilen hava kalitesi izleme istasyonlarına (Aksaray, Alibeyköy, Beşiktaş, Esenler, Kadıköy, Kartal, Sarıyer, Üsküdar, Ümraniye, Yenibosna) ve TÜBİTAK 112Y319 nolu proje kapsamında Kağıthane Hava Kalitesi İzleme İstasyonuna ait saatlik PM_{10} verilerinin zaman serileri Şekil 2'de gösterilmiştir. 18 Nisan 2012 gününe ait İstanbuldaki hava kalitesi izleme istasyonlarının saatlik PM_{10} verilerinin en yüksek değerlere ulaştığı zamanları incelediğimizde; Aksaray'da 11:00 UTC'de 332 µg/m³, Alibeyköy'de 11:00 UTC'de 213 µg/m³, Beşiktaş'ta 11:00 UTC'de 316 µg/m³, Esenler'de 11:00 UTC'de 69 µg/m³, Kadıköy'de 11:00 UTC'de 198 µg/m³, Sariyer'de 11:00 UTC'de 393 µg/m³, Üsküdar'da 11:00 UTC'de 173 µg/m³, Yenibosna'da 11:00 UTC'de 171 µg/m³ ve Kağıthane'de ise 12:00 UTC'de 441 µg/m³ epizodik değerler ölçülmüştür.

Sabiha Gökçen Havalimanı'na en yakın olan Kartal Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'nun yaklaşık uzaklığı 8.1 kilometredir. Kartal İstasyonu'nda 11:00 UTC'de ölçülen saatlik maksimum PM_{10} değeri 422 µg/m³ epizodik değerini alarak, 18 Nisan 2012 tarihinde İstanbul'da ölçülen İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilen hava kalitesi izleme istasyonlarının yaptığı ölçümlerin en yüksek değerini almıştır. Kağıthane Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'nda 12:00 UTC'de ölçülen 441 µg/m³ epizodik değer 11 istasyonun en yüksek epizodik değeridir. Samandıra Havalimanı'na en yakın olan Ümraniye Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'nun yaklaşık uzaklığı 5.2 kilometredir. Ümraniye'de 11:00 UTC'de ölçülen saatlik maksimum PM_{10} değeri 330 µg/m³ epizodik değerini almıştır.



Şekil 2: *18 Nisan 2012 tarihine ait Aksaray, Alibeyköy, Beşiktaş, Esenler, Kadıköy, Kartal, Sarıyer, Üsküdar, Ümraniye, Yenibosna ve Kağıthane Hava Kalitesi İzleme İstasyonları'nın 02:00 UTC ile 21:00 UTC arasındaki saatlik PM_{10} değerleri (µg/m³).*

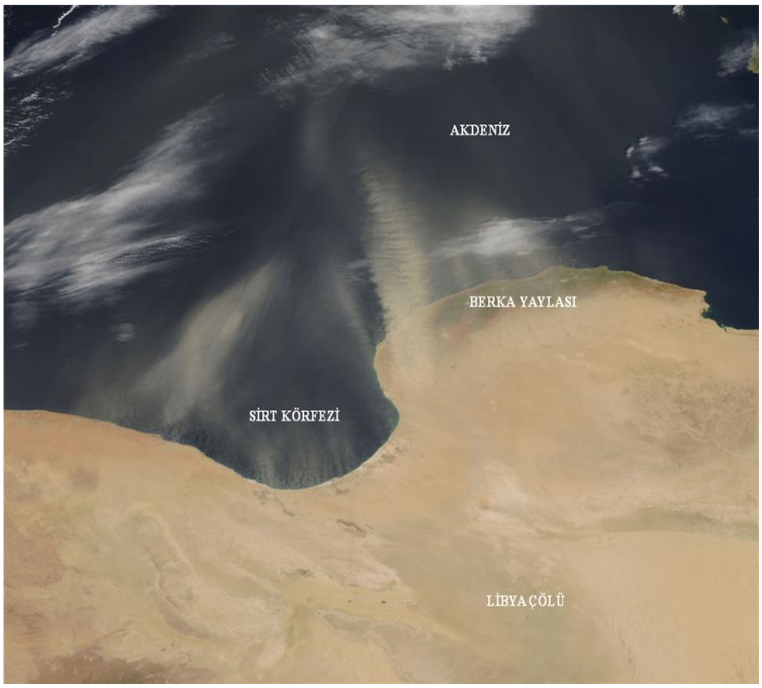
18 Nisan 2012 tarihinde Atatürk Havalimanı'nda 10:11 UTC'de 220 dereceden 57 knots'lık maksimum rüzgar değeri ölçülmüş, fakat havalimanında herhangi bir hadise gözlenmemiştir. Sabiha Gökçen Havalimanı'nda 10:28 UTC'de 250 derceden 59 knots'lık, Samandıra Havalimanı'nda ise 10:32 UTC'de 160 dereceden 57 knots'lık maksimum rüzgar değerleri BLSA hadisesiyle birlikte gözlemlenmiştir. Bu 3 havalimanında ölçülen maksimum rüzgar değerlerinin ölçüldüğü 10:11 UTC ile 10:32 UTC zaman aralığını İstanbul'da bulunan hava kalitesi ölçüm istasyonlarınında ölçülen epizodik PM_{10} değerlerinin zaman karşılaştırılması yaptığımızda; İstanbul'da bulunan 11 hava kalitesi ölçüm istasyonlarının 10 tanesinde epizodik PM_{10} değerlerinde 10:00 UTC ile 11:00 UTC arasındaki saatlik değerlerin ortalamasını yansıtan 11:00 UTC'de maksimum epizodik PM_{10} değerlerine ulaştığı rahatlıkla görülebilir. Kağıthane Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'nun 18 Nisan 2012 tarihinde ilk yüksek PM_{10} değeri 11:00 UTC'de 355 µg/m³ ve pik PM_{10} değeri ise 12:00 UTC'de 441 µg/m³'dür.

4. SİNOPTİK ANALİZ

Bu çalışmada 18 Nisan 2012 'de İstanbul'da bulunan Sabiha Gökçen ve Samandıra Havalimanlarında güneyli fırtınayla birlikte meydana gelen BLSA hadisesinin; toz taşınımı

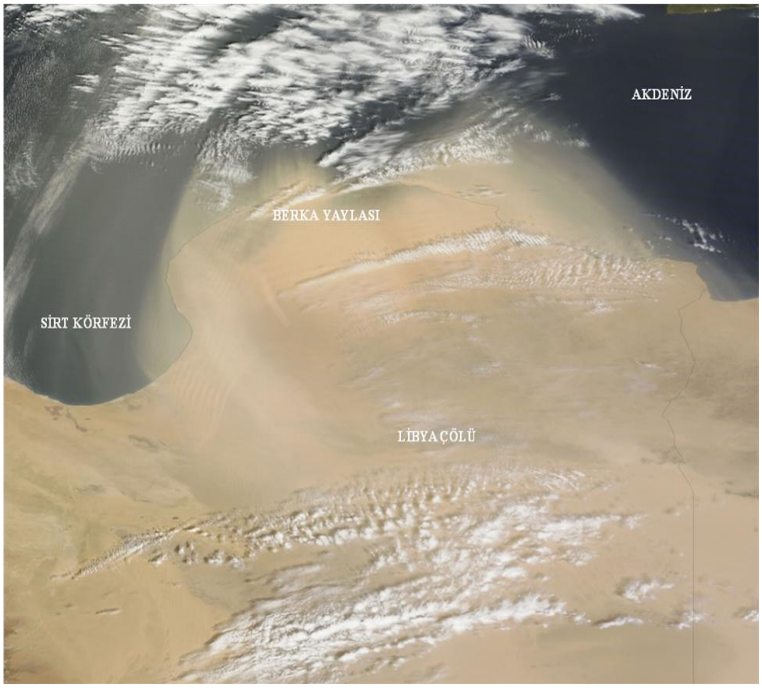
sonucu İstanbul atmosferinin solunabilir partikül madde (PM_{10}) profilinde meydana getirdiği artışın nedenlerini incelenmek için sinoptik ölçekte analiz yapılmıştır.

16 Nisan 2012 günü Libya üzerinde meydana gelen kum fırtınasının Sirt Körfezi ve Orta Akdeniz üzerinde meydana getirmiş olduğu toz ve kum taşınımı NASA'nın Aqua uydusu tarafından çekilmiş olan MODIS doğal renkli uydu görüntüsünde görülmektedir (Şekil 3). Çöl kaynaklı toz ve kumlar Bingazinin doğusundan kuzeye Orta Akdenize doğru kalınlaşmaktadır. Sirt Körfezinin batısında ise ince toz ve kumlar Orta Akdenize doğru hareket etmektedir [10-11].



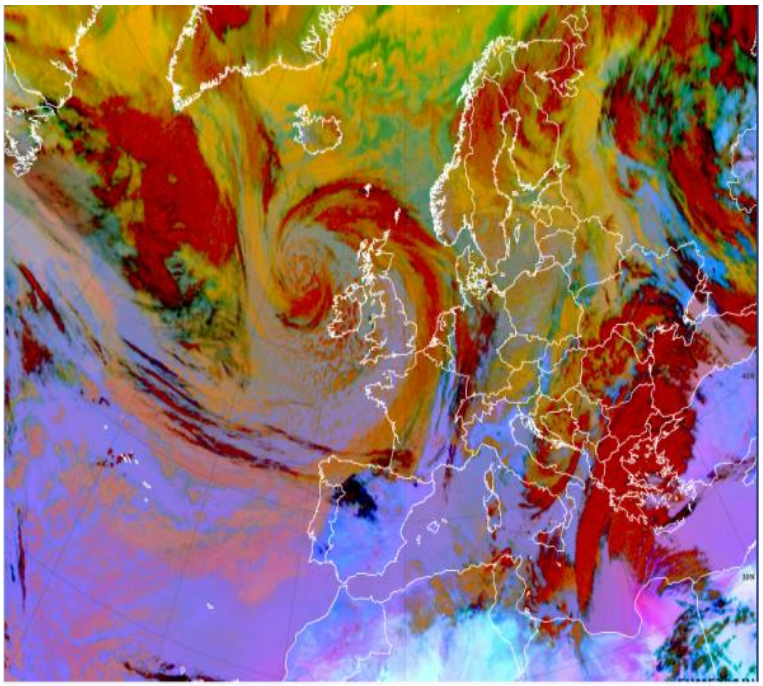
Şekil 3: 16 Nisan 2012 tarihindeki Libya üzerindeki kum fırtınası [11].

17 Nisan 2012 günü Libya üzerinde meydana gelen kum fırtınasının yine NASA'nın Terra uydusu tarafından çekilmiş olan MODIS doğal renkli uydu görüntüsü Şekil 4'de görülmektedir. Bir önceki günde olduğu gibi, çöl kaynaklı kum fırtınası Bingazi'nin üzerinde ve Berka Yaylası üzerinden Orta Akdenize doğru hareket etmektedir [10-11].



Şekil 4: 17 Nisan 2012 tarihindeki Libya üzerindeki kum fırtınası [11].

16 Nisan ve 17 Nisan 2012 tarihlerinde Libya üzerinde meydana gelen kum fırtınaları Orta Akdeniz üzerinde bulunan toz konsantrasyonunu artırmıştır. Şekil 5'de 17 Nisan 2012 günü 12:00 UTC elde edilen dust RGB uydu görüntüsünde Libya üzerindeki kum fırtınası ve Orta Akdeniz üzerindeki dust konsantransyonu rahatlıkla görülebilmektedir.

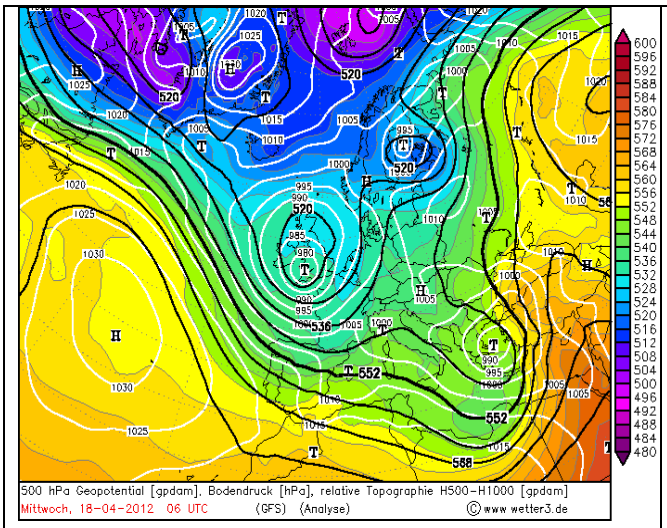


Şekil 5: 17 Nisan 2012 tarihindeki 12:00 UTC'deki Dust RGB görüntüsü [12].

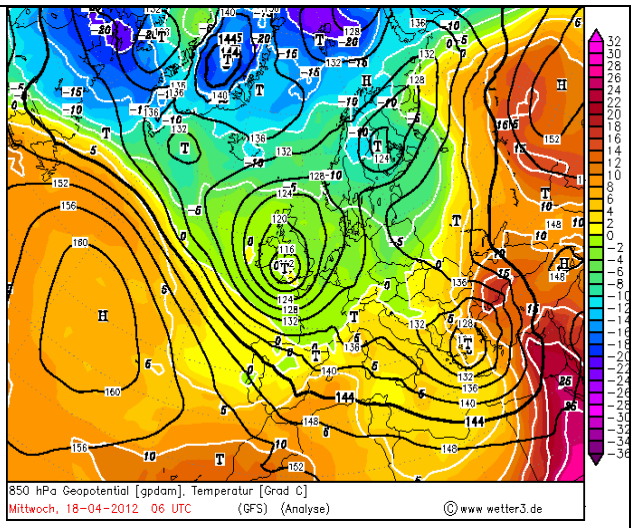
18 Nisan 2012 tarihine ait sinoptik analizinde Wetter3 internet sayfasından sağlanılan GFS analiz ürünlerine ait yer kartı, 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa jeopotansiyel yükseklik haritaları ve İstanbul Radarına ait PPI ürünü kullanılmıştır.

18 Nisan 2012 tarihinde 06:00 UTC'de 10 metre yüksekliğindeki rüzgar bilgilerine baktığımızda; Girit Adası'nın güneyiyle Libya arasında 30 knots'lık batılı rüzgarlar bulunmakta, Ege Denizi üzerinde bulunan 990 hPa'lık (Şekil 6a) alçak basınç merkezinin bulunması nedeniyle sistem siklonik dönüş yaparak Türkiye'nin batısına doğru uzanan güney ve güneydoğulu rüzgarlara neden olmaktadır. 500 hPa haritasında (Şekil 6a) 546 dam'lık kontur Türkiye'nin batısından Girit Adası üzerine uzanmaktadır. 850 hPa'da (Şekil 6b) Ege Denizi üzerinde 128 dam'lık alçak merkez, 700 hPa'da (Şekil 6c) yine Ege Denizi üzerinde 284 dam'lık alçak merkez bulunmaktadır. Libya'nın kuzeydoğusundan ve Akdeniz üzerinden Türkiye'nin batısına doğru 500 hPa'da 120 knots'lık ve 300 hPa'da 130 knots'lık güneyli rüzgar jet çekirdeği değerlerine sahip jet uzanmaktadır.

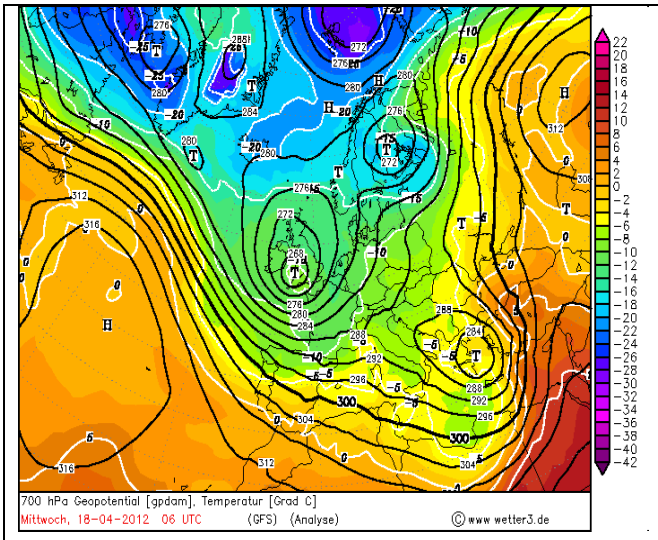
İstanbul Radarına ait 18 Nisan 2012 06:00 UTC'deki PPI görüntüsü (Şekil 6d)'de gösterilmiştir.



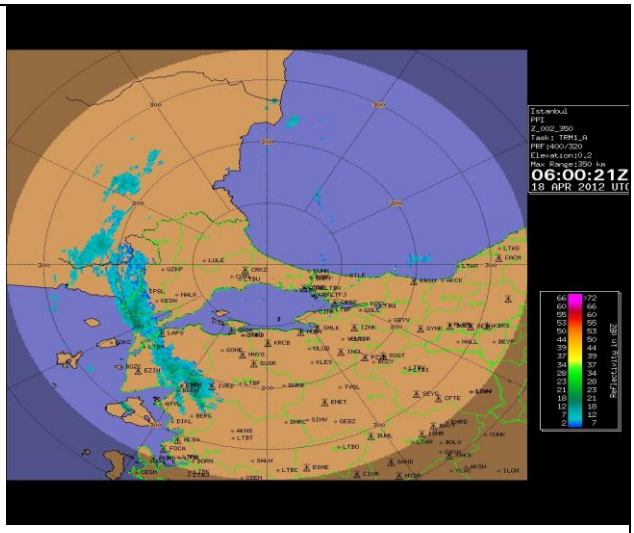
Şekil 6a: 18 Nisan 2012 06:00 UTC'ye ait yer kartı, 500 hPa ve H500-H1000 kalınlık haritası [13].



Şekil 6b: 18 Nisan 2012 06:00 UTC'ye ait 850 hPa haritası [13].



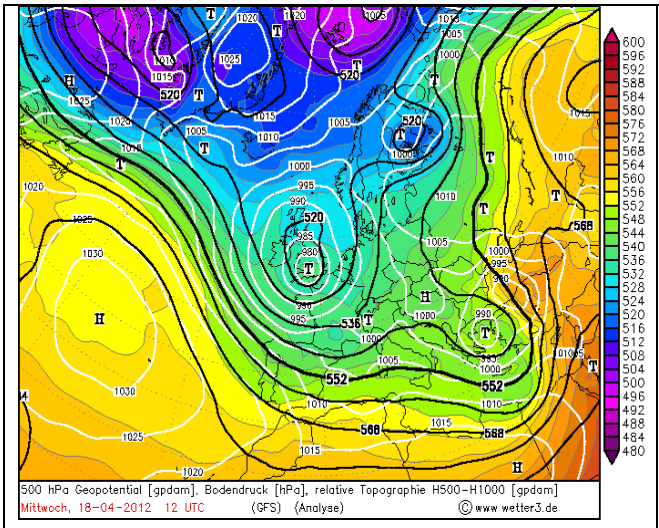
Şekil 6c: 18 Nisan 2012 06:00 UTC'ye ait 700 hPa haritası [13].



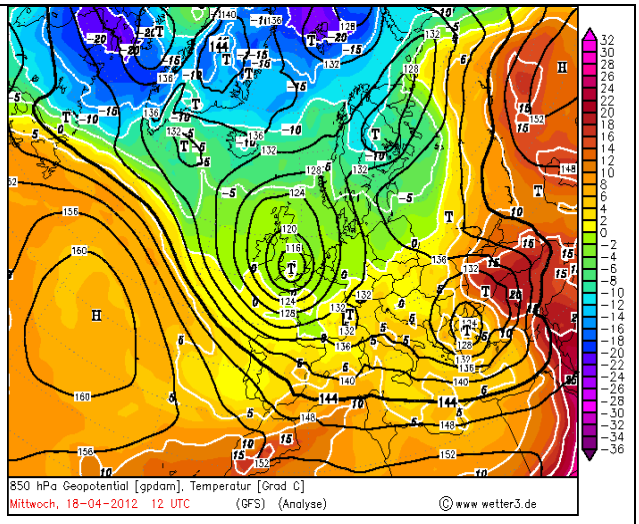
Şekil 6d: 18 Nisan 2012 06:00 UTC'ye ait İstanbul radar PPI görüntüsü [14].

18 Nisan 2012 tarihinde 12:00 UTC'de 10 metre yüksekliğindeki rüzgar bilgilerine baktığımızda; Girit Adası civarında 45 knots'lık batılı rüzgarlar bulunmaktadır. Ege Denizi üzerinde bulunan 990 hPa'lık alçak basınç merkezinin değerini koruyarak kuzeydoğuya doğru hareket etmesi sonucu iki alçak basınç merkezi meydana gelmiştir. Birincisi Kuzey Ege Denizi'nde, ikincisi ise Doğu Marmara ve Batı Karadeniz (Şekil 7a) üzerindedir. 500 hPa haritasında (Şekil 7a) 546 dam'lık kontur Türkiye'nin iç batı bölgelerinden Güney Ege'ye doğru uzanmaktadır. 850 hPa'da (Şekil 7b) Kuzey Ege Denizi, Trakya, Bulgaristan ve Yunanistan üzerinde 128 dam'lık alçak merkez, 700 hPa'da (Şekil 7c) yine Kuzey Ege Denizi, Trakya, Bulgaristan ve Yunanistan üzerinde 284 dam'lık alçak merkez bulunmaktadır. Libya'nın kuzeydoğusundan ve Akdeniz üzerinden Türkiye'nin batısına doğru uzanan 500 hPa'da 110 knots'lık ve 300 hPa'da 120 knots'lık güneyli rüzgar jet çekirdeği değerlerine sahip jet uzanmaktadır.

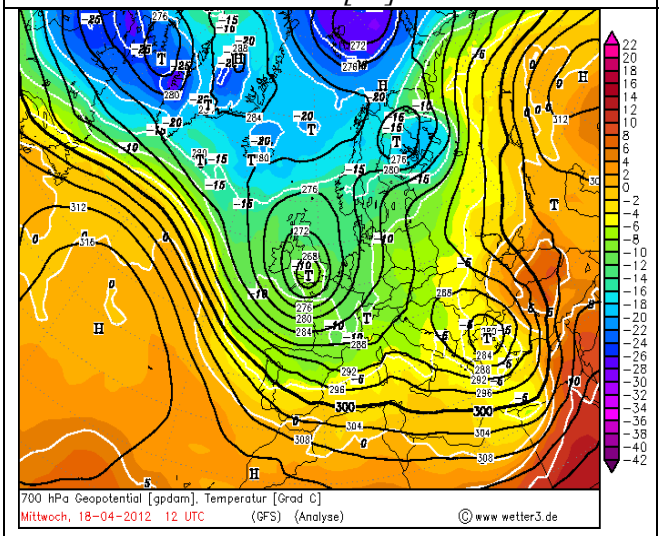
İstanbul Radarına ait 18 Nisan 2012 12:00 UTC'deki PPI görüntüsü (Şekil 7d)'de gösterilmiştir.



Şekil 7a: 18 Nisan 2012 12:00 UTC'ye ait yer kartı, 500 hPa ve H500-H1000 kalınlık haritası [13].



Şekil 7b: 18 Nisan 2012 12:00 UTC'ye ait 850 hPa haritası [13].



Şekil 7c: 18 Nisan 2012 12:00 UTC'ye ait 700 hPa haritası [13].

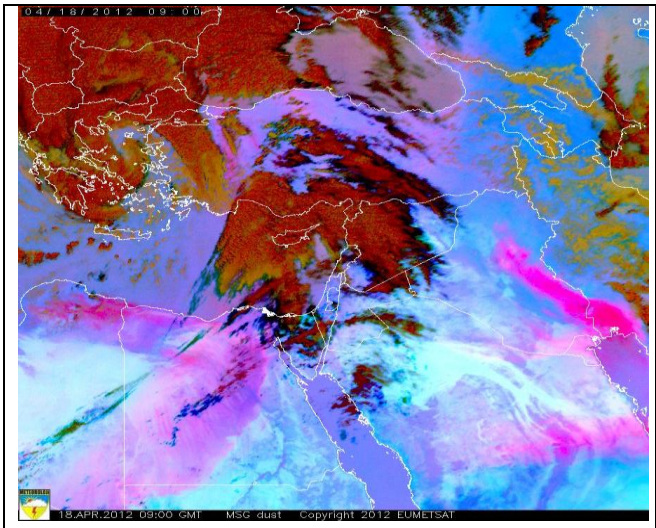


Şekil 7d: 18 Nisan 2012 12:00 UTC'ye ait İstanbul radar PPI görüntüsü [14].

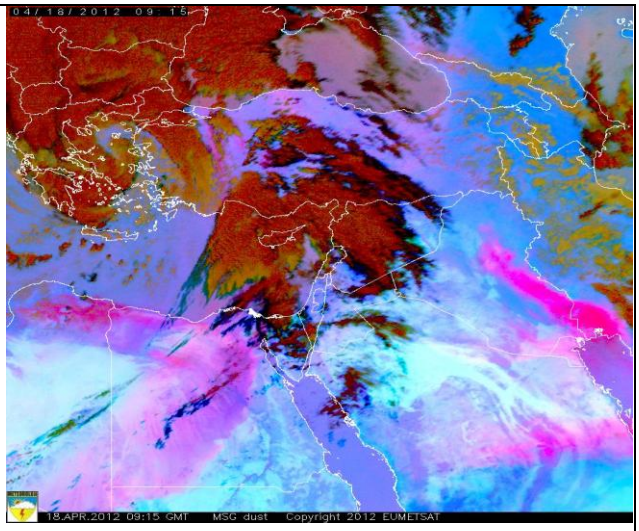
Wetter3 [13] internet sayfasında Deutscher Wetterdienst tarafından hazırlanan cephe analiz yer kartlarına baktığımızda; 17 Nisan 2012 18:00 UTC'de Libya'da bulunan Berka Yaylası ve Güney Orta Akdeniz üzerinde merkezlenmiş 995 hPa'lık alçak basınç merkezi 18 Nisan 2012 00:00 UTC'de değerini koruyarak Yunanistan ve Girit Adası üzerine hareket etmiştir. 18 Nisan 2012 06:00 UTC'de alçak basınç merkezi derinleşerek 985 hPa'lık değerle Ege Denizi üzerine ulaşmıştır. Alçak basınç merkezinin soğuk cephesi Ege Denizi üzerinden Türkiye'nin güneybatı kesimlerinden geçerek Mısır üzerinde Kahire'ye doğru uzanmaktadır. Sistemin sıcak cephesi Ege Denizi üzerinden Bulgaristan ve kuzeybatı Karadeniz üzerinden Rusya'ya doğru uzanmaktadır. 18 Nisan 2012 12:00 UTC'de alçak basınç merkezi 985 hPa'lık değerini koruyarak Kuzey Ege Denizi üzerine hareket etmiştir. Bu hareketi esnasında sistem oklide olarak oklüzyon cephesi

meydana getirmiştir. 985 hPa'lık alçak basınç merkezine bağlı oklüzyon cephesi Kuzey Ege üzerinden Bulgaristan ve Batı Karadenize doğru; soğuk cephesi Batı Karadeniz üzerinden Kıbrıs'a doğru; sıcak cephesi de Batı Karadeniz üzerinden kuzeybatı Karadeniz'den Rusya'ya doğru uzanmaktadır.

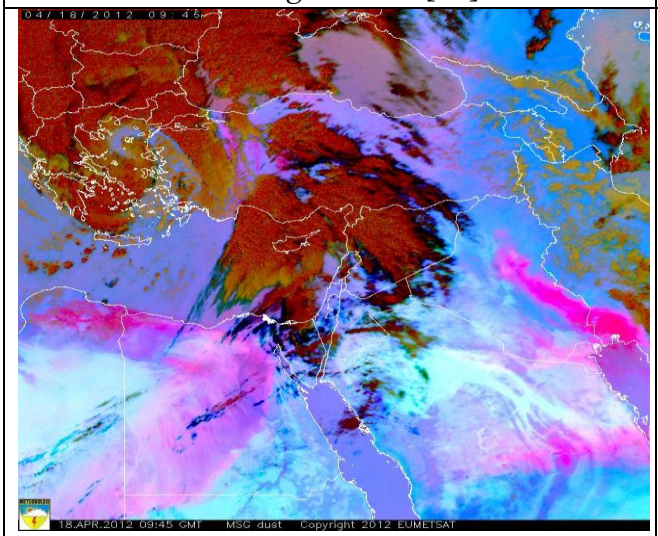
MGM'den alınan 15 dakikalık MSG dust haritaları kullanılarak Sabiha Gökçen ve Samandıra Havalimanları için kısa vadeli dust tahmini yapılmıştır. 16 Nisan 2012 ve 17 Nisan 2012 tarihlerinde Libya üzerinde meydana gelen kum fırtınaları Orta Akdeniz üzerinde toz konsantrasyonunu artırmıştır. 17 Nisan 2012 18:00 UTC'de Libya'da bulunan Berka Yaylası ve Güney Orta Akdeniz üzerinde merkezlenmiş 995 hPa'lık alçak basınç merkezinin derinleşerek Kuzey Ege'ye doğru hareket etmesi sonuçu Libya'nın kuzeyinde ve Orta Akdeniz üzerinde bulunan toz ve kumların güneyli fırtınayla birlikte Türkiye'nin batı ve iç kısımlarına taşınmasına neden olmuştur. 18 Nisan 2012 00:00 UTC MSG dust uydu görüntüsüne baktığımızda Yunanistan'ın Mora Yarımadası ile Girit Adasının güneyine kadar uzanan ve büyüklüğü Kıbrıs'tan daha büyük olan dust konsantrasyonunun olduğu görülmektedir. 03:00 UTC MSG dust uydu görüntüsünde ise bu konsantrasyon kuzeydoğuya doğru hareket ederek Kıbrıs'ın yaklaşık 2 katı alana yayılarak Ege Denizi üzerinde görülmektedir. 04:45 UTC MSG dust uydu görüntüsünde alçak basınç merkezinin Yunanistan ve Mora Yarımadası üzerinde oklide olması sonucu dust konsantrasyonu Selanik üzerinden Sakız Adasının güneyine doğru uzanan hattın kuzeydoğusunda görülmektedir. Dust konsantrasyonunun büyük bir kısmı soğuk cepheye bağlı bulut bantının altında kalmıştır. 09:00 UTC MSG dust (Şekil 8a) uydu görüntüsünde özellikle İstanbul'un Anadolu yakasının doğusunda dust konsantrasyonu daha yoğun olarak görülmekte, Trakya'dan Kapıdağ Yarımadasının güneyine uzanan soğuk cepheye bağlı bulut bantının altında soğuk cephenin hareket doğrultusunda kuzeydoğuya doğru dust konsantrasyonu hareketini sürdürmektedir. 09:15 UTC (Şekil 8b), 09:45 UTC (Şekil 8c), 10:00 UTC (Şekil 8d) ve 10:15 UTC (Şekil 8e) MSG dust uydu görüntülerinde soğuk cephe önünde bulunan dust konsantrasyonlarının Sabiha Gökçen ve Samandıra Havalimanları'nı kapsayacak şekilde İstanbul'un Anadolu Yakası üzerinde olduğu görülmektedir. Sabiha Gökçen Havalimanı'nda 10:20 UTC'de ve Samandıra Havalimanı'nda ise 10:32 UTC'de BLSA hadisesi başlamıştır. 10:45 UTC MSG dust (Şekil 8f) uydu görüntüsünde dust konsantrasyonun Sabiha Gökçen Havalimanı'nı da içine alacak şekilde İstanbul'un Anadolu Yakası'nın doğusunda olduğu görülmektedir. BLSA hadisesinin 2 havalimanında gözlemlendiği zaman dilimini yansıtan saatlik PM_{10} değerinin ölçüldüğü İstanbul'da bulunan 11 hava kalitesi ölçüm istasyonlarında epizodik PM_{10} değerlerinde ani artışlar meydana gelmiştir.



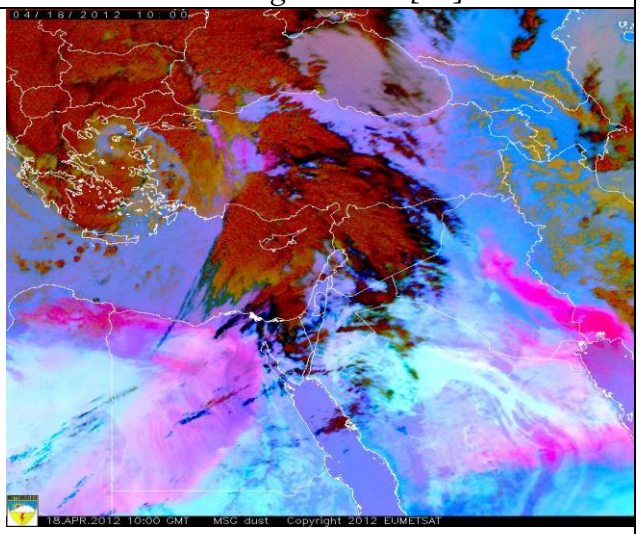
Şekil 8a: 18 Nisan 2012 09:00 UTC'ye ait MSG dust görüntüsü [14].



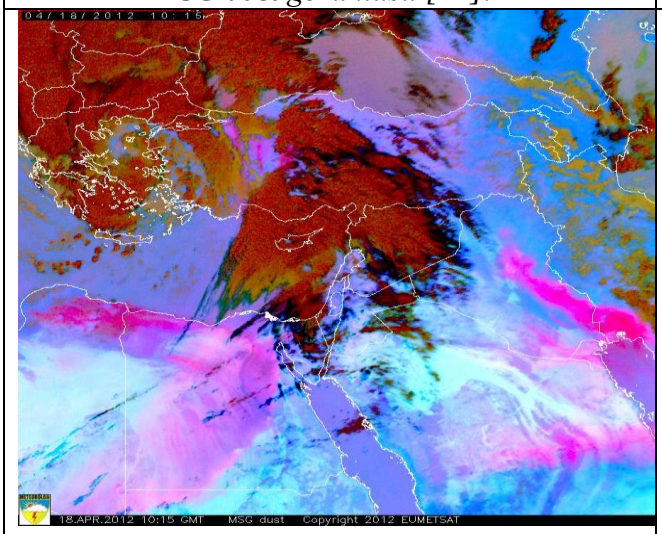
Şekil 8b: 18 Nisan 2012 09:15 UTC'ye ait MSG dust görüntüsü [14].



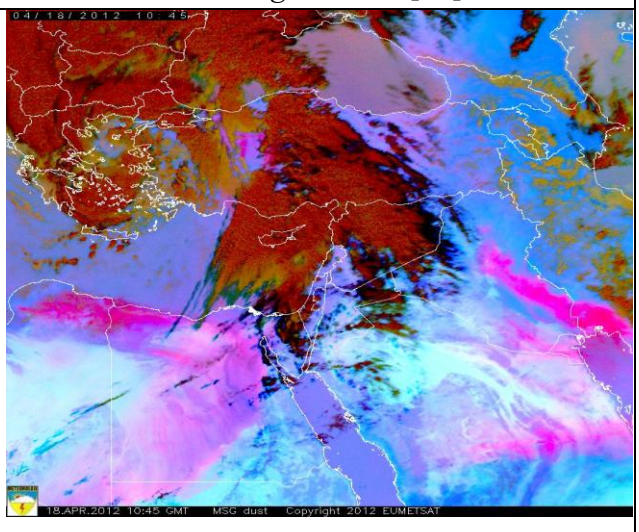
Şekil 8c: 18 Nisan 2012 09:45 UTC'ye ait MSG dust görüntüsü [14].



Şekil 8d: 18 Nisan 2012 10:00 UTC'ye ait MSG dust görüntüsü [14].



Şekil 8e: 18 Nisan 2012 10:15 UTC'ye ait MSG dust görüntüsü [14].



Şekil 8f: 18 Nisan 2012 10:45 UTC'ye ait MSG dust görüntüsü [14].

5. SONUÇLAR

18 Nisan 2012 tarihinde Sabiha Gökçen Havalimanı'nda 10:28 UTC'de güneyli fırtınayla (230 dereceden 40 knots hamlesi 59 knots) birlikte meydana gelen BLSA hadisesi 1 saat, Samandıra Havalimanı'nda 10:32 UTC'de yine güneyli fırtınayla (160 dereceden 40 knots hamlesi 57 knots) birlikte meydana gelen BLSA hadisesi 28 dakika devam etmiştir. Sabiha Gökçen Havalimanı'nda BLSA hadisesi sonucu hakim rüyet 2.200 metreye, Samandıra Havalimanı'nda BLSA hadisesi hakim rüyetin ve dikine rüyetin 1.000 metreye düşmesine neden olmuşlardır.

Sabiha Gökçen Havalimanı'nda 10:28 UTC'de 250 dereceden 59 knots'lık ve Samandıra Havalimanı'nda 10:32 UTC'de 160 dereceden 57 knots'lık maksimum rüzgar değerlerinin BLSA hadisesiyle birlikte gözlemlendiği zaman dilimini yansıtan saatlik PM_{10} değerinin ölçüldüğü İstanbulda bulunan 11 hava kalitesi ölçüm istasyonlarında epizodik PM_{10} değerleri birbiriyle örtüşmektedir. Sabiha Gökçen Havalimanı'na yaklaşık uzaklığı 8.1 kilometre olan en yakın hava kalitesi izleme istasyonu olan Kartal İstasyonunda 11:00 UTC'de ölçülen saatlik maksimum PM_{10} değeri 422 µg/m³ epizodik değerini alarak, 18 Nisan 2012 tarihinde İstanbul'da İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilen hava kalitesi izleme istasyonlarının (10 Adet) yaptığı ölçümlerin en yüksek değeridir. Kağıthane Hava Kalitesi İzleme İstasyonunda 12:00 UTC'de ölçülen 441 µg/m³ epizodik değer 11 istasyonun en yüksek epizodik değeridir. 18 Nisan 2012 tarihinde toz taşınımı sonucu İstanbul atmosferinin solunabilir partikül madde PM_{10} değerlerinde (11 hava kalitesi izleme istasyonlarının saatlik PM_{10} ortalamalarına göre) 11:00 UTC'de; 09:00 UTC PM_{10} ortalamalarına göre 170 µg/m³ artışla 270 µg/m³ ortalama değerine yükselmiştir.

16 Nisan 2012 ve 17 Nisan 2012 tarihlerinde Libya üzerinde peş peşe 2 günde meydana gelen çöl kaynaklı kum fırtınalarının yönünün Orta Akdeniz üzerine doğru olması Orta Akdeniz üzerinde bulunan toz konsantrasyonunu artırmıştır.

17 Nisan 2012 18:00 UTC'de Libya'da bulunan Berka Yaylası ve Güney Orta Akdeniz üzerinde merkezlenmiş 995 hPa'lık alçak basınç merkezinin derinleşerek 18 Nisan 2012 tarihinde Kuzey Ege üzerinde 985 hPa' lık değere ulaşmıştır. Sistemin hareketiyle birlikte Libya ve Orta Akdeniz üzerinde bulunan toz konsantrasyonları kuzeye taşınmışdır. Soğuk cephe sistemimin Sabiha Gökçen ve Samandıra Havalimanlarına yaklaşması ve geçmesi esnasında BLSA hadisesi havalimanlarında rasat edilmişdir.

MODIS uydu görüntülerinde 16 Nisan 2012 ve 17 Nisan 2012 tarihlerinde Libya üzerinde meydana gelen kum fırtınası tespit edilmiştir. 17 Nisan 2012 dust RGB uydu görüntülerinde kum fırtınası ve Orta Akdeniz üzerindeki dust konsantrasyonu; 18 Nisan 2012 MSG dust uydu görüntülerinde de Orta Akdeniz üzerinden Sabiha Gökçen ve Samandıra Havalimanlarına taşınan dust konsantrasyonlarının Mora Yarınadası ve Girit Adası üzerinden soğuk cephenin hareket doğrultusunda kuzeydoğuya doğru olan taşınımları tespit edilmiştir.

Teşekkür

Yazarlar, verilerin elde edilmesindeki desteklerinden dolayı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'ye teşekkür ederler. Ayrıca bu çalışma TÜBİTAK 112Y319 numaralı proje tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] **Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) (2012).** *Tüm Yurdumuzu Etkileyen Fırtına Ve Toz Fırtınası Başlıklı Değerlendirme Raporu.* 19.04.2012.

[2] **Vatan Gazetesi (2013).** http://haber.gazetevatan.com/120-kilometre-hizla-uctuk/444547/7/yasam , alıntılanma tarihi: 17.06.2013.

[3] **Google Maps (2013).** http://maps.google.com, alıntılanma tarihi: 03.08.2013.

[4] **Vardoulakis S., Kassomenos P. (2008).** *Sources and factors affecting PM_{10} levels in two European cities: Implications for local air quality management.* Atmospheric Environment 42, 3949-3963.

[5] **IBB(2013).** http://www.ibb.gov.tr/sites/airqualistanbul/documents/istanbul.htm, alıntılanma tarihi: 03.08.2013.

[6] **TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2013).** http://hava.cevreorman.gov.tr/hava/Files/S%C4%B1kca_Sorulan_Sorular.pdf, alıntılanma tarihi: 03.08.2013.

[7] **Pope C.A. 3rd, Muhlestein J.B., May H.T., Renlund D.G., Anderson J.L., Horne B.D. (2006).** *Ischemic heart disease events triggered by short-term exposure to fine particulate air pollution.* Circulation 114, 23, 2443-2448.

[8] **Saaroni H., Ziv B., Bitan A., Alpert P. (1998).** *Easterly Wind Storms Over Israel.* Theoretical and Applied Climatology 59: 61-77.

[9] **Deniz A., Özdemir E.T., Sezen İ., Çoşkun M. (2013).** *Investigations of storms in the region of Marmara in Turkey.* Theoretical and Applied Climatology 112:61-71.

[10] **CIA World Factbook (2012).** Libya. Accessed April 16, 2012. Accessed April 17, 2012.

[11] http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=77675, alıntılanma tarihi: 06.08.2013.

[12] http://www.eumetrain.org/, alıntılanma tarihi: 23.06.2013.

[13] http://www.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html, alıntılanma tarihi: 07.08.2013.

[14] http://tumas.mgm.gov.tr/wps/portal/, alıntılanma tarihi: 07.08.2013.

Uzaktan Algılama Verileri ile Toz Taşınımı Analizi

Kahraman OĞUZ, Muhammet Ali PEKİN, Cihan DÜNDAR

Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Araştırma Dairesi Başkanlığı
Ankara
koguz@mgm.gov.tr
mapekin@mgm.gov.tr
cdundar@mgm.gov.tr

ÖZET

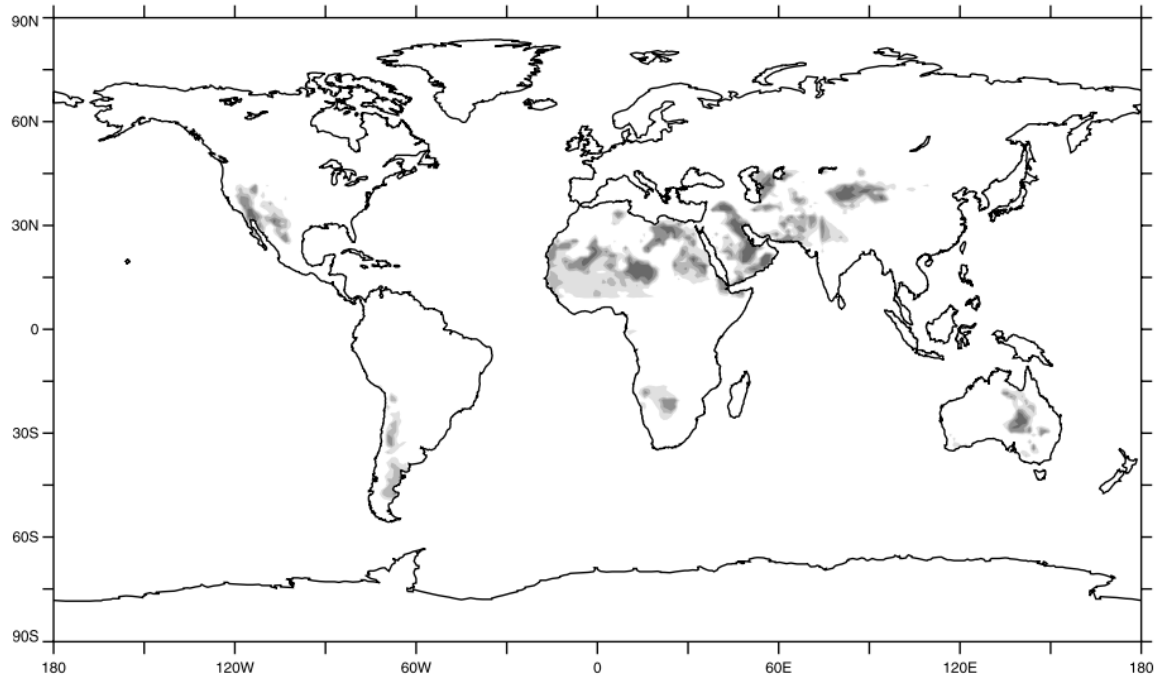
Toz taşınımı, Dünya ekosistemi için büyük önem taşımaktadır, çünkü kum ve toz fırtınaları, fiziksel çevre ve canlılar üzerinde çok önemli etkilere sahiptir. Bu çalışmada; özellikle geniş alanların hızlı ve güvenilir bir şekilde izlenmesine olanak sağlayan uzaktan algılama yöntemleriyle toz taşınımının belirlenmesi hakkında bilgiler sunulmuştur. Bu amaçla çalışma dönemi olarak Türkiye'yi kapsayan bir alanda yoğun toz olayının gözlemlendiği tarihler ele alınmıştır. Bunun tespiti için öncelikle OMI sensörünün Aerosol Indeks ürünü ve Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarının PM10 verileri incelenip 18 Nisan 2012 ve 8 Nisan 2013 tarihlerine odaklanılmıştır. Daha sonra toz olayını detaylı yorumlamak amacıyla bu tarihlere ait Aqua/MODIS-Aerosol Optik Derinliği ve MSG-RGB uydu ürünleri analiz edilip, BSC-DREAM8b toz taşınımı tahmin modeli çıktıları ile mukayese edilmiştir.

Anahtar Kelimeler — Toz taşınımı; uzaktan algılama; MODIS; MSG.

1. GİRİŞ

Çöl kökenli tozlar, kurak ve yarı kurak alanlardan genel atmosfer dolaşımı ile ve çeşitli meteorolojik faktörlere (rüzgarlar, konvektif aktivite ve gezici depresyonlar) bağlı olarak toprak örtüsündeki tozların atmosfere dahil olması ve bu tozların uzun mesafeli atmosferik taşınımı sonucunda meydana gelmektedir.

Toz taşınımı, Dünya ekosistemi için büyük önem taşımaktadır. Toz taşınımının temel nedeni, kuraklık ve çölleşme olarak belirtilmektedir. Dünyadaki başlıca toz kaynak alanları Afrika (Sahra çölü), Asya (Gobi ve Taklamakan), Arabistan Yarımadası, Güney Amerika ile Avustralya'da bulunan çöllerdir (Şekil 1).



Şekil 1: Toz kaynak alanları (Prospero et al. 2001)

Tozun iklim ve çevre üzerine olan etkileri (IPCC, 2007) atmosferik toz döngüsünü tahmin etmeyi ve yorumlamayı zorunlu kılmıştır. Bu amaçla, 1990 yılından bu yana toz taşınımının tahmin edilmesi amacıyla çeşitli bölgesel ve küresel modeller geliştirilmiştir. Bunun yanında çeşitli uydu gözlemleri ile de toz taşınımı gözlemlenmektedir.

2. METODOLOJİ

15.1.2.1- Uydu Gözlemleri

Uydu aerosol ürünleri genellikle toz kaynak alanlarının ve toz taşınım paternlerinin tespiti için kullanılmaktadır. Tozun etkilerinin tahminini doğru bir biçimde yapabilmek için, tozun taşınım yüksekliğinin, paternlerinin detaylı olarak incelenmesi ve bunun yorumlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Tozun taşınımı ve karakteristiği Ozon İzleme Cihazı (OMI), Orta Çözünürlüklü Spektro-radiometre Görüntüleme (MODIS) ve İkinci Nesil Meteoroloji Uydusu (MSG) gibi çeşitli uydular tarafından ölçülebilmektedir ve toz aerosollerinin görüntülenmesi yapılabilmektedir. Bu gözlemler tozun yatay/düşey dağılımı ve taşınımı hakkında yararlı bilgiler sağlamaktadır (Wang, 2012).

2.1.1 OMI (Ozon Görüntüleme Cihazı)

OMI; duman, toz, sülfat vb. aerosol türlerini ayırt etmektedir. OMI uydusu TOMS uydusunun devamıdır ve toplam ozon, ozon kimyası, aerosol ve iklim ile ilgili diğer atmosferik parametreleri de ölçmektedir.

Toz analizi için sıkça kullanılan ürünlerden birisi olan OMI Aerosol Indeks (AI) ürünü Ultraviyole (UV) radyasyonunun atmosferdeki aerosollerden ne kadarının yansıtıldığının bir ölçümüdür. Bu algoritma, aerosol tabakası altından saçılan UV akısının pertürbasyonuna dayanmaktadır. AI ürünü; UV radyasyonunu absorblayan ve yansıtan aerosolleri ayırt edebilmektedir ve bu yolla aerosoller tarafından absorblanma miktarı ile ilgili bilgi sağmaktadır. AI pozitif değerleri; UV absorblayan aerosollerle alakalıdır ve bunlar temelde mineral toz, duman ve volkanik aerosollerdir. Negatif AI değerleri ise absorblamanın olmadığı (sülfat, deniz tuzu partikülleri gibi) hem doğal hem de antropojenik kaynaklarla ilişkilidir (Torres et al, 1998).

2.1.2 MODIS (Orta Çözünürlüklü Spektro-radiometre Görüntüleme Sistemi)

MODIS, 1999 yılında NASA tarafından fırlatılmış, yer küreye göre sabit yörüngesi olan bir sistemdir. Bu sistem, 36 farklı bant bölgesinde 0,4 -14,4 mikron dalga boyunda çalışan, farklı seçicilikte özelliklere sahiptir. 1-2 geçiş ile tüm dünyayı görüntüler. Onboard Terra'da MODIS dünyayı sabah görürken, Aqua MODIS yörüngesi dünyayı öğleden sonra görür. Yeryüzü üzerinde, büyük ölçekli küresel dinamik yapıya ait ölçümleri (bulut kapalılığı, radyasyon bütçesi, aşağı atmosferde okyanus ve kara yüzeylerinde oluşan değişimleri) verecek şekilde tasarlanmıştır. MODIS aerosol algoritması ise, iki bağımsız algoritmadan (biri kara üzeri, diğeri okyanus üzeri) oluşmaktadır. MODIS aerosol ürünleri sadece bulutsuz bölgeler için oluşturulur (Levy et al., 2010).

2.1.3 MSG (İkinci Nesil Meteoroloji Uydusu)

Meteosat 2 (MSG) uydusunun kurulumu 28 Ağustos 2012 tarihinde gerçekleşmiştir ve bu sayede gerçek zamanlı model değerlendirmeleri için çok önemli bir fırsat elde edilmiştir. MSG uydusu iklim izleme ve araştırmaları için önemli veriler sağlamakla birlikte, kullanıcıların ihtiyaçları doğrultusunda tasarlanmış kısa süreli tahmin (nowcasting) ve sayısal hava tahmin hizmetleri için önemli bilgiler sağlamaktadır. Uydu tam disk görüntüsü, hızlı gelişen meteorolojik olayların izlenmesine olanak sağlayan yüksek çözünürlüklü görünür kanalda her 15 dakikada bir ürün sağlamaktadır.

MSG toz ürünü SEVIRI kızılötesi kanalına dayalı RGB kompozitidir. Hem gündüz hem de gece boyunca çöller üzerinde toz fırtınalarının gelişimini izlemek için tasarlanmıştır. RGB ürünleri uydunun farklı kanallarından gelen görüntülerinin bir araya getirilerek çok kanallı (multispektral) özellikler kazandırılması tekniği ile oluşturulur. RGB birleşimi ayrıca gündüz boyunca sıcak çöl yüzeyleri ve soğuk toz bulutu arasındaki sıcaklık farkını göstermektedir. Birleşim şu IR kanalları kullanılarak oluşturulmaktadır: IR12.0-IR10.8 (kırmızı), IR10.8-IR8.7 (yeşil); and IR10.8 (mavi). Toz ise bu RGB birleşiminde pembe ve morumsu kırmızı renk olarak görünmektedir. Kuru toprak yüzeyleri açık maviden (gündüz) açık yeşile (gece)

doğru renk tonlarında görünür. Kalın yüksek seviye bulutları kırmızı-kahve tonlarında ve ince yüksek seviye bulutları ise çok koyu renkli (neredeyse siyah) olarak görünmektedirler.

15.2.2.2- BSC-DREAM8b Toz Taşınımı Tahmin Modeli

Toz Bölgesel Atmosferik Modeli (DREAM; Nickovic et al., 2001) aşınmış çöl bölgelerinde tozların atmosferik yaşam döngüsü'nü tahmin etmektedir ve Eta/NCEP (Çevre Tahmini Ulusal Merkezi) modelinin bir bileşeni olarak geliştirilmiştir.
Modelinin temel özellikleri şunlardır:

- Toz üretim şeması
- Toz üretiminde toprak ıslaklık etkileri
- Kuru çökelme ve bulut altı birikimi
- Yatay ve dikey adveksiyon, türbülans ve yan difüzyon
- Toz-radyasyon etkileşimi.

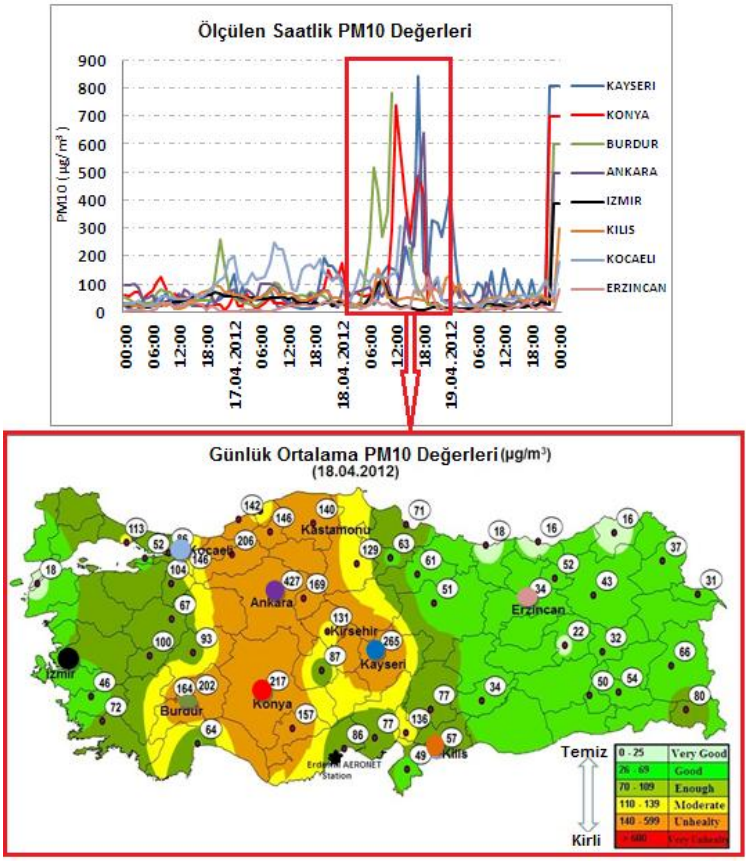
Model çalışması birinci örnek çalışma için 10-21 Nisan 2012 tarihlerini, ikinci örnek çalışma için 28 Mart-11 Nisan 2013 tarihlerini kapsayan aralığı içermektedir. 00:00 UTC 'de başlayan 6 saat aralıklı 0.5° x 0.5° çözünürlükte NCEP tahminleri başlangıç ve sınır koşulu olarak kullanılmıştır. Model yatay çözünürlüğü 1/3° ye, dikey çözünürlüğü ise 15 km 'ye denk gelen bir çözünürlüğe ayarlanmıştır. Model çıktıları alındıktan sonra uydu gözlemleri ile toz taşınımının analizi yapılmıştır ve modelin etkinliği değerlendirilmiştir.

3. SONUÇLAR

Örnek olaylar olarak, Türkiye'de yoğun toz taşınımının gözlemlendiği olaylar analiz edilmiş ve belirlenmiştir. Burada dikkat çeken önemli bir nokta, incelenen her iki örnek çalışmanın da ilkbahar ayında olmasıdır. Afrika'dan gelen hava kütlelerinin Doğu Akdeniz üzerinde en etkin olduğu dönemler sonbahar ve özellikle ilkbahar dönemleridir, çünkü bu dönemlerde bu bölgeye taşınan toz salınımları maksimum düzeydedir (Basart, 2012).

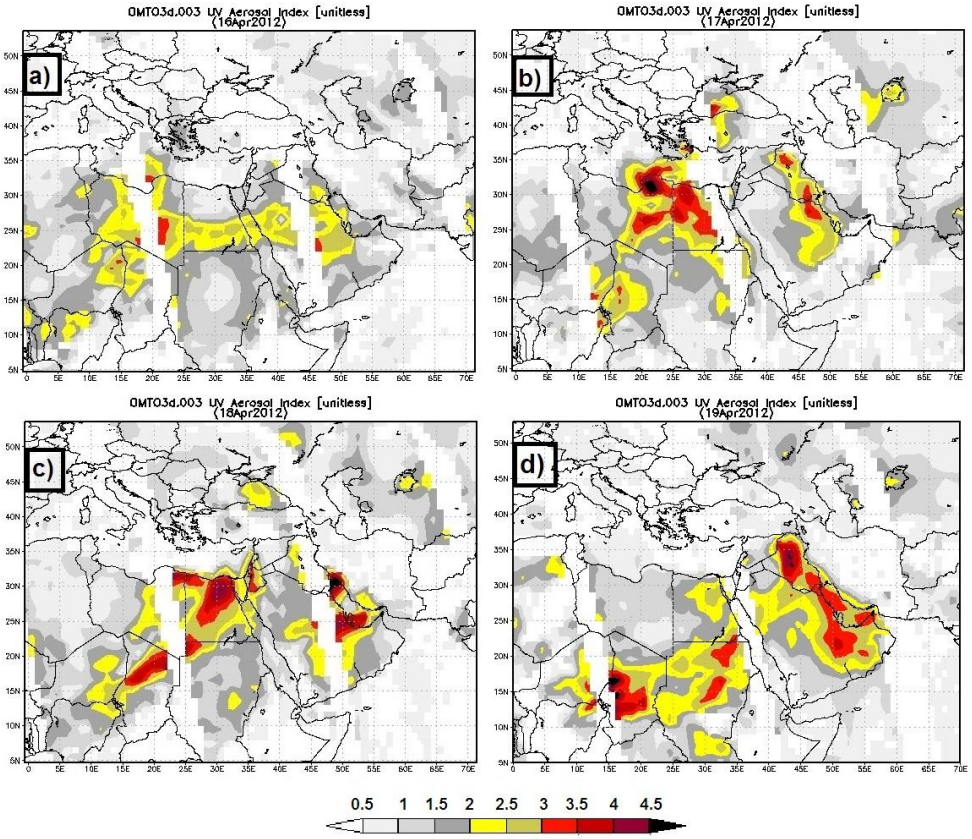
15.3.3.1- 18 Nisan 2012 Toz Olayı

Bu toz olayında, yere dayalı ve uydu gözlemleri ile toz salınımının açıkca gözlendiği 18 Nisan 2012 tarihine odaklanılmıştır. Yoğun toz taşınımı, bu tarihte Türkiye'de çoğu hava kalite istasyonlarındaki PM10 konsantrasyonu değerlerinin pik yapmasına sebep olmuştur. (Şekil 2). Günlük ortalama PM10 değerleri; Ankara'da 427 µg/m3, Konya'da 217 µg/m3, Burdur'da 164 µg/m3 ve Kastamonu'da 140 µg/m3 olarak ölçülmüştür ki bu değerler Dünya Sağlık Örgütü ve Avrupa Birliği hava kalite PM10 standartlarının (50 $\mu g/m^3$) oldukça üzerinde değerlerdir.



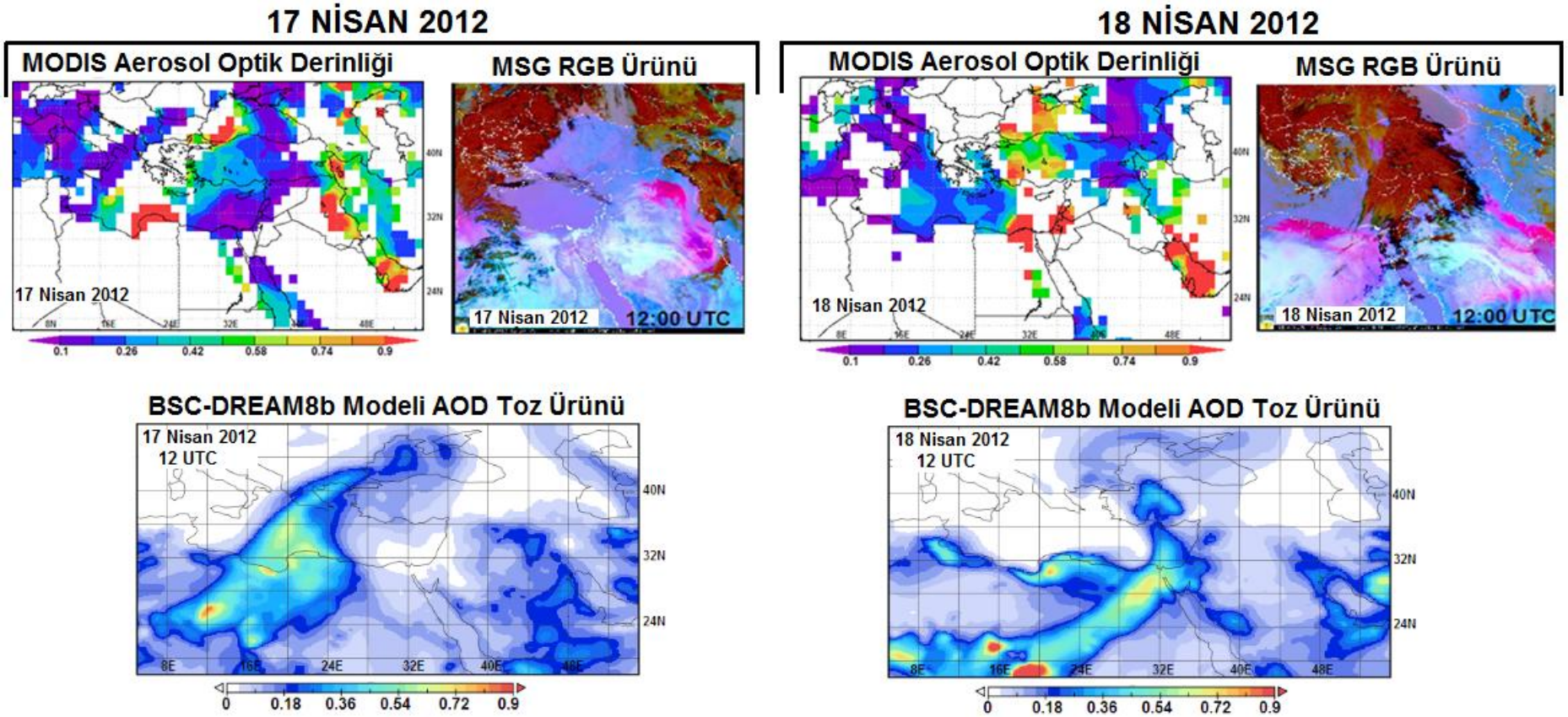
Şekil 2: 18 Nisan 2012 tarihinde ölçülen saatlik (üstte) ve günlük ortalama (altta) PM10 konsantrasyonu değerleri (İstasyonların konumları alttaki harita üzerinde aynı renklerle gösterilmiştir).

Uydu gözlemleri ile görselleştirilen aerosol ürünleri; bize aerosol yoğunluğu hakkında genel fikir vermekle birlikte, aerosollerin dağılımları hakkında da bilgi sağlarlar. Şekil 3, 16-19 Nisan tarihlerindeki günlük OMI Aerosol Indeks (AI) değerlerini göstermektedir. Cezayir ve Libya üzerinden Türkiye'nin batı ve orta bölgelerine kadar olan bölgede 17 Nisan 2012 tarihinde aerosol yoğunluğunun (AI~2.5) fazla olduğu görülmektedir ve bu yoğunluk sonraki gün doğu yönünde ilerlemiştir. 18 Nisan tarihinde, OMI uydusu İç Anadolu bölgesi'nde yüksek AI değeri (AI~2) göstermektedir.



Şekil 3: OMI Ultraviyole Aerosol Indeks (UV-AI) ürünleri (a) 16 Nisan, (b) 17 Nisan, (c) 18 Nisan, (d) 19 Nisan

Çöl tozu kaynaklarının Türkiye'ye taşınımının incelenmesi amacı ile BSC-DREAM8b model çıktıları alınmış ve uydu aerosol ürünleri ile karşılaştırılıp detaylı olarak yorumlanmıştır. 17 Nisan tarihinde Sahara çölü üzerinde yoğun bir toz salınımı başlamış, Kuzey Afrika üzerinden Akdeniz'i geçerek Türkiye'nin batısına doğru ilerlemiştir. Uydu gözlemleri ile uyuşma gösteren modelin toz optik derinliği (AOD) çıktılarından da görüldüğü üzere, kolondaki toz yoğunluğu Karadeniz'e kadar ulaşmıştır. Modellenen toz AOD'i, uydu ile gözlenen yüksek AOD değerini yakalayamasa bile toz taşınımının Karadeniz'e ulaşımını göstermektedir (Şekil 4).



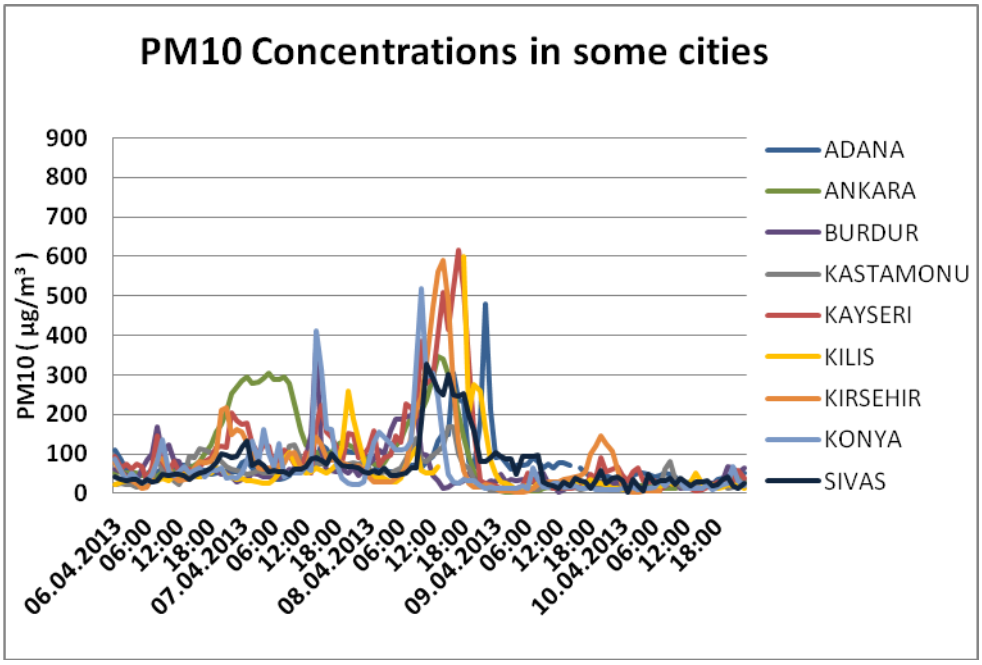
Şekil 4: 17 Nisan 2012(solda) ve 18 Nisan 2012 (sağda) tarihlerine ait MODIS, MSG uydu görüntüleri ve BSC-DREAM8b modeli çıktısı

Toz bulutu 18 Nisan tarihinde ise meteorolojik koşulların da etkisi ile doğu yönünde ilerlemiştir. Toz optik derinliği Kuzey Afrika üzerinde yüksek değerler vermektedir. En yüksek aerosol konsantrasyonu (AOD > 0.5) Libya'nın kuzeyi ve Mısır üzerinde görülmektedir.

Model toz AOD çıktısı tozun etkisini yoğun olarak gösterdiği 18 Nisan tarihinde Türkiye üzerinde yüksek değerler (>0.3) göstermektedir. Modelin AOD çıktıları 17 Nisan tarihinde özellikle Karadeniz, Libya'nın kuzeyi ve Irak'ın doğusunda ve 18 Nisan tarihinde ise İran körfezi ve Libya'nın kuzeyinde uydu görüntüleri ile iyi uyuşma göstermektedir (bkz Şekil 4).

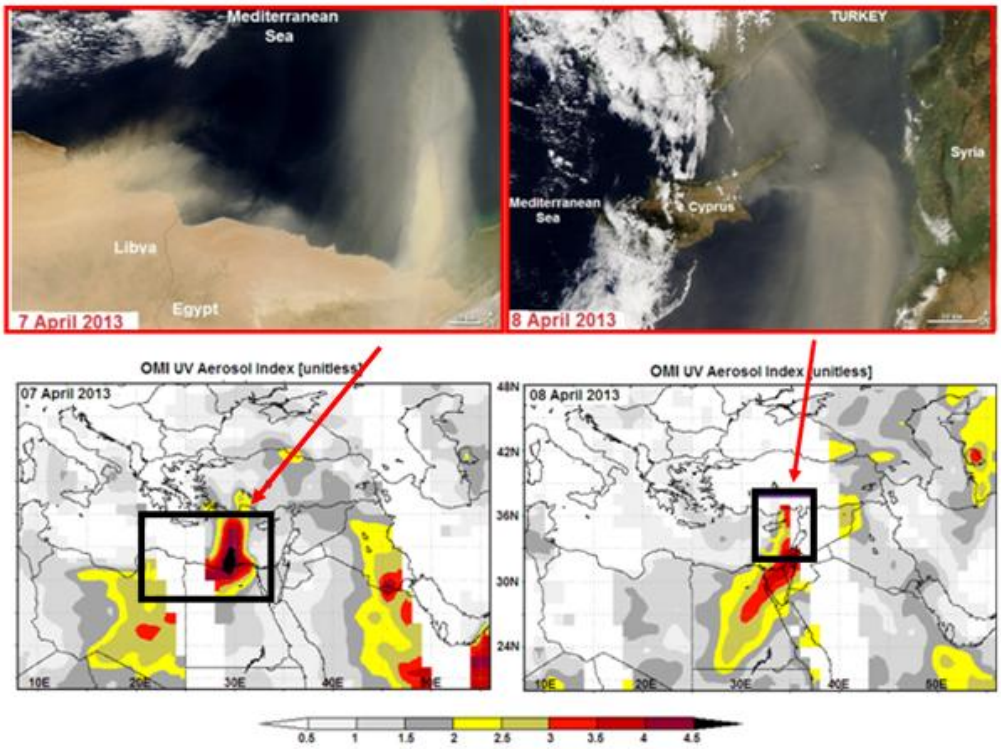
15.4.3.2- 8 Nisan 2013 Toz Olayı

Türkiye'yi etkileyen diğer bir önemli toz taşınımı olayı ise 8 Nisan 2013 tarihinde gerçekleşmiştir. Şekil 5, Türkiye'de bu tarihte toz taşınımından en çok etkilenen dokuz istasyonun saatlik PM10 konsantrasyonu değerlerini göstermektedir. 8 Nisan 2013 tarihinde, yoğun toz taşınımı birçok istasyonda PM10 değerlerini etkilemiştir. Günlük ortalama PM10 konsantrasyonu değerleri 8 Nisan tarihinde Kayseri'de 247 µg/m^3, Ankara'da 157 µg/m^3 ve Konya'da 132 µg/m^3 olarak ölçülmüştür ki bu değerler de yine Dünya Sağlık Örgütü ve Avrupa Birliği'nin belirlediği PM10 standartlarının oldukça üzerinde değerlerdir.



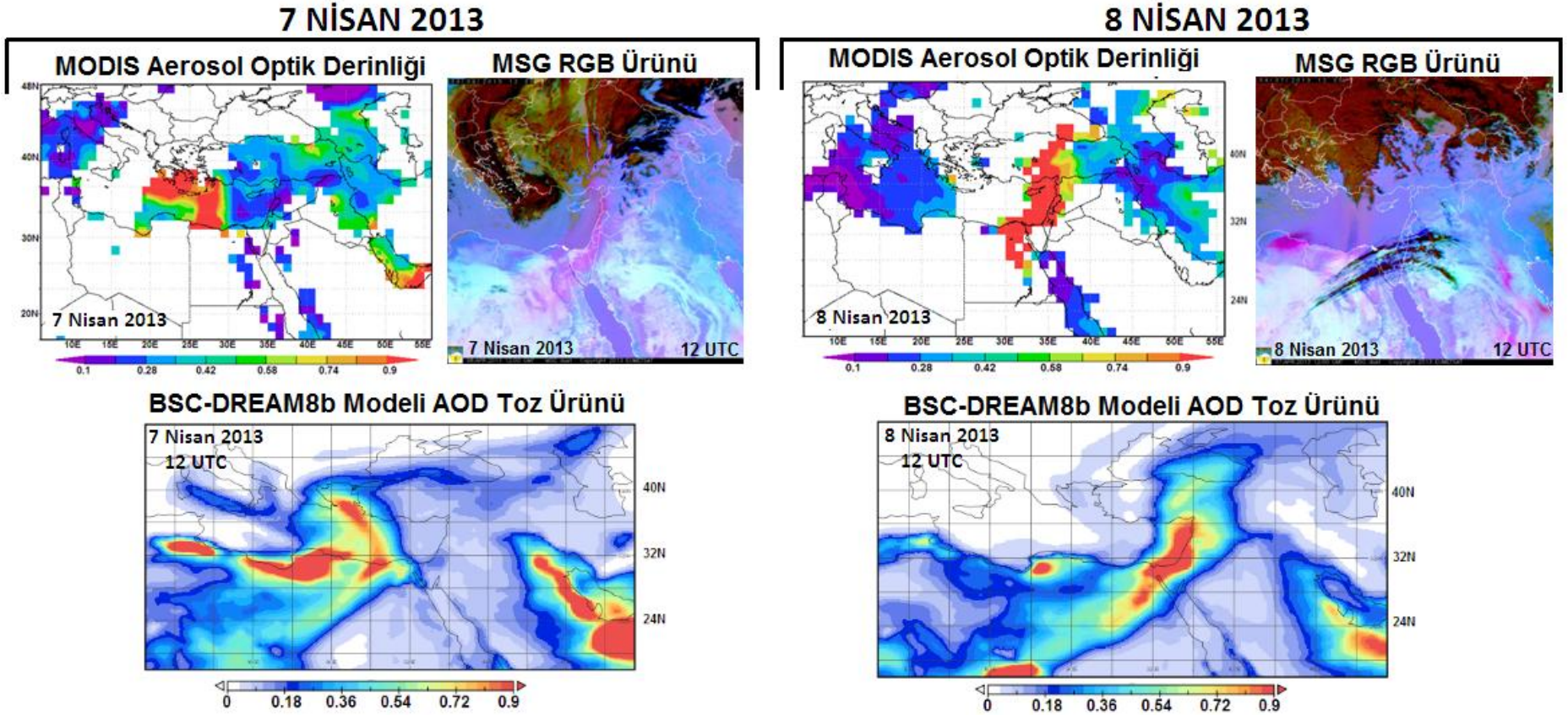
Şekil 5: 6-11 Nisan 2013 tarihlerine ait bazı şehirlerde ölçülen saatlik PM10 değerleri

OMI-AI ve Aqua-MODIS uydusu gerçek zamanlı ürünü ile birlikte Şekil 6'da gösterilmiştir. Uydu geçişi dolayısı ile 27°D ve 40°D boylamlarında 7 ve 8 Nisan tarihinde veri bulunmamaktadır, fakat buna rağmen toz kaynakları ve geliş yönü Mısır kaynaklı olarak açıkça görülebilmektedir. OMI görüntüleri de, 3 gibi yüksek bir AI değeri ile Türkiye'ye doğru gelen bir toz taşınımını desteklemektedir. Bu toz olayında, Mısır'ın kuzeyinde bir toz hareketliliği gerçekleşmiştir ve Akdenizden Türkiye'nin güneyine ulaşmıştır. Sonrasında ise Gürcistan'a kadar ilerlemiştir.



Şekil 6: 7-8 Nisan 2013 tarihlerine ait Aqua-MODIS gerçek zamanlı (üstte) ve OMI UV-AI (altta) ürünleri

Bu toz olayında, 7 Nisan tarihinde Türkiye'nin batısından kuzeydoğusuna doğru ilerleyen bir alçak basınç merkezi, Libya ve Mısır çöllerinden toz taşınımının Akdeniz yönünde ilerlemesine uygun koşul hazırlamıştır ve böylece Sahara çölündeki tozlar Türkiye'nin güneyinden ülkemize giriş yapmıştır. Toz bulutu Libya ve Mısır kıyılarından 7 Nisan tarihinde harekete geçerek sonraki gün Türkiye'nin kuzey bölgelerine kadar ilerlemiştir. 8 Nisan tarihinde ise toz bulutu kuzey yönlü olarak ilerlemiş ve Kuzey Kıbrıs'ı da süpürerek Akdeniz ve Türkiye üzerinden Gürcistan'a kadar ulaşmıştır (Şekil 6 ve 7).



Şekil 7: 7 Nisan 2013(solda) ve 8 Nisan 2013 (sağda) tarihlerine ait MODIS, MSG uydu görüntüleri ve BSC-DREAM8b modeli çıktısı

Modellenen toz aerosol optik derinliği Kuzey Afrika ve Doğu Akdeniz de yüksek değerler vermektedir. En yüksek AOD değeri 0,5 den büyük değer ile Suriye ve Mısır üzerinde görülmektedir. Şekil 7 modellenen toz AOD değerlerinin, 8 Nisan tarihinde Akdeniz'in batısından doğusuna doğru ilerleyen toz taşınımının uydu görüntüleri ile çok iyi eşleştiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Basart S. et al.,** *Development and evaluation of the BSC-DREAM8b dust regional model over Northern Africa, the Mediterranean and the Middle East*, Tellus B 2012.

[2] **Dündar C., Oguz K., Güllü G.,** *Doğu Akdeniz Havzasında Kum ve Toz Fırtınalarının İncelenmesi*, 10.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2013

[3] **Levy R.C., Remer L.A., Klediman R.G., Mattoo S., Ichoku J., Kahn R., and Eck T.F.,** *Global evaluation of the Collection 5 MODIS dark-target aerosol products over land*, Atmos. Chem. Phys., 2010.

[4] **Nickovic S., Kallos G., Papadopoulos A., and Kakaliagou O.,** *A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere*, J. Geophys. Res., 2001.

[5] **Prospero J., Ginoux P., Torres O., Nicholson S., Gill T.,** *Environmental Characterization of Global Sources of Atmospheric Soil Dust Idintified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Absorbing Aerosol Product*, American Geophysical Union, 2002.

[6] **Torres O., P. K. Bhartia, J. R. Herman, Z. Ahmad, and J. Gleason,** *Derivation of aerosol properties from satellite measurements of backscattered ultraviolet radiation*, Theoretical basis. J. Geophys. Res., 1998.

[7] **Wang H., et al,** *A-Train satellite measurements of dust aerosol distributions over northern China*, J Quant Spectrosc Radiat Transfer, 2012.

Ankara, İzmir, Burdur ve Adıyaman Üzerindeki Toplam Ozon Değişkenliği

Nihal Aktaş
İstanbul Teknik Üniversitesi
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
İstanbul
aktasni@gmail.com

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

Erdem Erdi
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Hava Tahminleri Daire Başkanlığı
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
eerdi@mgm.gov.tr

Yılmaz Açar
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Araştırma Dairesi Başkanlığı
Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Ankara
yacar@mgm.gov.tr

Mithat Ekici
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Araştırma Dairesi Başkanlığı
Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Ankara
mekici@mgm.gov.tr

Serpil Yağan
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Araştırma Dairesi Başkanlığı
Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Ankara
syagan@mgm.gov.tr

ÖZET

Bu çalışmada; Ankara, İzmir, Burdur ve Adıyaman illeri için aylık ortalama toplam ozon değerleri üzerine bir inceleme yapılmıştır. OZON-SAF tarafından, EUMETSAT'ın METOP uydusuna ait GOME-2 cihazından alınan veriler kullanılarak elde edilen, 2007-2013 yıllarına ait günlük toplam ozon değerlerine ulaşılmış ve Ankara'ya ait günlük ve aylık ortalama toplam ozon değerleri, MGM'nin Brewer Spektrofotometresi'yle elde edilen yersel verileriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma neticesinde, iki veri setinin de birbiriyle hem günlük hem de aylık bazda bakıldığında oldukça uyumlu olduğu tespit edilmiştir ($R^2_{günlük}$=0,95 ve $R^2_{aylık}$=0,97). Ayrıca hem Ankara ve hem de diğer iller için elde edilen grafikler ışığında, aylık ortalama toplam ozon değerlerinin sene içindeki maksimumlarının genel olarak bahar ayları olan Mart, Nisan ve Mayıs aylarında görüldüğü anlaşılmaktadır. Bir diğer sonuç ise ortalama toplam ozon değerlerinin minimumlarının genel olarak Ağustos, Eylül, Ekim gibi yaz sonu sonbahar başına denk gelen aylarda görüldüğüdür.

Anahtar Kelimeler — ozon, Ozon-SAF, uzaktan algılama.

1. GİRİŞ

Üç adet oksijen molekülünden oluşan, kimyasal formülü O_3 olan ve atmosferde hem insan etkisiyle ortaya çıkan hem de doğal olarak üretilen, reaktivitesi oldukça yüksek bir gaz olan ozon, atmosferdeki konumuna bağlı olarak hem dünyayı hem de yaşamı iyi veya kötü yönde etkileyebilmektedir. Yere yakın seviyede bulunan ozon (yerden yaklaşık 15 km yüksekliğe kadar) troposferik ozon olarak adlandırılırken yerden yaklaşık olarak 10- 50 km yüksekliğe kadar olan ozon stratosferik ozon olarak adlandırılır. Yer seviyesi ozonu olarak da bilinen troposferik ozon atmosferdeki ozonun yaklaşık olarak % 10 unu oluşturur ve doğrudan kirleticiler tarafından atmosfere salınmaz. Ulaşım araçları, endüstriyel aktiviteler, kimyasal çözücü kullanımı gibi insan kaynaklı faaliyetler sonucunda salınan hidrokarbon ve azot oksit türevlerinin güneş ışığından aldığı enerji yardımıyla girdikleri bir dizi tepkime ile meydana gelen yüzey ozonunun (troposferik ozon) insan sağlığını olumsuz etkilediği de bilinen bir gerçektir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ozonun özellikle ihtiyarlarda astım gibi hastalıkların risklerinin artmasına yol açtığını, çocuklarda ve yaşlılarda çeşitli hastalıklara neden olduğunu ve önceden var olan solunum hastalıklarını şiddetlendirdiğini belirtmiştir [1]. Yüzey ozonunun, insanlarda gözlerin tahriş olması ve solunum

ile ilgili rahatsızlıklara neden olduğu bilindiği gibi bitkilerin ve diğer tarım ürünlerinin büyümesini olumsuz etkileyen bir kirletici olduğu da bilinmektedir [2-5]. Aneja [6], yüzey ozonu nedeniyle sadece A.B.D' de tütün üretiminde karşılaşılan zararın 1 milyar doları aştığının tahmin edildiğini belirtmiştir. Atmosferdeki ozonun yaklaşık olarak % 90'ını oluşturan stratosferik ozonun ise güneşten gelen ve insanlara zarar veren UV ışınları engellediği bilinmektedir. UV ışınlardan en az zararlı olan çeşit UV-A, orta derecede zararlı olan çeşit UV-B ve en zararlı çeşit UV-C olarak bilinir ve bu ışınların atmosfere nüfuz etmesi ozon tabakası tarafından engellenir. Ozon tabakası incelirse UV-A ve UV-B ışınlarının bir kısmının, UV-C ışınlarının ise tamamının yeryüzüne nüfuz etmesi mümkün olabilir. UV-B ışını insanlarda deri kanseri ve göz kataraktına neden olabilecek kadar yüksek enerjiye sahipken UV-C ışınları DNA'da bozukluklara neden olmaktadır [7]. Ozonu oluşturan kimyasal tepkimeler olduğu gibi ozonu parçalayan bir takım kimyasal tepkimeler de mevcuttur ve stratosferik ozonun bu tepkimeler sonucu azalması günümüzün en büyük sorunlarından biridir. Bojkov [8], son otuz yılda yapılan çalışmaların stratosferik ozon konsantrasyonunun her iki yarı kürede de azaldığını gösterdiğini belirtmiştir. WMO raporları, ozondaki bu azalmanın her iki yarıkürede de ilk olarak 1992 ve 1993 yılında meydana geldiğini göstermektedir [9]. Son otuz yılda Kuzey yarımküre orta enlemlerinde meydana gelen toplam ozon miktarı azalışı % 3/10 yıl oranında iken kuzey kutbunda % 1-2'den daha fazladır (Steinbrecht et al. 1998) [7]. Tropikal kuşakta gözlenen ozon azalışı ise % 1/10 yıl oranındadır [10]. Antarktik bölgedeki Halley Bay'da 1970 öncesi yıllarda yapılan ölçümlerde 325 DU toplam ozon değeri ölçülmesine rağmen, 1995 yılı Ocak ayında yapılan gözlemde toplam ozon değerinin 110 DU'e kadar düşmesi antarktik bölgedeki stratosferik ozon azalışının önemini göstermektedir [11]. Fahey [12], Güney kutbunda 1993 yılında 22 milyon kilometrekarelik alana yayılmış olan ozon azalış bölgesinin 1998 yılında 25 milyon kilometrekareye ulaştığını belirtmiştir. Ankara üzerine 1978-2001 yılları arası için yapılan analizlerde TOMS uydu verilerinden yararlanılmıştır ve aylık ortalama ozon değerlerinin 270 DU ile 415 DU arasında değiştiği tespit edilerek ozonun azalma trendinin % 2.3/10 yıl olduğu belirlenmiştir [13]. Ozon ölçüm yöntemlerinin kendi arasındaki tutarlılığı ise 2007-2011 yılları arasında Ankara için TOMS (OMI) ve Brewer Spektrofotometresi verileri baz alınarak incelenmiş ve bu veriler arasındaki korelasyon katsayısı R=0,98 olarak belirlenmiştir [14].

Atmosferdeki konumu ne olursa olsun insan sağlığı için, iyi veya kötü, oldukça önemli bir yere sahip olan ozonun atmosferdeki miktarını bilmek adına yapılmış birçok çalışma olduğu açıktır. Bu çalışmada da toplam ozonun Türkiye üzerindeki durumu hakkında bir fikir oluşturabilmek adına Ankara, Burdur, İzmir ve Adıyaman illeri için, OZON-SAF tarafından, EUMETSAT'ın METOP uydusuna ait GOME-2 cihazından elde edilen veriler kullanılarak elde edilen, 2007-2013 yıllarına

ait günlük toplam ozon değerlerinden aylık ortalamalar hesaplanarak grafiğe dökülmüştür. Aynı zamanda, yersel ölçümlerin sadece Ankara'da yapılabilmesinden dolayı Ankara için Brewer Spektrofotometresi ve uydu verilerinin tutarlılığına bakılmıştır [15].

2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİ

Bu bildiride, çalışma alanı olarak **Şekil 1**'de işaretlendiği gibi Ankara, Burdur, İzmir ve Adıyaman illeri seçilmiştir.



Şekil 1: Çalışma alanı

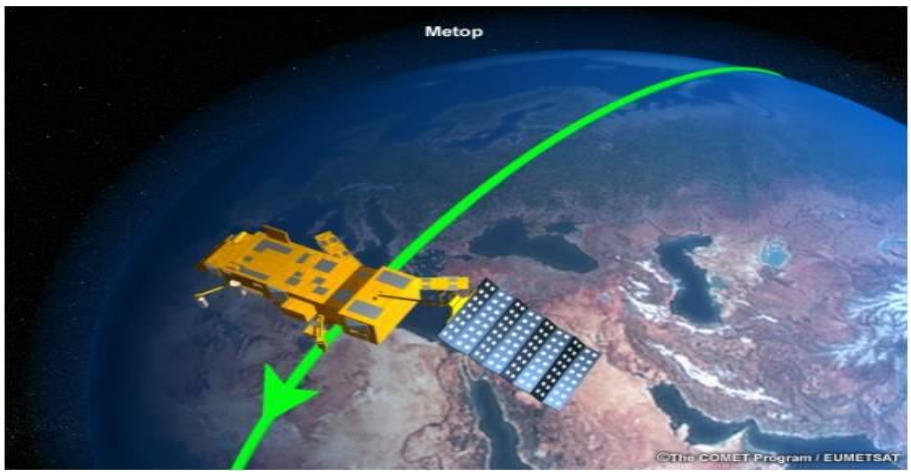
Çalışmada kullanılan yer kaynaklı toplam ozon verisi, 9 Kasım 2006 tarihinde TÜBİTAK'ın "Türkiye Üzerinde Troposferik ve Stratosferik Ozon/UV-B'deki Değişimin Gözlenmesi ve Sonuçlarının Analizi" isimli projesi kapsamında MGM'ye alınan Brewer Spektrofotometresi'nden elde edilmiştir (**Şekil 2**).



Şekil 2: MGM'ye ait Brewer Spektrofotometresi

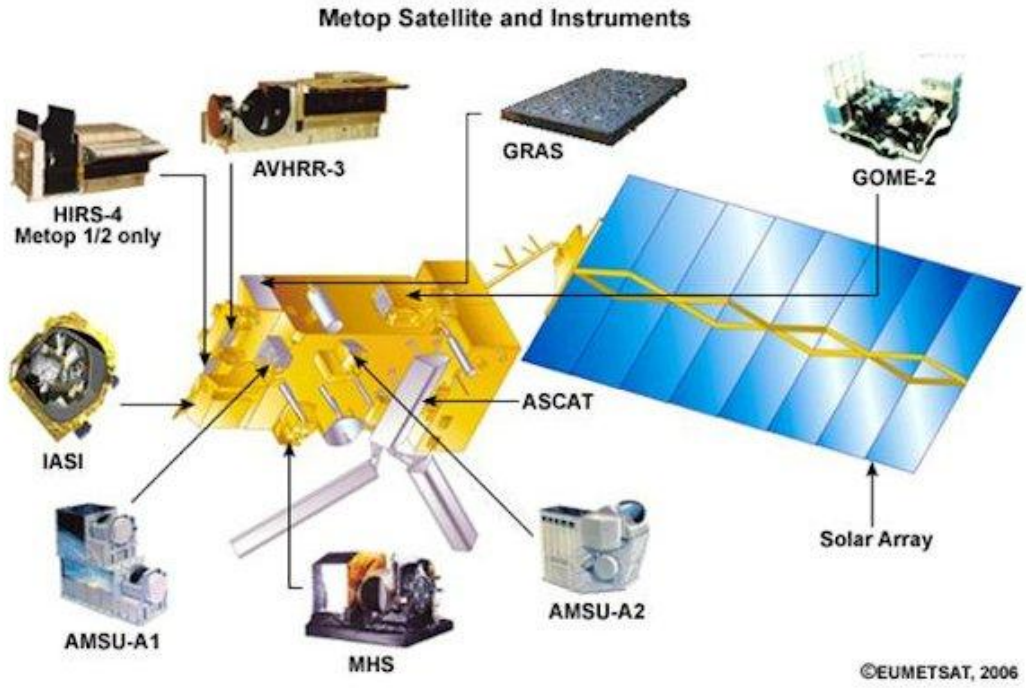
Çalışmanın diğer bir verisi olan uydu kaynaklı toplam ozon verisi ise Avrupa Meteorolojik Uyduları İşletme Teşkilatı olarak bilinen EUMETSAT'ın OZON-SAF isimli çalışma grubundan temin edilmiştir. Bu çalışma grubu, METOP uydusu üzerindeki GOME-2 cihazından alınan ham verileri geliştirdikleri algoritmayla ozon değerlerine dönüştürmektedir.

EPS (European Polar Satellite) programı dâhilinde fırlatılan METOP uydularının ilki olan METOP-A, 19 Ekim 2006 tarihinde, METOP-B ise 17 Eylül 2012'de fırlatılmıştır. İlk EPS METOP uydusu (**Şekil 3**) (Metop-A) güneşle senkronize bir kutupsal yörüngede 840 km kadar yükseklikte, yeryüzünü günde 14 defa tarayan ve yerel zamanla 09.30'da ekvatoru gören bir uçuşa sahiptir.



Şekil 3: METOP uydusu

Bu uzay aracı vasıtası ile öncelikli olarak operasyonel bir şekilde meteoroloji ve iklim gözlemleri yapılmaktadır. Bu sebepten bu uzay aracı **Şekil 4**'te gösterilen kapsamlı bir alet setine sahiptir. Bu cihazlardan biri de ozon çalışmaları için kullanılan GOME-2 (Global Ozone Monitoring Experiment – 2)'dir. Bu cihaz, atmosferik ozonun toplam kolon ve profil ölçümlerini yapmak ve diğer bileşenlerin dağılımını belirlemek üzere tasarlanmıştır. Spektral aralığı 200-790 nm ve tarama aralığı nominal modda 1920 km'dir. Çözünürlüğü 0.11-0.22 nm arasındadır.

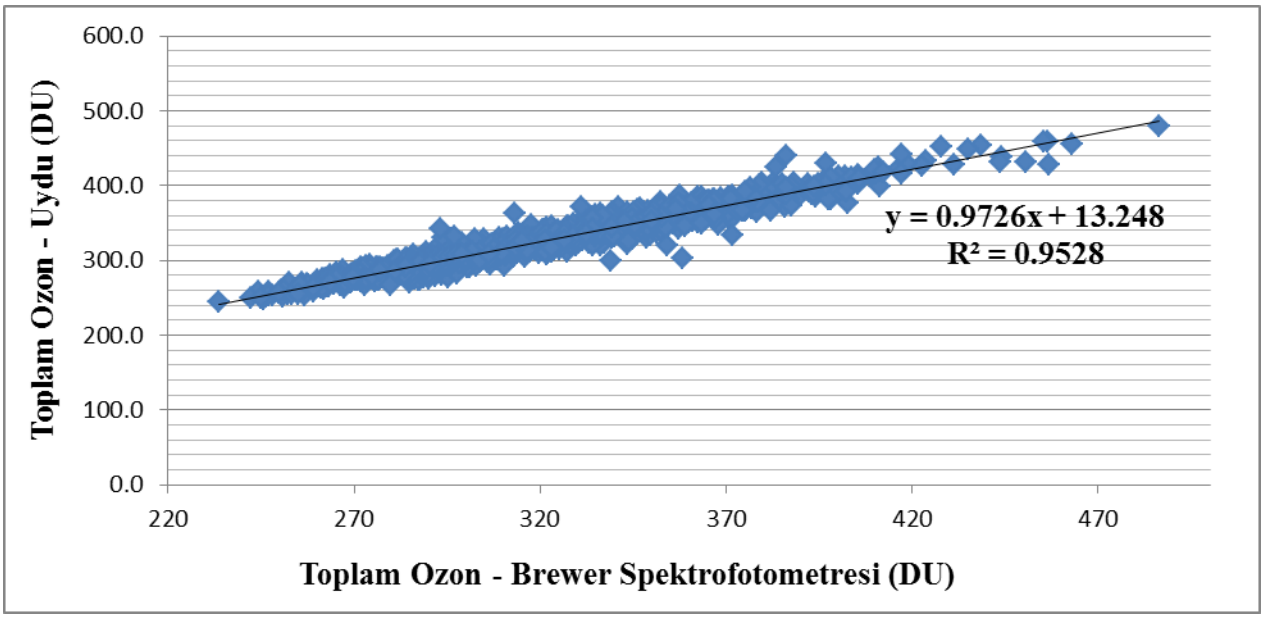


Şekil 4: METOP uydusunun sahip olduğu ölçüm cihazları

3. UYGULAMA

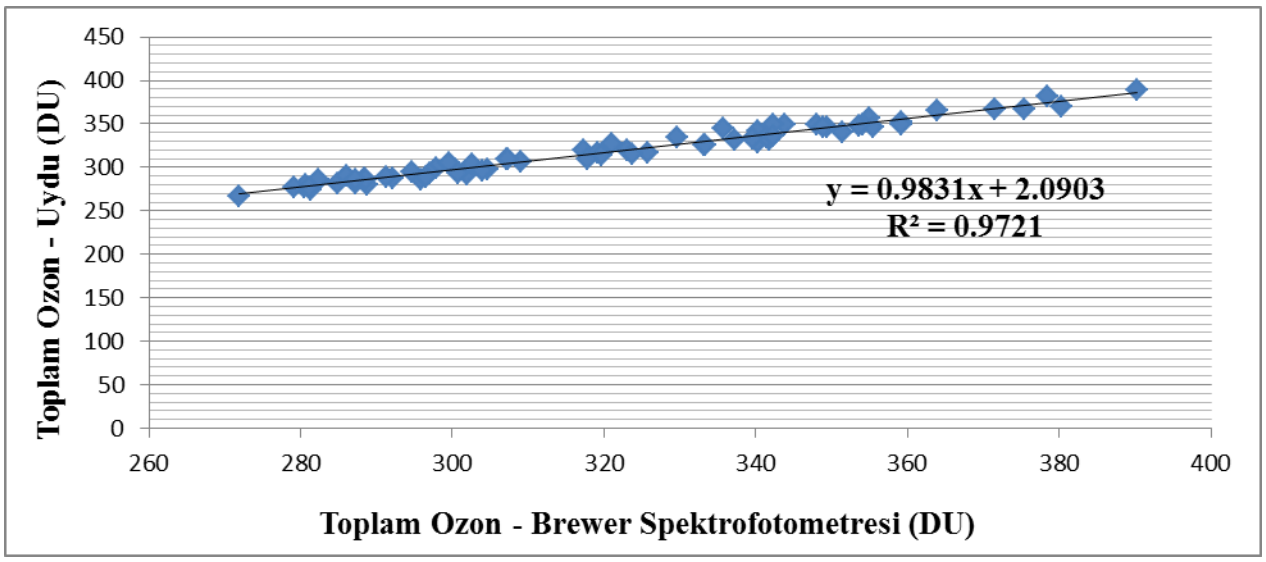
3.1. Uydu Verisinin Tutarlılığı

Şekil 5'den görüldüğü üzere, 2007-2013 dönemine ait uydu ve yer kaynaklı gözlemlerin günlük değerlerinin Ankara için karşılaştırılması sonucunda bu iki veri seti arasında güçlü bir pozitif korelasyon olduğu görülmektedir ve temsilirlik katsayısı 0,95 olarak hesaplanmıştır.



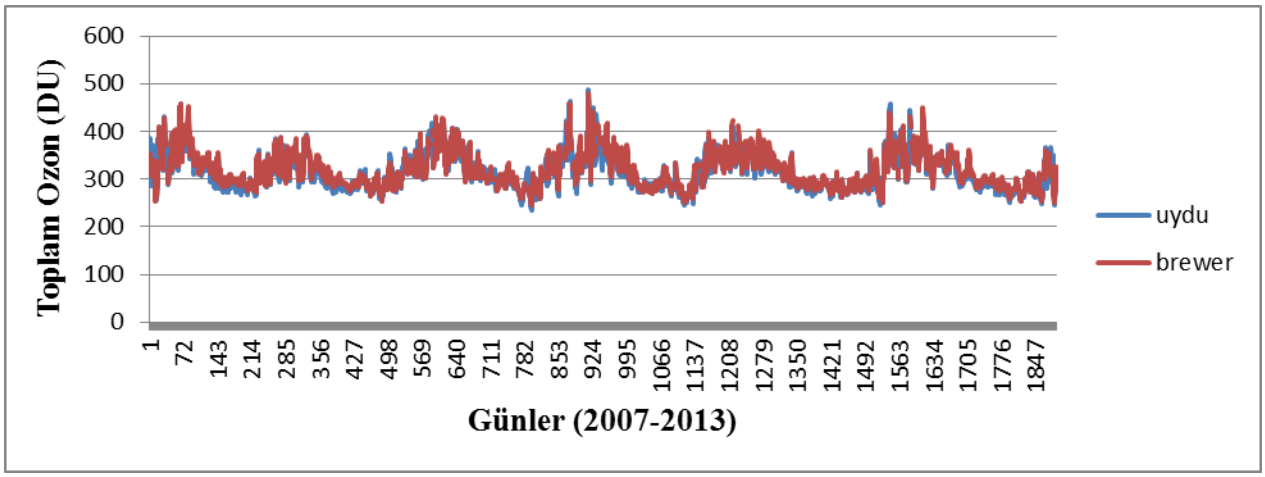
Şekil 5: Ankara iline ait, uydu ve yer kaynaklı günlük toplam ozon değerlerinin saçılma diyagramı

Uydu ve yer kaynaklı gözlemlerin aylık ortalama toplam ozon değerleri üzerinden karşılaştırılması neticesindeki yüksek ilişki **Şekil 6**'dan açıkça görülebilmektedir. Bu ilişki 0,97'lik bir temsilirlik katsayısına sahiptir.



Şekil 6: Ankara iline ait, uydu ve yer kaynaklı aylık ortalama toplam ozon değerlerinin saçılma diyagramı

Yukarıda ifade edilen ve saçılma diyagramı olarak gösterilen uydu ve yer kaynaklı 2 veri seti arasındaki güçlü ilişkinin zaman serisi grafiğinden de değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu anlaşılmaktadır (**Şekil 7**).

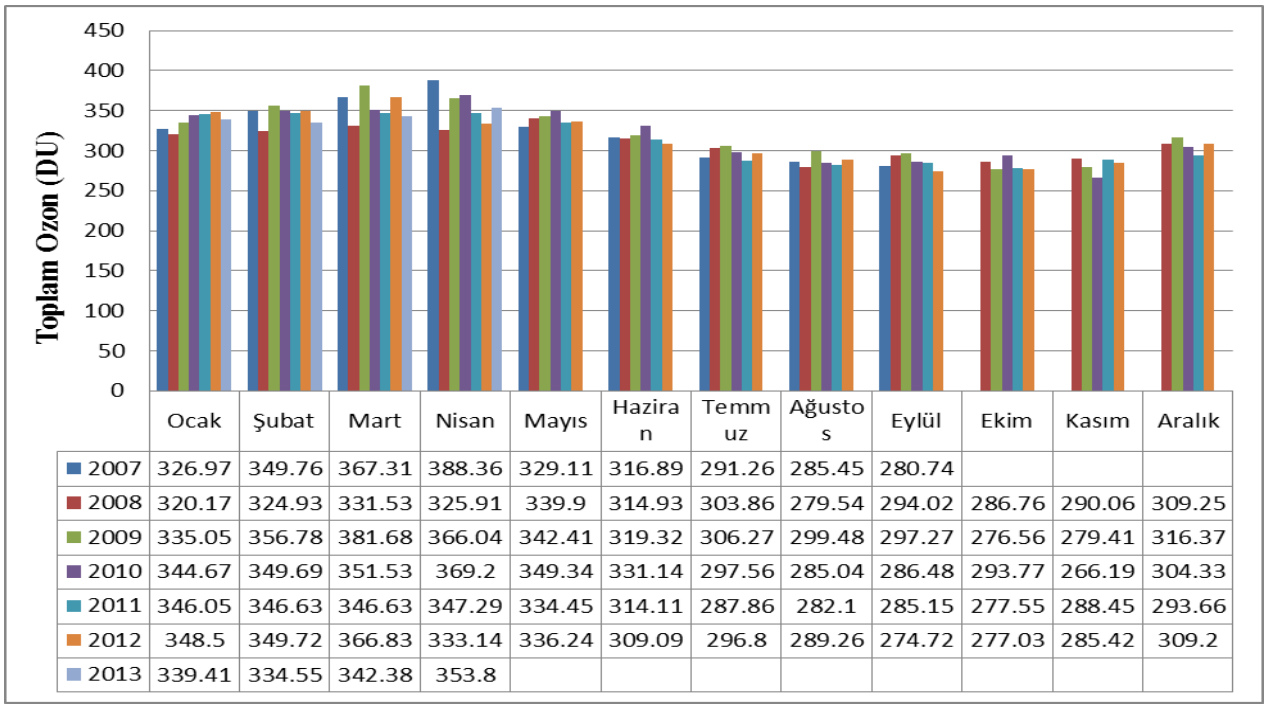


Şekil 7: Ankara iline ait uydu ve yer kaynaklı günlük toplam ozon değerleri

3.2. Elde Edilen Grafiklerin Değerlendirilmesi

3.2.1. Ankara İli

Şekil 8'de uydu kaynaklı ve Ankara iline ait olan aylık ortalama toplam ozon değerleri yer almaktadır. En düşük ve en yüksek değerlerin yıllara göre olan değişimleri şu şekilde sıralamak mümkündür.



	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2007	326.97	349.76	367.31	388.36	329.11	316.89	291.26	285.45	280.74			
2008	320.17	324.93	331.53	325.91	339.9	314.93	303.86	279.54	294.02	286.76	290.06	309.25
2009	335.05	356.78	381.68	366.04	342.41	319.32	306.27	299.48	297.27	276.56	279.41	316.37
2010	344.67	349.69	351.53	369.2	349.34	331.14	297.56	285.04	286.48	293.77	266.19	304.33
2011	346.05	346.63	346.63	347.29	334.45	314.11	287.86	282.1	285.15	277.55	288.45	293.66
2012	348.5	349.72	366.83	333.14	336.24	309.09	296.8	289.26	274.72	277.03	285.42	309.2
2013	339.41	334.55	342.38	353.8								

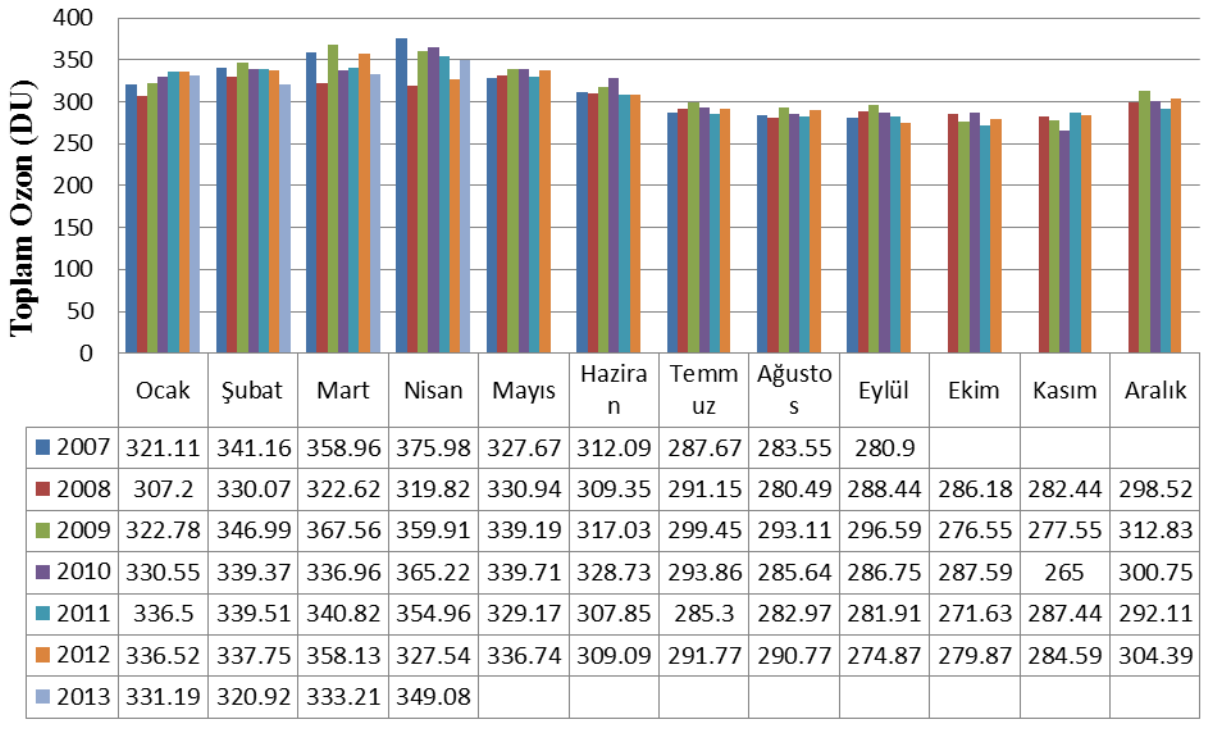
Şekil 8: Ankara iline ait, uydu kaynaklı aylık ortalama toplam ozon değerleri

- Ankara ilinin 2007 yılına ait ilk dokuz aylık sürecinde en yüksek değer Nisan ayında (388.36 DU), en düşük olduğu değer ise Eylül ayında (280.74 DU) gözlenmiştir.

- 2008 yılı ölçümlerine göre aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Mayıs ayında (339.9 DU), en düşük olduğu değer ise Ağustos ayında (279.54 DU) görülmektedir.
- 2009 ölçümlerinde ise aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Mart ayında (381.68 DU), en düşük olduğu değer ise Ekim ayındadır (276.56 DU).
- 2010 yılı ölçümlerine göre aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Nisan ayında (369.2 DU), en düşük olduğu değer ise Kasım ayında (266.19 DU) gözlenmiştir.
- 2011 yılı ölçümlerine göre aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Nisan ayında (347.29 DU), en düşük olduğu değer ise Ekim ayında (277.55 DU) görülmektedir.
- 2012 yılı ölçümlerinde ise aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Mart ayında (366.83 DU), en düşük olduğu değer ise Eylül ayındadır (274.72 DU).
- 2013 yılına ait ilk dört aylık sürecinde en yüksek değer Nisan ayında 353.8 DU olarak gerçekleşmiştir.

3.2.2 Burdur İli

Uydu kaynaklı ve Burdur iline ait olan aylık ortalama toplam ozon değerlerinin 2007-2013 dönemindeki değişimleri **Şekil 9**'da yer almaktadır.



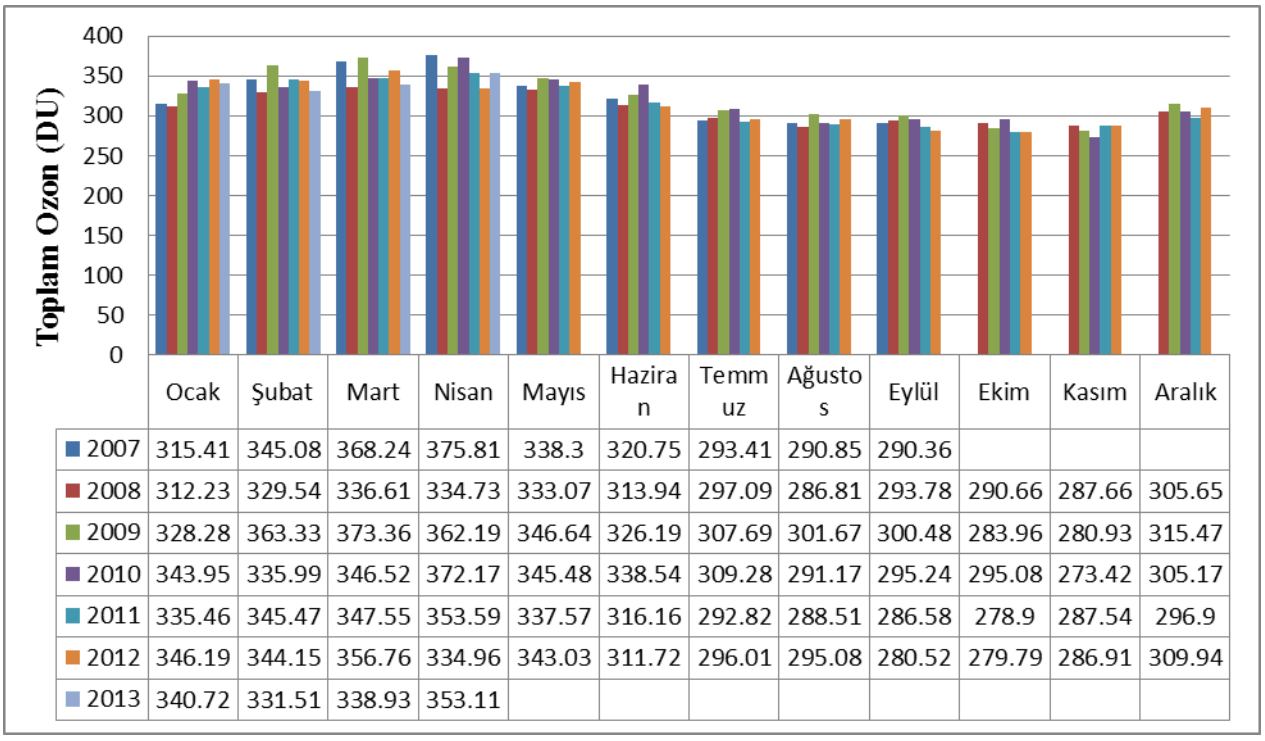
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2007	321.11	341.16	358.96	375.98	327.67	312.09	287.67	283.55	280.9			
2008	307.2	330.07	322.62	319.82	330.94	309.35	291.15	280.49	288.44	286.18	282.44	298.52
2009	322.78	346.99	367.56	359.91	339.19	317.03	299.45	293.11	296.59	276.55	277.55	312.83
2010	330.55	339.37	336.96	365.22	339.71	328.73	293.86	285.64	286.75	287.59	265	300.75
2011	336.5	339.51	340.82	354.96	329.17	307.85	285.3	282.97	281.91	271.63	287.44	292.11
2012	336.52	337.75	358.13	327.54	336.74	309.09	291.77	290.77	274.87	279.87	284.59	304.39
2013	331.19	320.92	333.21	349.08								

Şekil 9: Burdur iline ait, uydu kaynaklı aylık ortalama toplam ozon değerleri

- Burdur ilinin 2007 yılına ait ilk dokuz aylık sürecinde en yüksek değer Nisan ayında (375.98 DU), en düşük olduğu değer ise Eylül ayında (280.9 DU) gözlenmiştir.
- 2008 yılı ölçümlerine göre aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Mayıs ayında (330.94 DU), en düşük olduğu değer ise Ağustos ayında (280.49 DU) görülmektedir.
- 2009 yılı ölçümlerinde ise aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Mart ayında (367.56 DU), en düşük olduğu değer ise Ekim ayındadır (276.55 DU).
- 2010 yılı ölçümlerine göre aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Nisan ayında (365.22 DU), en düşük olduğu değer ise Kasım ayında (265 DU) gerçekleşmiştir.
- 2011 yılı ölçümlerinde ise aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Nisan ayında (354.96 DU), en düşük olduğu değer ise Ekim ayında (271.63 DU) görülmektedir.
- 2012 yılı ölçümlerine göre aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Mart ayında (358.13 DU), en düşük olduğu değer ise Eylül ayındadır (274.87 DU).
- 2013 yılına ait ilk dört aylık sürecinde en yüksek değer Nisan ayında 349.08 DU olarak gerçekleşmiştir.

3.2.3 İzmir İli

Şekil 10'dan uydu kaynaklı ve İzmir iline ait olan aylık ortalama toplam ozon değerleri görülebilir.



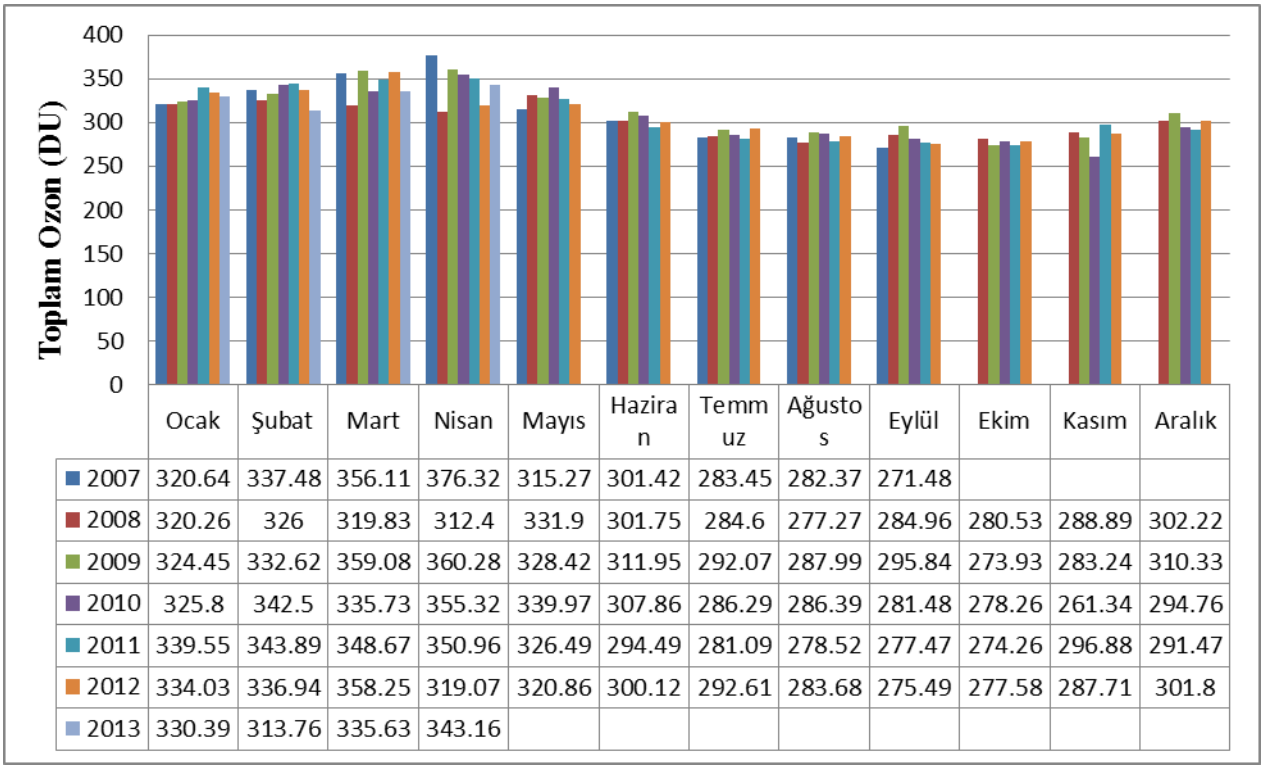
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2007	315.41	345.08	368.24	375.81	338.3	320.75	293.41	290.85	290.36			
2008	312.23	329.54	336.61	334.73	333.07	313.94	297.09	286.81	293.78	290.66	287.66	305.65
2009	328.28	363.33	373.36	362.19	346.64	326.19	307.69	301.67	300.48	283.96	280.93	315.47
2010	343.95	335.99	346.52	372.17	345.48	338.54	309.28	291.17	295.24	295.08	273.42	305.17
2011	335.46	345.47	347.55	353.59	337.57	316.16	292.82	288.51	286.58	278.9	287.54	296.9
2012	346.19	344.15	356.76	334.96	343.03	311.72	296.01	295.08	280.52	279.79	286.91	309.94
2013	340.72	331.51	338.93	353.11								

Şekil 10: İzmir iline ait, uydu kaynaklı aylık ortalama toplam ozon değerleri

- İzmir ilinin 2007 yılına ait ilk dokuz aylık sürecinde en yüksek değer Nisan ayında (375.81 DU), en düşük olduğu değer ise Eylül ayında (290.36 DU) gözlenmiştir.
- 2008 yılı ölçümlerine göre aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Mart ayında (336.61 DU), en düşük olduğu değer ise Ağustos ayında (286.81 DU) görülmektedir.
- 2009 yılı ölçümlerinde ise aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Mart ayında (373.36 DU), en düşük olduğu değer ise Kasım ayında (280.93 DU) gözlenmiştir.
- 2010 yılı ölçümlerine göre aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Nisan ayında (372.17 DU), en düşük olduğu değer ise Kasım ayında (273.42 DU) gerçekleşmiştir.
- 2011 yılı ölçümlerinde ise aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Nisan ayında (353.59 DU), en düşük olduğu değer ise Ekim ayında (278.9 DU) gözlenmiştir.
- 2012 dönemi ölçümlerine göre aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Mart ayında (356.76 DU), en düşük olduğu değer ise Ekim ayında (279.79 DU) gerçekleşmiştir.
- 2013 yılına ait ilk dört aylık sürecinde en yüksek değer Nisan ayında (353.11 DU) görülmüştür.

3.2.4 Adıyaman İli

Uydu kaynaklı ve Adıyaman iline ait olan aylık ortalama toplam ozon değerlerinin 2007-2013 dönemindeki değişimleri **Şekil 11**'de yer almaktadır.



	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2007	320.64	337.48	356.11	376.32	315.27	301.42	283.45	282.37	271.48			
2008	320.26	326	319.83	312.4	331.9	301.75	284.6	277.27	284.96	280.53	288.89	302.22
2009	324.45	332.62	359.08	360.28	328.42	311.95	292.07	287.99	295.84	273.93	283.24	310.33
2010	325.8	342.5	335.73	355.32	339.97	307.86	286.29	286.39	281.48	278.26	261.34	294.76
2011	339.55	343.89	348.67	350.96	326.49	294.49	281.09	278.52	277.47	274.26	296.88	291.47
2012	334.03	336.94	358.25	319.07	320.86	300.12	292.61	283.68	275.49	277.58	287.71	301.8
2013	330.39	313.76	335.63	343.16								

Şekil 11: Adıyaman iline ait, uydu kaynaklı aylık ortalama toplam ozon değerleri

- Adıyaman ilinin 2007 yılına ait ilk dokuz aylık sürecinde en yüksek değer Nisan ayında (376.32 DU), en düşük olduğu değer ise Eylül ayında (271.48 DU) gözlenmiştir.
- 2008 dönemi ölçümlerine göre aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Mayıs ayında (331.9 DU), en düşük olduğu değer ise Ağustos ayında (277.27 DU) görülmektedir.
- 2009 yılı ölçümlerinde ise aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Nisan ayında (360.28 DU), en düşük olduğu değer ise Ekim ayında (273.93 DU) gerçekleşmiştir.
- 2010 yılı ölçümleri, aylık ortalamanın en yüksek olduğu değerin Nisan ayında (355.32 DU), en düşük olduğu değerin ise Kasım ayında (261.34 DU) olduğunu göstermektedir.
- 2011 dönemi ölçümlerine göre aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Nisan ayında (350.96 DU), en düşük olduğu değer ise Ekim ayında (274.26 DU) gerçekleşmiştir.
- 2012 yılı ölçümlerinde ise aylık ortalamanın en yüksek olduğu değer Mart ayında (358.25 DU), en düşük olduğu değer ise Eylül ayında (275.49 DU) gözlenmiştir.
- Adıyaman ilinin 2013 yılına ait ilk dört aylık sürecinde en yüksek değer Nisan ayında (343.16 DU) görülmüştür.

4. SONUÇLAR

METOP uydusu GOME-2 cihazından alınan, Ankara iline ait 2007 – 2013 dönemindeki uydu verilerinin Brewer Spektrofotometresi'nden elde edilen yersel veriler ile oldukça tutarlı olduğu belirlenmiştir. Günlük değerler üzerinden temsilirlik katsayısı 0,95 ve aylık ortalamalar cinsinden ise 0,97'dir. Ankara, Burdur, İzmir ve Adıyaman illerine ait uydu verilerinin sonuçlarına göre, aylık ortalama maksimumların Mart, Nisan ve Mayıs aylarında gerçekleştiği ve aylık ortalama minimumların ise Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında yaşandığının görülmesi nedeniyle bu mevsimsel özellikte bir zaman sarkması söz konusu değildir.

TEŞEKKÜR: Yazarlar, bilgisayar ve depolama altyapısından faydalanma imkânı sağlayan Su Vakfı'na teşekkürü bir borç bilirler.

5. KAYNAKLAR

[1] **WHO,** 1987 Nitrogen Dioxide & quality guidelines for Europe. Copenhagen: WHO Regional publications, European series No.23, World Health Organization Regional Office for Europe, 1987: 297-314.

[2] **Lippmann, M.** 1989. Effects of ozone on respiratory function and structure. Annu Rev Public Health 1989; 92: 191-207.

[3] **Lee, D.S., Holland, M.K., Falla, N.,** 1996. The potential impact of ozone on materials in the UK. *Atmospheric Environment*. 30, 1053-1065.

[4] **Jaffe, D.H., Singer, M.E., Rimm, A.A.,** 2003. Air pollution and emergency department visits for asthma among Ohio Medicaid recipients, 1991-1996. *Environmental Research* 91, 21-28.

[5] **Wang X.K., Lu, W.Z., Wang, W.J., Leung A.Y.T.,** 2003. A study of ozone variation trend within area of affecting human health in Hong Kong. *Chemosphere* 2003; 52(9): 1405-1410.

[6] **Aneja, V.P., Claiborn, C.S., Li, Z., Murthy, A.,** 1990: Exceedances of the national ambient air quality standard for ozone occurin at a "Pristine" area site, J. Air Waste Manage. Assoc., 40. 217-220.

[7] **Demirhan D,** 2002, Ankara üzerindeki stratosferik ozon ve değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Meteoroloji Mühendisliği ABD, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

[8] **Bojkov, R.D., Fioletov, V.E. and Shalamjansky, A.M.,** 1994, Total ozone changes over Eurasia since 1973 based on revaluated filter ozonometer data. Journal of Geophysical Research, 99, pp. 22 985-22 999.

[9] **WMO,** 1994. WMO global ozone research and monitoring Project, Geneva, Switzerland.

[10] **Steinbrecht, W., Claude, H., Kohler, U. and *Hoınka*, K.P.,** 1998, Correlations between tropopause height and total ozone: Implications for long-term changes, Journal of Geophysical Research, 103, pp. 19, 183-19, 192.

[11] **McDonald, M.,** Differentional absorption measurements of total column ozone during polar night using modified stellar brewer spectrometer, London, Ontari, 1997.

[12] **Fahey, D.W.,** 2006, Twenty questions and answers about the ozone layer: 2006 update.

[13] **Demirhan, D., Kahya, C., Topcu S. and İncecik S.,** 2005: *Total Ozone Variation in South Eastern Europe*, International Journal of Remote Sensing 26, 16, 3479-3486.

[14] **Açar, Y., Ekici, M., Yağan, S., 2012:** Ozon ve Ultraviyole Radyasyon Veri Analizi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara, 45 sayfa.

[15] **Aktaş, N., 2013:** Türkiye Üzerindeki Toplam Ozon Değişkenliğinin Uydu Verilerinden Belirlenmesi, Lisans Tezi, İTÜ Meteoroloji Mühendisliği, 52 sayfa.

Deniz Etkisiyle Oluşan Kar Yağışlarının Uzaktan Algılama Ürünleri Kullanılarak İncelenmesi

Melik Ahmet TAŞTAN
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Tahminler Dairesi Başkanlığı
Ankara
matastan@mgm.gov.tr

Ayhan ERDOĞAN
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Tahminler Dairesi Başkanlığı
Ankara
aerdogan@mgm.gov.tr

ÖZET

Deniz etkisiyle oluşan kar yağışları, ülkemizde en çok Karadeniz ve Marmara kıyılarında görülen ve zaman zaman ciddi ulaşım sorunlarına yol açan kar sağanaklarıdır. Kutupsal soğuk havanın sıcak deniz üzerinde hareketiyle, deniz üzerinden yükselen nemin rüzgarlarla taşınması sonucu oluşurlar. Bu tarz yağışların oluşabilmesi için deniz suyu sıcaklığıyla yukarı atmosfer arasında termal kararsızlık; yer ve bulut tavanı arasında rüzgar yön değişiminin çok fazla olmaması ve nemli havanın en az 80 km taşınabilmesi gerekmektedir. Genellikle lokal alanlarda sağanak şeklinde etkisini gösteren bu tarz yağışlar, meteorolojik uzaktan algılama ürünleriyle, özellikle de meteorolojik radarlarla etkin bir şekilde takip edilebilmekte, şeritler halinde gelen yağışın hangi bölgeleri etkileyeceği tespit edilebilmektedir. Bu tip yağışlarda bir bölgede hava güneşliyken, 5-10 km mesafede 30-40 cm üzerinde kar yağışları meydana gelebilir ve günlük yaşamı olumsuz etkileyebilir. Bu çalışmanın amacı, meteorolojik radar ve uydu ürünlerinin kış aylarında oluşan deniz etkisiyle meydana gelen kar yağışlarının takibinde kullanımının önemini ortaya koymaktır.

Anahtar kelimeler: Meteorolojik radar, meteorolojik uydu, deniz etkisi kar yağışı, kar

1. GİRİŞ

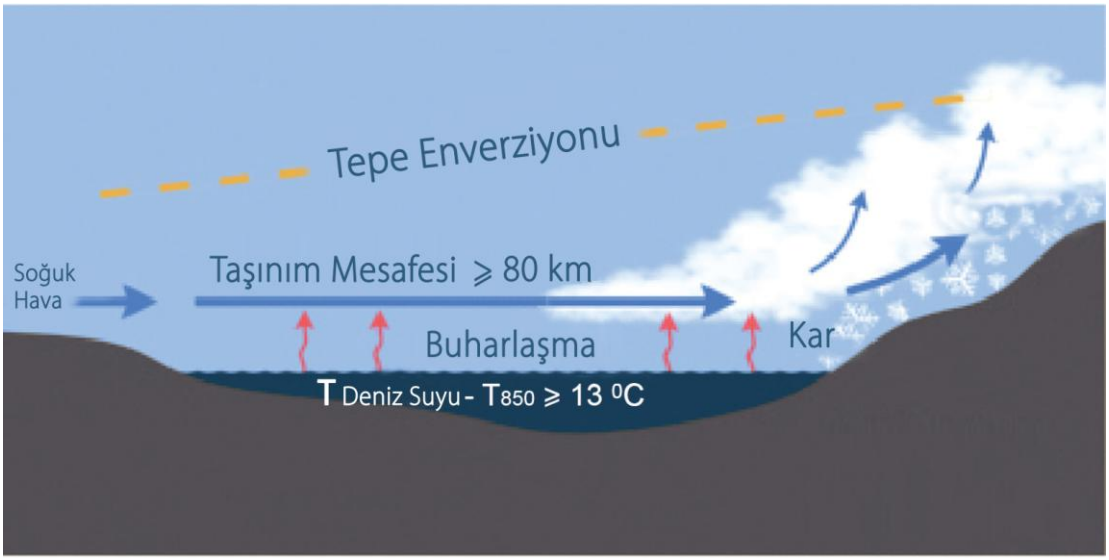
Deniz etkisiyle oluşan kar yağışları (DEK); siklon geçişleri sonrasında kutupsal soğuk hava kütlesinin sıcak denizler üzerinden geçerken ısınması ve deniz üzerindeki buharlaşma sonucu nem kazanmasıyla meydana gelirler [1]. Ülkemizde en çok Karadeniz ve Marmara kıyılarında görülen ve sağanak şeklinde uzun süre devam edebilen bu tarz yağışlar uygun sıcaklık şartları oluştuğunda deniz seviyesindeki yerlerde bile oldukça yüksek kar örtüsüne neden olabilir. Uydu ve radar görüntülerinde bantlar şeklinde görülen DEK'ler bir bölgede hava güneşliyken, 5-10 km mesafede 30-40 cm üzerinde kar yağışına sebep olup, başta ulaşımda aksamalar olmak üzere günlük hayatta ciddi sorunlara yol açabilirler. DEK'ler siklon geçişlerinden sonra meydana geldiğinden genellikle küresel modellerin yağış çıktıları tarafından ya hiç görülmez ya da oldukça az miktarda görülürler. Çözünürlüğü yüksek modeller, yukarı atmosfer gözlem diyagramları ile uydu ve radar görüntüleri bu tarz yağışların tahmin ve takibinde tahmincilerin en önemli kaynaklarıdır. Bu çalışmanın amacı, deniz etkisi kar yağışlarını tanımlayıp, meteorolojik radar ve uydu ürünlerinin bu yağışların takibinde kullanımının önemini ortaya koymaktır.

2. DATA VE METODOLOJİ

Bu çalışmada deniz etkisi kar yağışlarının oluşum mekanizmaları anlatılıp, 30 Ocak-1 Şubat 2012 tarihlerinde İstanbul'u etkileyen DEK; sinoptik haritalar, meteorolojik gözlemler, skew-T diyagramları ile uydu ve radar görüntüleri kullanılarak açıklanacaktır.

3. DENİZ ETKİSİ KAR YAĞIŞLARININ OLUŞUMU

DEK'lerin oluşumu ve şiddetinin belirlenmesinde kararsızlık, rüzgar, taşınım mesafesi, nemlilik ve yüzey şekilleri çok önemli rol oynar (Şekil 1).



Şekil 1: Deniz etkisi kar yağışlarının oluşum mekanizması. (Şeklin orijinali www.meted.ucar.edu web sitesinden alınarak düzenlenmiştir.)

3.1. Kararsızlık

Etkili deniz etkisiyle kar yağışlarının oluşabilmesi için deniz suyu sıcaklığıyla, 850 hPa sıcaklığı arasındaki farkın en az 13 derece olması gerekir [2]. 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 herhangi bir sinoptik etki olmadığı takdirde en fazla 3 km civarında olur. Skew-T diyagramıyla birlikte uydu ve radar görüntüleri bulut tepe yüksekliği tahmin ve takibinde kullanılabilir.

Kararsızlıkla birlikte vortisiti ve yüksek dikey hız, denizden yükselen nemin bir miktar daha yukarı taşınmasına yol açar. Bu tarz yükselmeler sonucu kar tanelerinin birbirine yapışması sonucu "graupel" diye adlandırılan küçük ve yumuşak dolu oluşabilir. Graupel ile bulut içerisindeki buz parçacıklarının elektriksel etkileşimi sonucu ender görülebilen gök gürültülü kar sağanakları meydana gelir [3].

3.2. Rüzgar

Deniz etkisiyle 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 [2]. 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.

3.3. Taşınım Mesafesi

Deniz etkisiyle kar yağışı oluşumu için soğuk hava kütlesinin su yüzeyi üzerinde en az 80 km boyunca hareket etmesi gerekmektedir [1]. Bu hareket boyunca rüzgar yönlerinde yukarıda sayılan kriterlerin geçerli olduğu ve yön uyumu gerektiğini belirtmek gerekir. Taşınım mesafesinin artması daha fazla nem toplanmasına yol açacağı için yağış miktarının da artmasına neden olabilir.

3.4. Nemlilik

Yüksek nemlilik deniz etkisi kar yağışının etkisini arttıran en önemli faktörlerden biridir [4]. Özellikle yer ve yere yakın seviyelerde yüksek nemlilik, LCL seviyesinin yere daha yakın olmasına yol açar. Bu seviye yoğunlaşmanın başladığı seviye olarak kabul edildiğinden yere yaklaşması bulut tabanının yere daha yakın olmasına yol açar. Tepe enverziyonu seviyesinin de yüksek olması durumunda daha kalın DEK bulutları oluşur ve etkili yağışa yol açar.

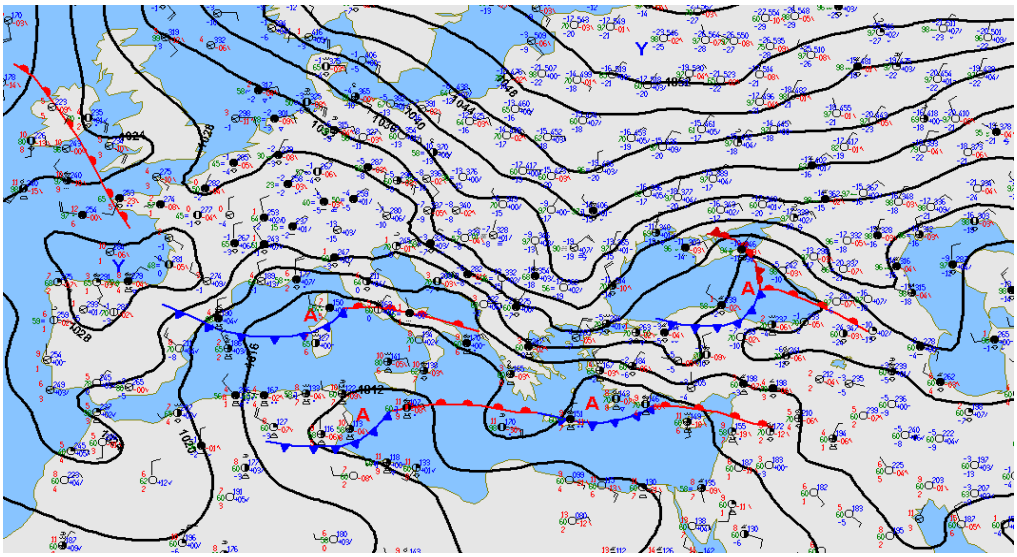
3.5. Yüzey Şekilleri

Deniz üzerinden hareket eden nemli hava karayla karşılaştığında sürtünme etkisiyle ısınır ve yükselir. Ayrıca denize bakan tepe ve dağlar oroğrafik yükselmeye neden olduklarından bu alanlarda DEK yağışları genellikle daha etkili olur.

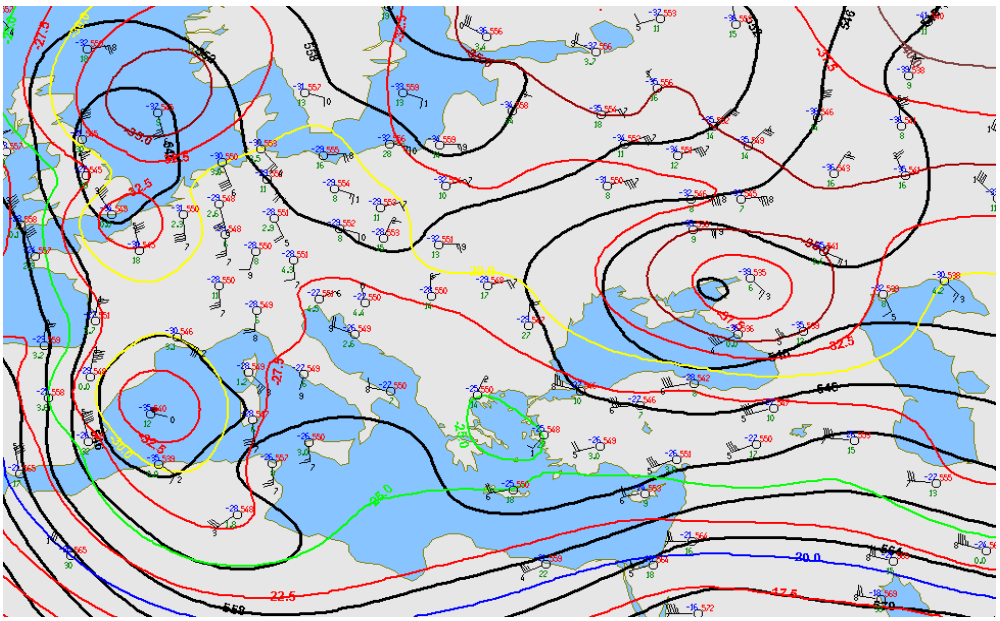
4. 30 OCAK -1 ŞUBAT 2012 İSTANBUL DENİZ ETKİSİ KAR YAĞIŞLARI

30 Ocak 2012 tarihinde başlayan ve 1 Şubat 2012 öğle saatlerine kadar etkili olan DEK sonucu İstanbul'un bazı bölgelerinde trafik durma noktasına gelmiş, bağlantı yolları kapanmış, metrobüs seferleri yapılamamış ve uçuşlarda iptal ve ertelemeler yaşanmıştır [5].

30 Ocak 2012 yer kartında alçak basınç merkezinin doğuya doğru hareket ettiği ve ülkemizin kuzeybatı kesimlerinde yüksek basınç koşullarının hakim olmaya başladığı görülmektedir. 1028-1032 hPa'lık yüksek basınç gradyeninin etkili olduğu bölgede, rüzgar kuzey ve kuzeydoğu yönlerden esmektedir (Şekil 2). 500 hPa haritasında Doğu Karadeniz'in kuzeyinde 536 dam yükseklik değeriyle - 37,5 °C soğuk hava görülmektedir. Batı Karadeniz üzerinde -30 °C'lik soğuk hava görülmekte ve soğuk hava kuzeyli rüzgarlarla Marmara'ya doğru taşınmaktadır.

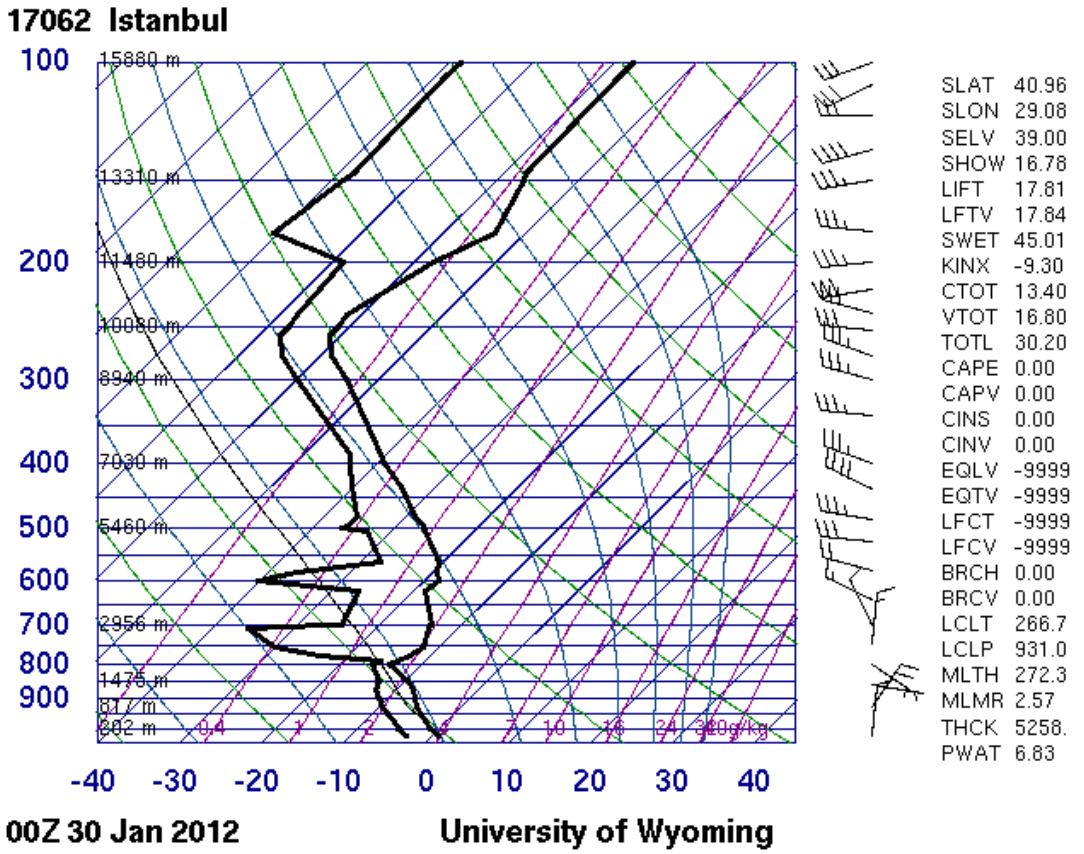


Şekil 2: 30 Ocak 2012 00:00 UTC Yer Kartı

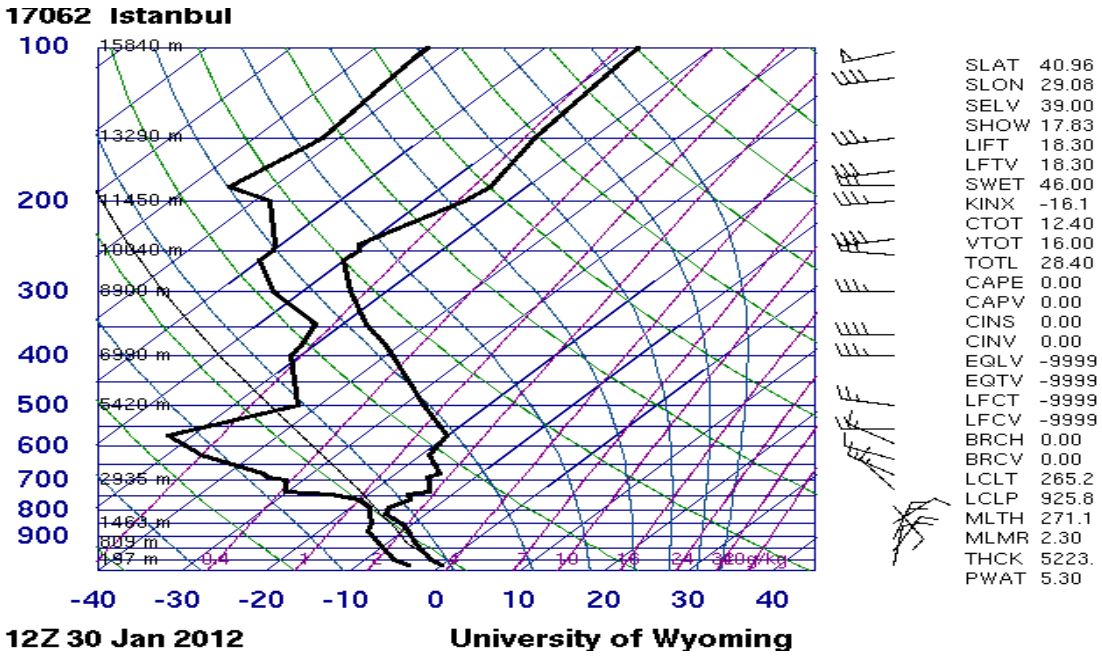


Şekil 3: 30 Ocak 2012 500 hPa haritası

30 Ocak 00 UTC Skew-T diyagramı incelendiğinde 850 hPa sıcaklığının -9,7 °C derece ve tepe enverziyonu seviyesinin 2000 m olduğu ayrıca bu seviyeye kadar nemli hava bulunduğu görülmektedir. Bu seviyeden itibaren yukarı çıkıldıkça kuru hava göze çarpmaktadır. Tepe enverziyonu seviyesine kadar rüzgar yön uyumu olmadığı da dikkati çekmektedir (Şekil 4). 30 Ocak 12 UTC diyagramında ise tepe enverziyonu seviyesinin biraz yükseldiği 2200m, rüzgarın 850 hPa'a kadar kuzey ve kuzeydoğu yönlerden uyumlu olduğu, 850 hPa sıcaklığınında -9,3 °C civarında olduğu görülmektedir (Şekil 5). Deniz suyu sıcaklığının 6 °C olduğu göz önüne alındığında kararsızlık şartları mevcuttur.



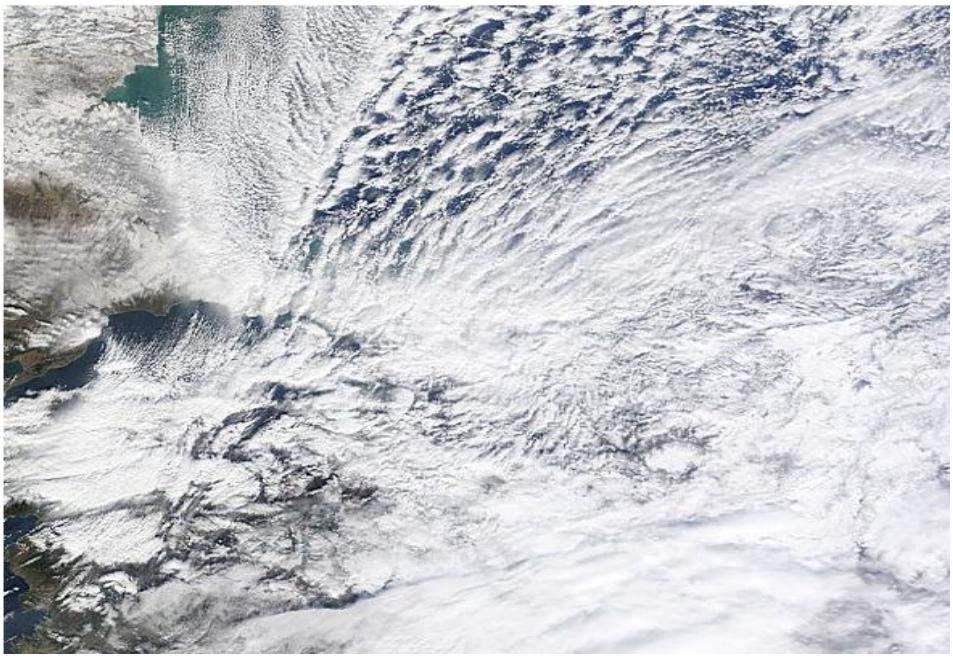
Şekil 4: 30 Ocak 2012 00 UTC skew-T diyagramı



Şekil 5: 30 Ocak 2012 00 UTC skew-T diyagramı

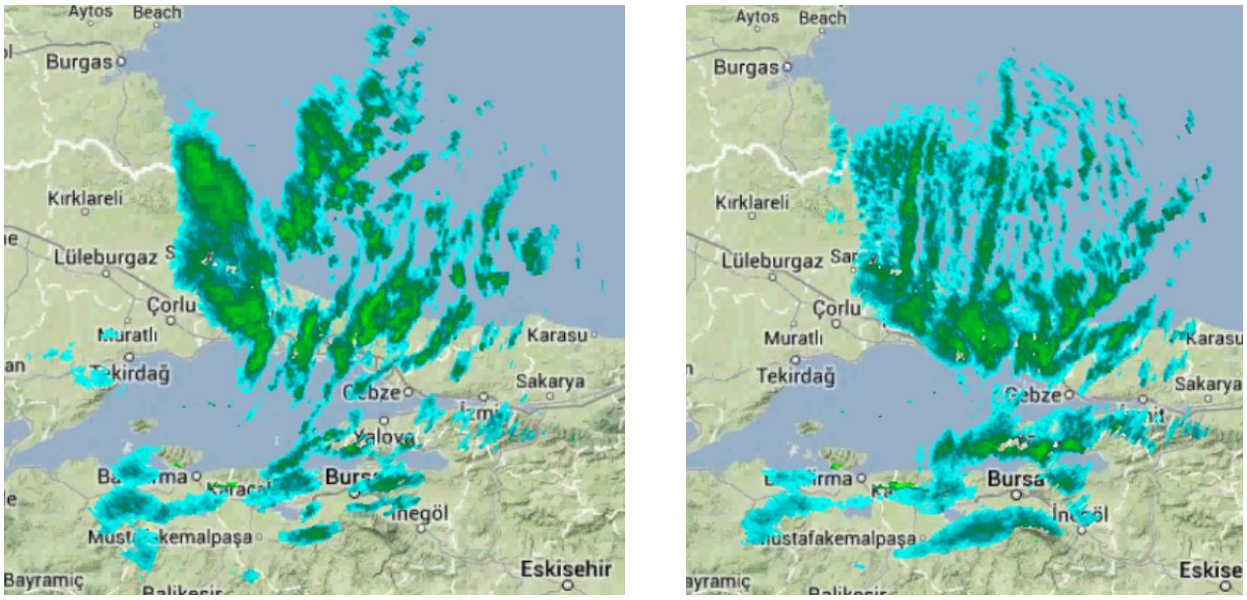
30 Ocak Modis uydu görüntüsünde Karadeniz üzerinde deniz etkisi bantlarının oluştuğu görülmektedir. Bulutların hareket yönü güney-güneybatı istikametindedir. Pasif uzaktan algılama araçları olan ve genellikle bulut tepesine duyarlı olan meteorolojik uydulardan yağışın şiddeti

kolay kolay anlaşılamaz. Yalnız infrared uydu görüntüleri kullanılarak bulut tepe sıcaklıkları tesbit edilebilir ve bu değerler ile termodinamik diyagramlar karşılaştırılarak bulut tepesinin hangi seviyeye ulaştığı görülür. Radar olmadığı veya radar ışınının dünyanın yuvarlak olması nedeniyle uzak mesafelerde bulutun üzerinden geçerek yağışı görmediği durumlarda DEK bantlarının şiddetinin tesbit ve takibi bu şekilde yapılabilir.



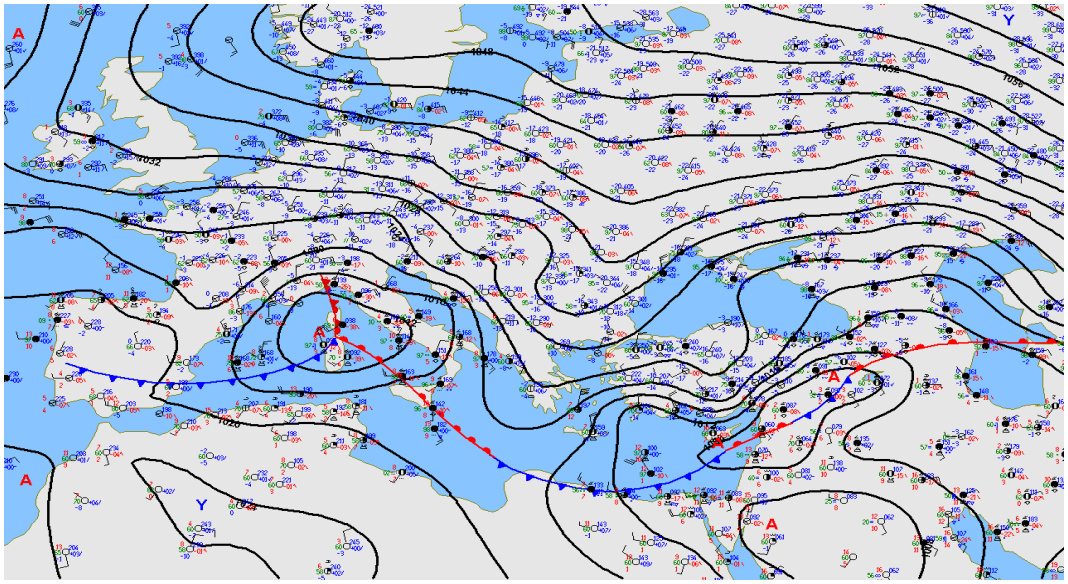
Şekil 6: 30 Ocak 2012 Modis 1 km çözünürlüklü uydu görüntüsü

30 Ocak radar görüntülerinde Karadeniz üzerinden hareket eden ve zamanla daha organize olan, tepesi 2 km civarında olan DEK bantlarının İstanbul'u etkilediği görülmektedir (Şekil 7).

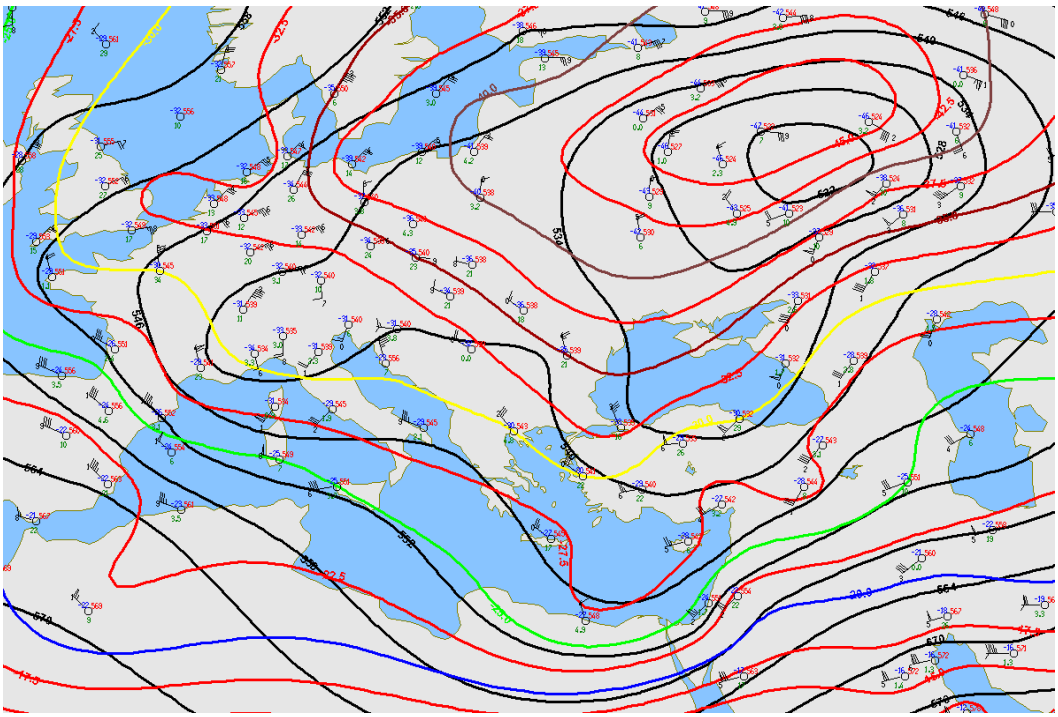


Şekil 7: 30.01.2012 07:00 ve 14:00 UTC radar görüntüleri

DEK yağışları 31 Ocak'ı 1 Şubat'a bağlayan gece saatlerinde etkisini daha da arttırmıştır. Yağışın etkili olduğu 1 Şubat 2012 tarihine ait 00 UTC yer kartında Türkiye'nin doğu kesimleri alçak basınç merkezinin, kuzeybatı kesimleri ise yüksek basınç merkezinin etkisi altındadır (Şekil 8). 500 hPa haritasında İstanbul üzerinde yükseklik değerinin 534 dam olduğu ve sıcaklığın -32,5 °C civarında olduğu, soğuk havanın kuzeybatı kesimlere iyice çöktüğü görülmektedir (Şekil 9).



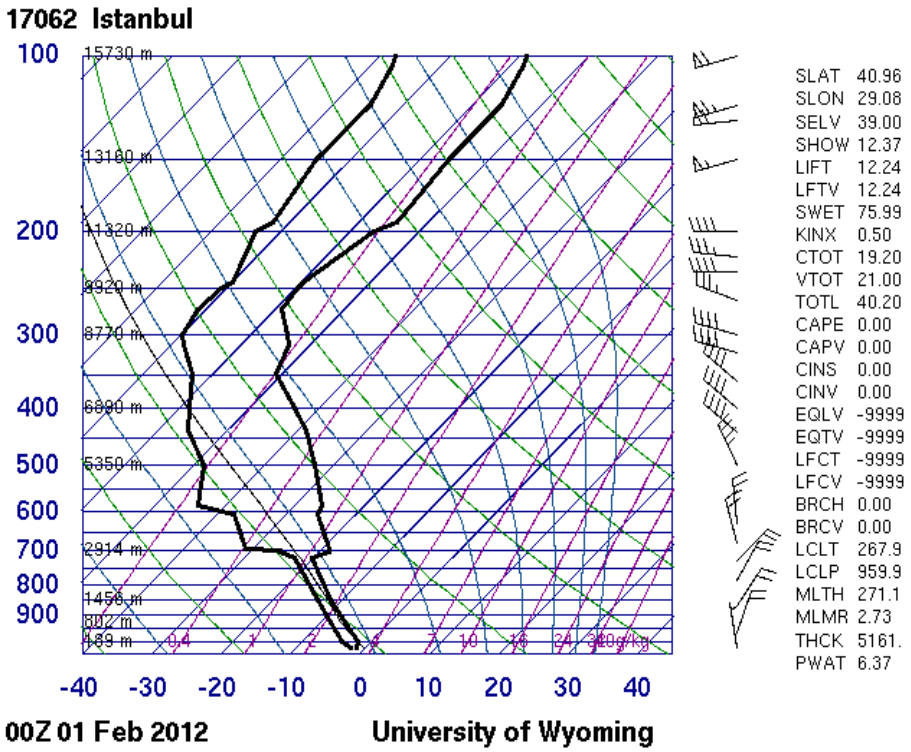
Şekil 8: 01.02.2012 00:00 UTC yer kartı



Şekil 9: 01.02.2012 00:00 UTC 500 hPa haritası

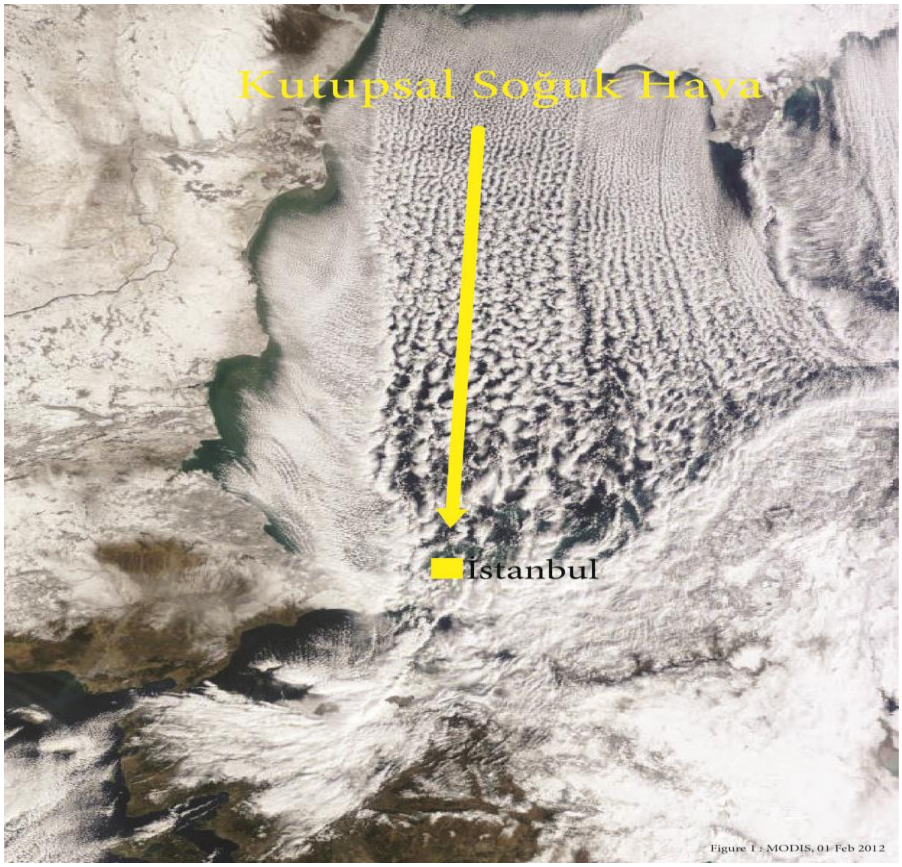
01 Şubat 2012 Skew-T diyagramında 850 hPa sıcaklığının -11,7 °C, tepe enverziyonunun 2700 m civarında olduğu ve bu seviyeye kadar oldukça yüksek nemlilik bulunduğu, rüzgar yön ve hızının

DEK için ideale yakın şartlarda olduğu görülmektedir (Şekil 10). (İstanbul skew-T diyagramları değerlendirilirken yer rüzgarının fiziki şartlardan etkilendiği düşünüldüğü için 100 m civarı yer seviyesi kabul edilerek inceleme yapılmıştır.)

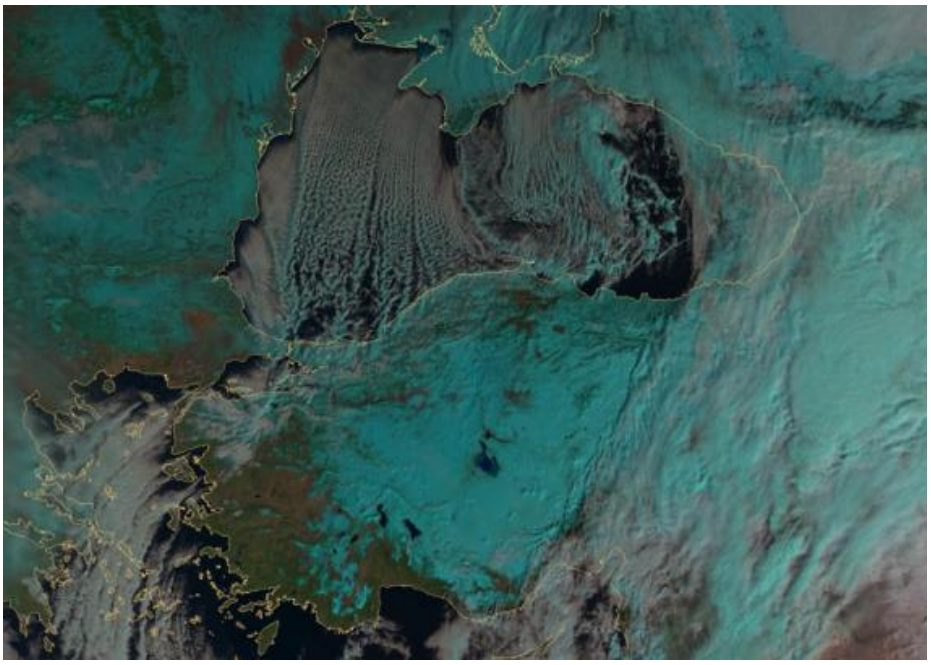


Şekil 10: 1 Şubat 2012 00:00 UTC skew-T diyagramı

1 Şubat 2012 Modis uydusuna ait uydu görüntülerinde Batı Karadeniz üzerinden güneye doğru akan bulut bantları görülmektedir (Şekil 11) . Görsel anlamda oldukça güzel görüntüler olması nedeniyle aynı tarihlerde Eumetsat (Avrupa Meteoroloji Uyduları İşletme Teşkilatı) tarafından web sitesinin açılış sayfasında Msg uydusuna ait 321 RGB ürünü 5 gün boyunca sergilenmiştir (Şekil 12).



Şekil 11: 01.02.2012 MODIS Uydu görüntüsü



Şekil 12: 01.02.2012 07:30 UTC MSG 321 RGB ürünü

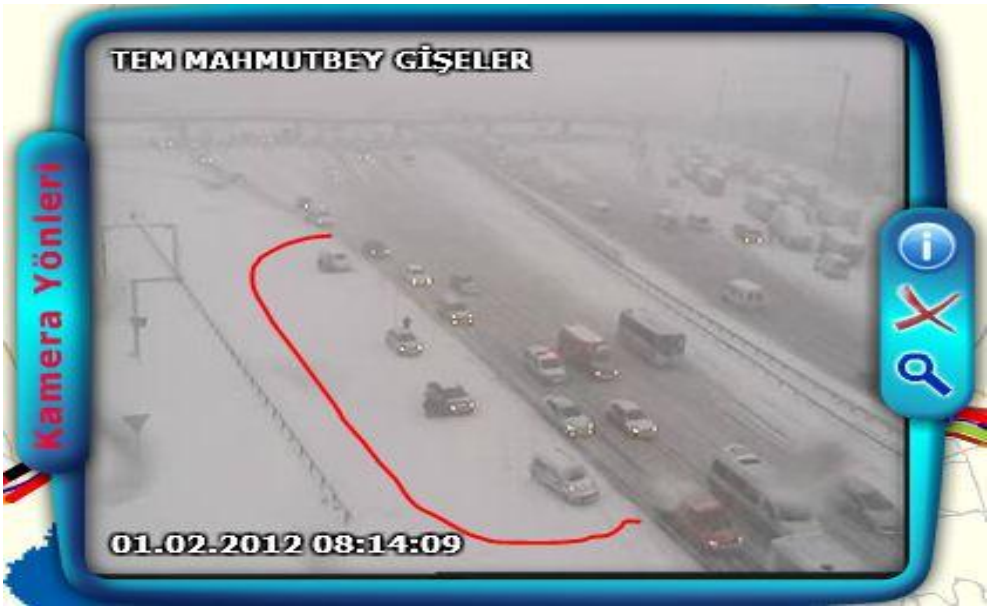
(http://www.eumetsat.int/website/home/Images/ImageLibrary/DAT_IL_12_02_01.html)

1 Şubat 2012 radar görüntülerinde ilk saatlerden itibaren Avrupa yakasını etkileyen kuvvetli DEK bandının öğle saatlerine kadar etkili bir şekilde devam ettiği görülmektedir (Şekil 13). Yağış

bandının geçtiği bölgelerde özellikle trafikte ciddi sorunlar yaşandığı İBB açıklamasında da yer almış ve kar yağışının Avcılar, Beylikdüzü, Sefaköy, Küçükçekmece, İkitelli, Bağcılar, Başakşehir, Hadımköy, Gaaziosmanpaşa ve Sultançiftliği'nde etkili olduğu, küreme ve tuzlama çalışmalarından sonra tipi nedeniyle yolların tekrar kar tuttuğu belirtilmiştir (Şekil 14).



Şekil 13: 01 Şubat 2012 08:10 TSİ radar görüntüsü.



Şekil 14: 01 Şubat 2012 08:14 TSİ Mahmutbey Gişeleri İBB trafik kamerası görüntüsü [5]

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 30 Ocak 2012 sabah saatlerinde yapmış olduğu 63 numaralı uyarıda; İstanbul için 01 Şubat 2012 öğle saatlerine kadar etkili olacak kar sağanaklarının meydana getirebileceği olumsuzluklara dikkat çekilmiştir (Şekil 15). İstanbul'da 1 Şubat 2012

itibariyle kar kalınlıkları resmi ölçümlere göre Florya'da 30, Sabiha Gökçen Havalimanı'nda 26 cm'ye kadar ulaşmıştır. İBB tarafından yapılan ölçümlerde ise kar kalınlığı Kurtköy, Çekmeköy, Çavuşbaşı, Hadımköy ve Arnavutköy çevrelerinde 47 cm'ye kadar ulaşmıştır. Kar kalınlıklarının bu denli yüksek olmasının nedenlerinden biri de yer sıcaklığının sıfır derecenin altında olması ve erime olmamasıdır.



Tarih : 30.01.2012	Saat : 09:40	Uyarı No : 0063	Uyarı Kodu: Normal
Uyarı Yapan Merkez	Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü		
Genel Başlık	İSTANBUL'DA KUVVETLİ KAR YAĞIŞI!		
Beklenen Hadise	Kar Yağışı		
Hadisenin Şiddeti	Kuvvetli Kar		
Beklendiği Yer	İstanbul'da devam eden kar yağışının zamanla etkisini arttırarak Çarşamba günü öğle saatlerine kadar aralıklarla kuvvetli olması bekleniyor. Kuvvetli poyrazla birlikte yer yer sağanak ve tipi şeklinde devam edecek kar yağışının oluşturabileceği ulaşımda aksama, görüş mesafesinde azalma, buzlanma ve don gibi olumsuzluklara karşı ilgililerin ve vatandaşların tedbirli ve dikkatli olmaları gerekmektedir.		
Geçerlilik Periyodu	30.01.2012 10:00-01.02.2012 12:00		

Şekil 15: 30 Ocak 2012 tarihinde MGM tarafından yapılan 63 numaralı uyarı.

5. SONUÇ

DEK yağışları öncesi sinoptik durum küresel tahmin modelleri tarafından öngörülse dahi yağış çıktıları genellikle daha az yağış öngörür [6]. Bu nedenle sıcak denizler üzerine kutupsal soğuk havanın geldiği durumlarda tahminciler oldukça dikkatli davranmalı, sadece küresel tahmin modellerine bağlı kalmamalı, DEK'e neden olabilecek koşulları iyi analiz etmeli ve meteorolojik uydu ve radarları takip ederek, gerekli uyarıları zamanında yapmalıdırlar.

Meteoroloji açısından oldukça büyük önem arz eden radar ürünlerine MGM'nin resmi internet sitesinden, akıllı mobil telefonlardan ücretsiz olarak kolaylıkla ulaşılmasına rağmen, gerek DEK yağışlarında gerekse kuvvetli yağışlarda bu ürünler sadece hava tahmin uzmanları tarafından kullanılmakta, halk bu ürünleri yaygın ve etkili olarak kullanmamaktadır. Yerel yetkililerin ve halkın bu ürünleri, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi etkili bir şekilde kullanmalarını sağlamak için meteorolojistler tarafından radar ürünlerinin kullanımı üzerine bilgilendirme çalışmaları yapılabilir, ürünlerin kullanılırlığının arttırılması için kuvvetli yağışlarda radar görüntüleri şehir merkezlerindeki elektronik reklam panolarında, toplu taşıma araçlarındaki ekranlarda gösterilebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Göktürk O.M**., *Göl ve Deniz Etkisiyle Oluşan Kar Yağışları, Cumhuriyet Bilim Teknik Dergisi, 2005*

[2] **Haby J.**, *Lake Effcet Snow forecasting (http://www.theweatherprediction.com*)

[3] **Takahashi T, Tajiri T, Sonoi Y.,** *Charges on Graupel and Snow Crystals and the Electrical Structure of Winter Thunderstorms, Jan 2003*

[4] **Hultquist T, *Dr.Greg Mann, Niziol T, LaPlante R,.***Lake-effect Snow, *10 November 2005*

[5] **Hürriyet Gazetesi.** *http://www.hurriyet.com.tr/gundem/19818283.asp.* Son kontrol: 20.10.2013

[6] **ECMWF.** *http://www.ecmwf.int/newsevents/meetings/forecast_products_user /Presentations2013 /Posters/Tastan.pdf*

Uydu Ve Yer Kaynaklı Meteorolojik Değişkenlerle Kısa Vadeli Yağış Modellemesi İçin Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı

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

Zekai Şen
İstanbul Teknik Üniversitesi
Hidrolik Laboratuvarı
İstanbul
zsen@itu.edu.tr

ÖZET

Yağış kaynaklı doğal afetlerin önlenebilmesi ile su kaynakları ve havza yönetimi için yağışların ölçümü, modellenmesi ve tahminleri çok önemlidir. Kurulu olan yağış ölçer ağlarının hem zaman hem de uzay değişkenliklerinin yüksek olması sebebiyle, küçük ölçeklerdeki şiddetli yağışların belirlenmesinde çeşitli zorluklar vardır. 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. Yağış tür ve miktarının uzaktan algılama ile belirlenmesi meteoroloji alanındaki önemli konulardan biridir. Bu amaçla kullanılan cihazlar radar ve uydulardır. Bunlar arasında kapsama alanı en yüksek olan uydu sistemleridir ve bu da onlara önemli bir avantaj sağlamaktadır. Konvektif yapılar için bulut tepe sıcaklığı yağış ile ilişkilendirilebilen anahtar bir parametredir. Buradaki yaklaşım, soğuk tepeli bulutların sıcak tepelilerden daha fazla yağış ürettiklerine dayanmaktadır. Buradan hareketle Arkin, GOES yağış indeksi, ayarlanmış GOES yağış indeksi, GriffithWoodley, Negri-Adler-Woodley, konvektif-stratiform, güçlendirilmiş konvektif-stratiform, otomatik tahmin edici ve geliştirilmiş otomatik tahmin edici teknikleri gibi ekvator yörüngeli uyduların verisini kullanan yöntemler geliştirilmiştir. Tüm bunlar yapılarında doğrusal amprik denklemler içermektedir ve bu denklemlerdeki katsayıların ülkemiz için belirlenmesi zorunluluğu vardır. Buradan hareketle, bu çalışmada 2000 yılı içerisindeki 5-7 Eylül dönemine ait bir konvektif yağışlı olay incelenerek, bir Yapay Sinir Ağı modeli kurulmuştur. Bu model Eylül ayı yağışını gayet iyi tahmin etmiştir.

Anahtar Kelimeler — Marmara, yağış, kısa vadeli tahmin, yapay sinir ağları, uzaktan algılama.

1. GİRİŞ

Yağışların ölçümü, modellenmesi ve tahminleri yağış kaynaklı doğal afetlerin (sel, taşkın, vb.) önlenmesi ile su kaynakları ve havza yönetimi için çok önemlidir. Yeryüzünde kurulu olan yağış ölçer ağları hem uzay hem de zaman dağılımı olarak büyük değişkenlikler gösterir. Bu değişkenlik küçük ölçeklerde meydana gelen şiddetli yağışların belirlenmesini zorlaştırır. Özellikle yaz aylarında orta enlemlerde görülen konvektif yağışların zaman ve alan yağış desenleri (paternleri), mevcut hava tahmin modelleri ile tam olarak belirlenememektedir [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.

Yağış tür ve miktarının belirlenmesi konusunda, uzaktan algılama tekniklerinden yararlanma alanında önemli gelişmeler bulunmaktadır [1-3]. Bu nedenle hava tahmin modellerini destekleyen uzaktan algılama teknikleri, özellikle konvektif sistemlerin belirlenmesi ve tahmininde son derece önemli katkılar sağlamaktadır. Yer istasyonlarında meydana gelebilecek herhangi bir problemden dolayı veri temininde karşılaşılabilecek aksaklıklara karşı en önemli seçenek uydu görüntüleri olmaktadır [4].

Çok kararsız bir yapıya sahip olan tropikler arası konverjans alanında (ITCZ: Intertropical Convergence Zone) yapılan çalışmalar, konvektif yapılar için bulut tepe sıcaklığının yağış ile ilişkilendirilebilen anahtar bir parametre olduğunu gösterir [5]. Bu nedenle kızılötesi görüntülerden yağış miktarının kestirilmesi için eşik değerlerin belirlenmesine gidilmektedir [5]. Konvektif kuleler olarak da adlandırılan kümülünimbüs yapısı güçlü düşey hava hareketleri

dolayısıyla bulut tepesinde adeta bir kaynama etkisine sahiptir. Bu nedenle ITCZ alanı içerisinde konvektif kulelerin araştırılması bir anlamda yağışın araştırılmasına karşı gelir.
Ampirik olarak yağışı bulut tepe sıcaklığı ile ilişkilendiren pek çok yöntem geliştirilmiştir. Tüm bu yöntemler soğuk tepeli bulutların sıcak tepelilerden daha fazla yağış ürettikleri temeline dayanır [6-7]. Bunlar arasında Arkin, GOES yağış indeksi, ayarlanmış GOES yağış indeksi, GriffithWoodley, Negri-Adler-Woodley, konvektifstratiform, güçlendirilmiş konvektif-stratiform, otomatik tahmin edici ve geliştirilmiş otomatik tahmin edici teknikleri bulunur.
Yukarıda belirtilen yöntemler 1979 ve 1990 yılları arasında geliştirilmiş olmasına rağmen günümüzde de kullanılmaktadır [1-3, 8-9].

2. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE İKLİM YAPISI

Türkiye'nin coğrafi bölgeleri arasında Marmara Bölgesi, genel anlamda Akdeniz iklimi etkisi altında olmasına rağmen aynı zamanda karasal, Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında bir geçiş özelliğine sahiptir. Kışları Akdeniz iklimi kadar ılık, yazları Karadeniz iklimi kadar yağışlı değildir. Karasal iklim kadar kışı soğuk, yazı da kurak geçmemektedir. Bölgenin Karadeniz kıyılarında, özellikle Anadolu kısmında yağışlar fazladır. İç Trakya ise karasal iklimin özelliklerini taşımaktadır, kışlar daha soğuk ve kar yağışlı, yazlar ise daha kuraktır. Uzun yıllar Ocak ayı ortalama sıcaklığı 5ºC, Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 24ºC ve yıllık ortalama sıcaklık 14ºC'dir. Ortalama yıllık yağış yaklaşık 600 mm'dir ve yaz yağışlarının yıllık toplam içindeki payı %11'dir. Ayrıca yıllık ortalama bağıl nem ise %73'tür [10].
Çalışma alanı (**Şekil 1**) olarak seçilen Marmara Bölgesi'ndeki 26 istasyonun isimleri, istasyon kodları ve konumları **Tablo 1**'den görülebilir. Bu istasyonlardan Şile, Kumköy, Sarıyer, Florya, İTÜ Maslak, Göztepe, Kartal, Tekirdağ, Çanakkale, Gökçeada, Ayvalık, Burhaniye, Bandırma ve Kocaeli istasyonları deniz yakınındaki istasyonlar olup geriye kalanlar ise bölgenin iç kesimlerinde yer almaktadır.



Şekil 1: Çalışma istasyonlarının dağılımı

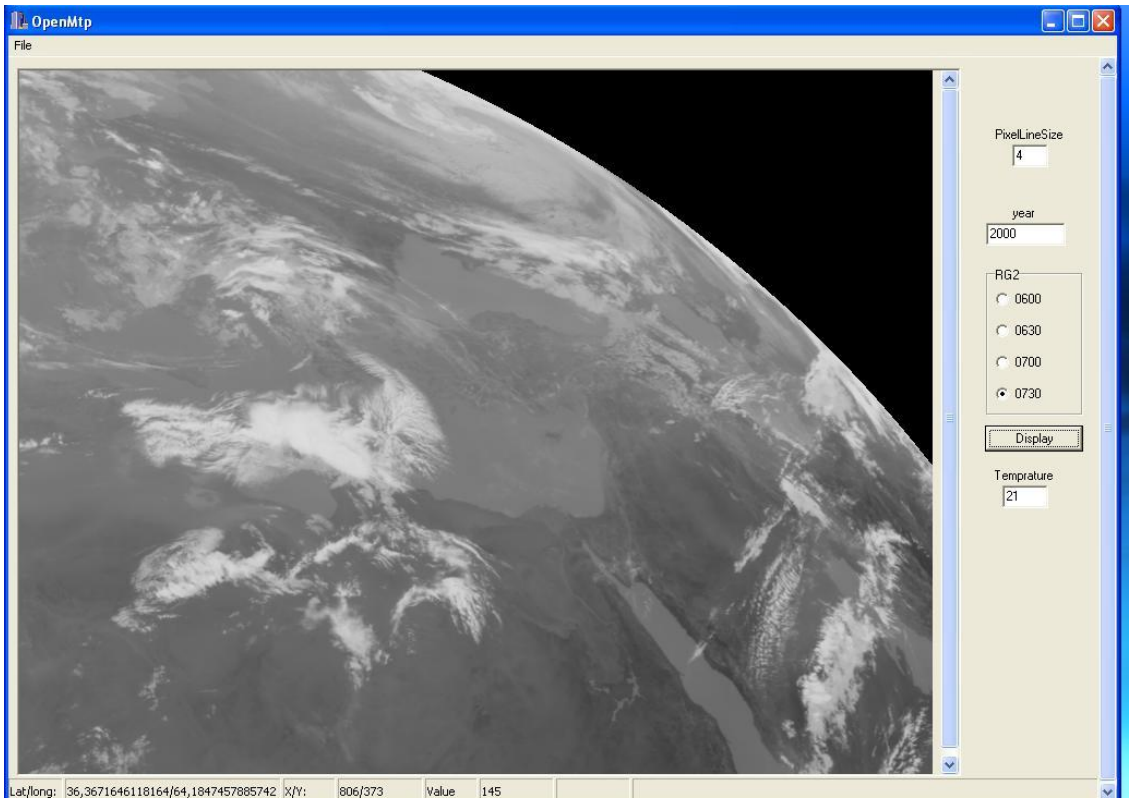
3. VERİ

Bu çalışmada 2000 yılının Meteosat 7 uydusuna ait saatlik kızılötesi kanalı verileri kullanılmıştır. Uydu verisi Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) tarafından EUMETSAT'tan temin edilmiştir. OpenMTP formatında gelen bu verinin çözümü için özel bir yazılım kullanılmıştır [11] (**Şekil 2**).

Tablo 1: Çalışmada kullanılan istasyonlar

İSTASYON ADI	İSTASYON KODU	ENLEM (º)	BOYLAM (º)
Edirne	17050	41,67	26,57
Kırklareli	17052	41,73	27,22
Çorlu	17054	41,16	27,82
Tekirdağ	17056	40,98	27,48
Kumköy	17059	41,30	29,00
Sarıyer	17061	41,22	29,12
Göztepe	17062	40,97	29,08
Kocaeli	17066	40,77	29,92
Adapazarı	17069	40,78	30,42
Gökçeada	17110	40,60	26,07
Çanakkale	17112	40,13	26,40
Bandırma	17114	40,33	28,00
Bursa	17116	40,18	29,07
Balıkesir	17152	39,64	27,89
Ayvalık	17175	39,31	26,69
Uzunköprü	17608	41,26	26,69
Şile	17610	41,17	29,60
İpsala	17632	40,92	26,38
Malkara	17634	40,89	26,91
Florya	17636	40,98	28,78
Geyve	17662	40,52	30,30
Gönen	17674	40,11	27,64
Dursunbey	17700	39,58	28,63
Burhaniye	17722	39,50	26,98
Kartal	18118	40,90	29,17
İTÜ-Maslak	-	41,01	29,03

Çalışmanın bir başka veri kaynağı olarak da DMİ Hidroloji Servisi'nden alınan 2000 yılına ait saatlik kayıt eden yağış ölçer (plüviyograf) verileri kullanılmıştır. Atmosferin düşey yapısına ait sıcaklık, bağıl nem, düşey hız değişkeni, jeopotansiyel yükseklik ve rüzgarın u ve v bileşenlerinin düğüm noktalarına aktarılmış gözlem değerleri ise NCEP (National Centers for Environmental Prediction) - NCAR (National Center for Atmospheric Research)'dan sağlanmıştır. Bu verinin zaman çözünürlüğü 6 saat, uzay çözünürlüğü ise 2.5º'dir. Geliştirilen bir doğrusal enterpolasyon yazılımı ile uzay çözünürlüğü 0.5º'ye yükseltilmiştir.



Şekil 2: OpenMTP formatında gelen veriyi çözümleyen yazılım

Çalışmada kullanılan veriler ve birimleri **Tablo 2**'de yer almaktadır.

Tablo 2: Çalışmada kullanılan meteorolojik değişkenlerin kısaltma ve birimleri

Meteorolojik Değişkenler	**Kısaltma**	**Birimi**
Yağış Miktarı	YM	mm/m^2
Bulut Tepe Sıcaklığı	BTS	º C
Düşey Hız Değişkeni	Ω	Pa/s
Sıcaklık	T	º K
Rüzgarın V Bileşeni	R_v	m/s
Rüzgarın U Bileşeni	R_u	m/s
Jeopotansiyel Yükseklik	H	m
Bağıl Nem	RH	%

4. YAPAY SİNİR AĞLARI

Canlıların biyolojik özelliklerinin sanal ortamda taklit edilmesiyle geliştirilen yöntemlerden ilki Yapay Sinir Ağları (YSA)'dır. Beynin zor işlemleri yapabilme, karmaşık örnekleri kavrayabilme ve özellikle ilgili fizik büyüklükleri bilmeden sadece deneme yöntemi ile bazı şeyleri öğrenebilmesi ilgi çeken cazip bir araştırma konusu olmuştur. Duyu organlarımız yardımıyla çevreden aldığımız uyarımlar, vücudumuzdaki sinirler vasıtasıyla beyne iletilirler ve beyin bu uyarımlar doğrultusunda karar verir. YSA'ların çalışma prensibi de buna dayanmaktadır.

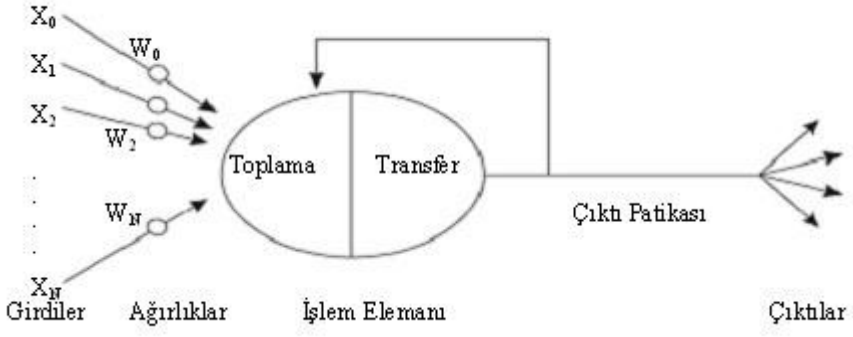
YSA'ları, verilen girdileri işleyerek bu girdilere karşı çıktı üreten bir kara kutu modeli olarak düşünebiliriz. Önce bu kara kutu bir eğitime tabi tutulur ve eğitim aşamasından sonra sistem girdilere karşı karar verebilecek düzeye ulaşır. YSA'lar bir eğitim sürecine sahip olmalarından dolayı öğrenebilme yeteneğine sahiptirler. Bu, geleneksel yöntemlerde olmayan bir özelliktir. Sistem bilgilerin paralel işlenmesi ve hataların minimum yapılarak sinir hücreleri arasındaki bağlantı ağırlıklarının yenilenmesiyle öğrenmektedir. Dolayısıyla öğrenilen bilgi bağlantı ağırlıklarında saklıdır. Diğer bir anlamda, YSA'lar da insanlar gibi deneyerek ya da yaşayarak öğrenmektedirler. Özetle YSA'lar, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri bilgisayarlara kazandıran sistemlerdir. Ayrıca bu yöntem genelleme yapabilme ve sınırsız sayıda değişkenle çalışabilme gibi başka özelliklere de sahiptir. Tüm bu özelliklerinden dolayı YSA'lar, kontrol, görüntü işleme, sınıflandırma, görüntü ve ses tanıma, modelleme, kalite kontrolü, kestirim ve tahmin (öngörü) hesaplamaları gibi pekçok alanda kullanılmaktadır ve uygulama alanları için bir sınırlama da bulunmamaktadır.

Yapay Sinir Ağları'nın pek çok alanda olduğu gibi meteorolojik alanda da uygulamaları mevcuttur. Örneğin gökgürültülü sağanak yağışların tahmini [12], uydu görüntülerinden denizler üzerindeki bulutların sınıflandırılması [13], tornadoların tahmini [14], hem karalar hem de denizler üzerindeki bulutların sınıflandırılması [15], zarar veren rüzgarların tahmini [16], meteorolojik değişkenlerden sıcaklık tahmini [17], yağış miktarının tahmini [18], uzun vadeli muson tahmini [19], günlük yağış tahmini [20], genel dolaşım modelleri için bir alt ölçekleme (downscaling) yöntemi [21], kısa vadeli yağış tahmini [22], rüzgar hızının alansal tahmini [23] vb.

4.1. Yapay Sinir Hücresi

Bir YSA hücresi biyolojik bir sinir hücresine benzetilerek oluşturulmuştur. Bu hücre, biyolojik bir sinir hücresi gibi gelen bilgiyi sahip olduğu eşik değerinin izin verdiği oranda algılar ve işleyerek komşu sinir hücresine aktarır. Bu işlem çıkış sinir hücresine kadar devam eder, buradaki çıkış sinir hücresi de biyolojik anlamda beyindir. Başka bir deyişle YSA hücresi, biyolojik sinir hücresinin şekil ve işlev olarak bir taklididir.

Şekil 3'ten görüldüğü üzere her bir $\mathbf{x_i}$ girdisi kendisine karşılık gelen $\mathbf{w_i}$ ağırlık katsayısı ile çarpılır, tüm bu çarpımlar toplanır ve bir transfer (aktivasyon) fonksiyonundan geçirilerek bir çıktı üretilir. Burada başlangıçta girdilere ait olan $\mathbf{w_i}$ ağırlıkları belirlenmelidir, bu rastgele de olabilir. Ağırlıkların belirlenmesinden sonra girdiler bu ağırlıklar ile çarpılır ve toplama fonksiyonuna gönderilir. Toplama fonksiyonu olarak toplama işlemi seçilebileceği gibi maksimum, minimum, ortalama veya çarpım gibi işlemlerden herhangi biri de seçilebilir. Buradan elde edilen sonuç daha sonra probleme göre seçilen doğru, adım, eşik, sigmoid, hiperbolik tanjant gibi transfer fonksiyonlarından herhangi birinden geçirilerek ilgili sinir hücresinin çıktısı elde edilir.



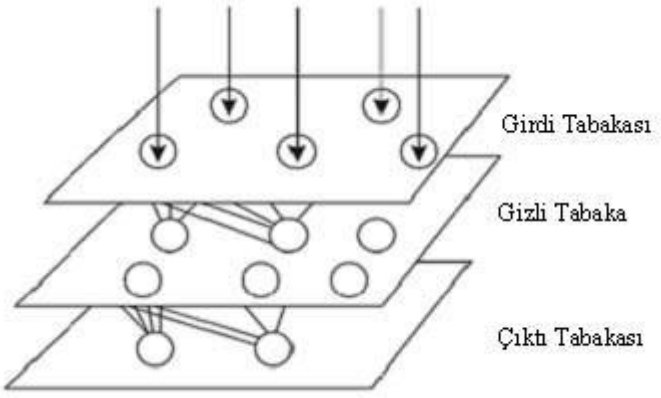
Şekil 3: Yapay sinirin genel yapısı [26]

4.2. Yapay Sinir Ağlarının Genel Yapısı

YSA'ların genel yapısına bakıldığında (**Şekil 4**), sistemin en az 3 tabakadan meydana geldiği görülür. İlk tabaka girdi katmanıdır ve son tabaka da çıktı katmanını meydana getirmektedir. Diğer kısım ise gizli tabakadır ve bu tabaka ilgilenilen problemin özelliğine göre birden fazla katman içerebilir. Her katman yapay sinir hücrelerine sahiptir ve çıktı tabakası hariç bir katmandaki yapay sinir hücreleri bir sonraki katmanın yapay sinir hücreleriyle ağırlık katsayılarıyla bağlıdır. Girdi (çıktı) katmanındaki sinir hücre sayısının girdi (çıktı) değişkenleri sayısı kadar olacağı oldukça açıktır. Oysaki gizli tabakadaki sinir hücre sayısının ne olacağı sadece girdiyle ilişkilidir. Literatürde genelde

iki çeşit uygulama vardır. İlki n girdi sayısı olmak üzere 2n+1 ve diğeri de (n+1)/2 sayılarıdır. Elbette ki problemin özelliğine göre gizli tabakada daha farklı sayıda sinir hücresi de kullanılabilir. Bu sayının çok olması sistemin çözüme ulaşma hızını azaltacağı unutulmamalıdır. YSA'lar hakkında detaylı bilgi için Haykin [24] ve Şen'e [25] bakılabilir.

Şekil 4. YSA'ların genel yapısı [26]



4.3. Yapay Sinir Ağları'nda Geriye Yayılma Algoritması

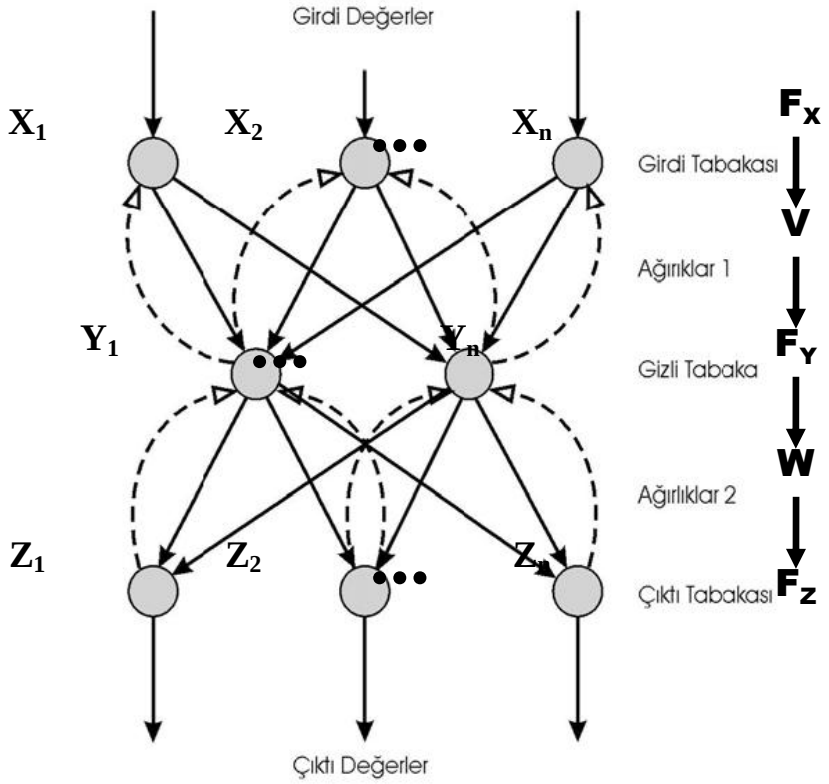
Geriye yayılma algoritmasında 2 temel akış vardır. Bunlardan ilki ağlar üzerinden ileriye doğru olan bilgi akışı ve diğeri ise hatanın geriye doğru yayıldığı akıştır [27]. İleri olan akışta, o an varolan ağırlık katsayıları yardımıyla yapay sinir hücrelerinin ve sonunda da sistemin çıktıları elde edilir. Sistemin verdiği çıktı (tahmin) ile gerçek çıkışlar arasındaki toplam hata hesap edilerek bu hata geriye doğru yayılır ve böylelikle bağlantı ağırlıkları yenilenir. Bu işlem ya belirli bir tekrar sayısınca ya da belirli bir hata kriteri sağlanıncaya kadar tekrar edilir. Sonuçta da minimum hatayı sağlayan en uygun ağırlık katsayıları elde edilerek sistemin öğrenmesi tamamlanır.

Şekil 5 bir giriş, bir gizli ve bir çıkış tabakalarından oluşan bir YSA mimarisidir. Düz oklar ileriye doğru olan bilgi akışını, kesikli oklar ise hataların geriye yayılımını ifade etmektedir. Girdi tabakası $\mathbf{F_X}$, gizli tabaka $\mathbf{F_Y}$ ve çıktı tabakası da $\mathbf{F_Z}$ olarak tanımlanmıştır. **V** girdi katmanı ile gizli katman ve **W** da gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki bağlantı katsayılarını göstermektedir. Bu açıklamalar doğrultusunda $\mathbf{F_Y}$ tabakasındaki y ve $\mathbf{F_Z}$ tabakasındaki z değerleri aşağıdaki eşitlikler ile bulunmaktadır.

$$Y_i = f\left(\sum_{i=1}^{n} X_h V_{ih}\right) \quad (1)$$

ve

$$Z_j = f\left(\sum_{i=1}^{p} Y_i W_{ji}\right) \quad (2)$$



Şekil 5: Genel bir YSA mimarisi [26]

Şen [25] geriye yayılma algoritmasının adımlarını şu şekilde açıklamıştır:
1) Öncelikle YSA mimarisindeki tabaka ve her bir tabakadaki sinir hücre sayıları belirlenir.
2) Sistem için gerekli olan öğrenme oranı, hata adımı, iterasyon sayısı, hata kriteri, vb. sabit parametre değerleri atanır.

3. Tabakalar arası ağırlık bağlantıları olan V ve W değerleri belirli ya da rastgele bir şekilde atanır.

4. Burada L ölçüm sayısı olmak üzere, atanan bağlantı ağırlıkları yardımıyla her bir giriş vektörü için z_{kj} (k = 1,..L, j = 1,..q) çıkışları hesaplanır ki burada q giriş sayısını gösterir.

5. Hataların geriye yayılma işlemine çıkış katmanı (F_Z) ile gizli katman (F_Y) arasındaki bağlantı ağırlıklarından başlanarak önce yeni w değerleri,

$$w_{jij}^{\ yeni} = w_{ji}^{\ eski} - \eta \frac{\partial H}{w_{ji}} \tag{3}$$

şeklinde hesaplanır. Burada η öğrenme oranını temsil etmektedir ve sıfırdan farklı bir değerdir.

6. Çıkış değerleri olan b_{kj} ve YSA'nın vermiş olduğu tahmini ifade eden z_{kj} değerleri yardımıyla toplam hata değeri, H, aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$H = \sum_{k=1}^{L} \sum_{j=1}^{q} \left(b_{kj} - z_{kj} \right)^2 \tag{4}$$

7. Her bir ağırlık katsayısının yenilenebilmesi için H'nin w_{ji} bağlantı ağırlıklarına göre teker teker türevlerinin hesaplanması gerekmektedir. H'nin w_{ji} bağlantı ağırlıklarına göre türevi aşağıdaki şekilde alınır.

$$\frac{\partial H}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial}{\partial w_{ij}} \left[\sum_{k=1}^{L} \sum_{j=1}^{q} \left(b_{kj} - z_j \right)^2 \right] \tag{5}$$

ve

$$\frac{\partial H}{\partial w_{ij}} = 2\sum_{k=1}^{L}\left(b_{kj} - z_j\right)(-1) f'\left(z_j\right) y_i \qquad (6)$$

Burada f fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır ve bu fonksiyonunun türevi $f'(\beta) = \alpha(1 - \beta)$ olarak ifade edilir. Böylece tüm işlemler tamamlandıktan sonra w_{ji} bağlantı ağırlıklarının yenilenmesi sağlanmış olur.

8. H'nin w_{ji} bağlantı ağırlıkları üzerine yayıldığı gibi, aynı şekilde v_{ih} üzerine de yayılması gerekir. Bu nedenle v_{ih} bağlantı ağırlıklarının yenilenmesi de şu şekilde gerçekleştirilir. $v_{ih}^{yeni} = v_{ih}^{eski} - \eta \frac{\partial H}{\partial v_{ih}}$ (7)

9. Matematikteki *Zincir kuralı* yardımıyla H teriminin v_{ih} bağlantı ağırlıklarına göre olan değişimi aşağıdaki 2 eşitlik ile gösterilmiştir.

$$\frac{\partial H}{\partial v_{ih}} = \frac{\partial H}{\partial z_j}\frac{\partial z_j}{\partial y_i}\frac{\partial y_i}{\partial v_{ih}} \qquad (8)$$

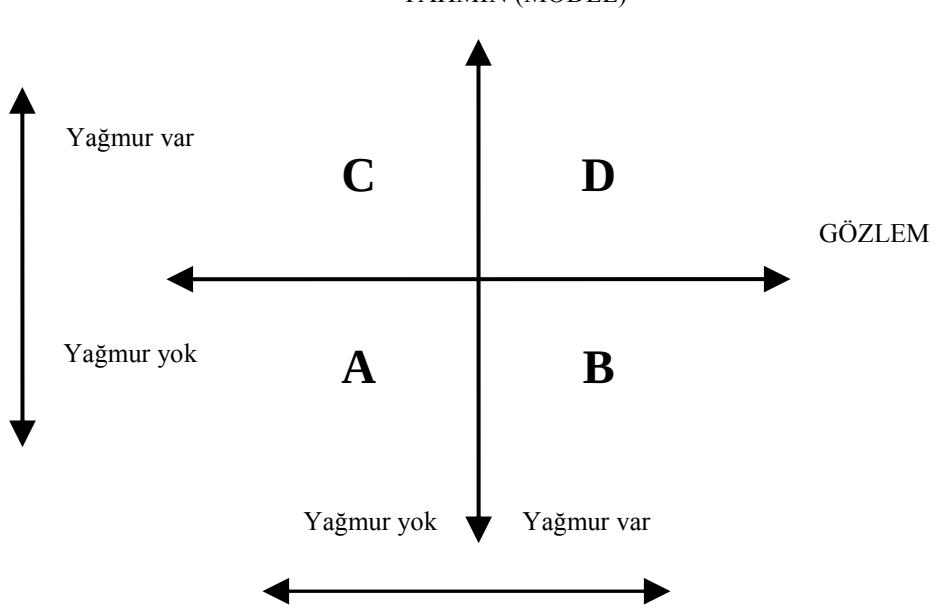
ve

$$\frac{\partial H}{\partial v_{ih}} = 2\sum_{k=1}^{L}\sum_{j=1}^{q}\left(b_{kj} - z_j\right)(-1) f'\left(z_j\right) w_{ji} f'\left(y_i\right) a_{kh} \qquad (9)$$

Tüm bu işlemlerin sonucunda V ve W bağlantı değerleri tamamen yenilenir ve YSA'nın ilk eğitimi tamamlanır. YSA'lar hakkında daha ayrıntılı bilgiler için Haykin [24] ve Şen'e [25] bakılabilir.

4.4. Kullanılan İstatistik Bilgiler

Bu çalışmada kullanılacak istatistik bilgileri **Şekil 6**'da düzeni gösterilen farklı dört büyüklüğü (A, B, C ve D) esas alarak tanımlanmıştır. Burada A gözlemin yağmurlu olmaması durumunda tahminin yağmursuz olması yüzdesini yani olasılığını gösterir. Diğer büyüklükler de benzer şekilde tanımlanmışlardır. Bu şekildeki büyüklükler esas alınarak Wilks [28] tarafından aşağıdaki istatistik büyüklükler önerilmiştir.



Şekil 6: Gözlem – Tahmin yağış ihtimalleri

5.4.1. Yakalama Olasılığı

Yakalama olasılığı, POD (Probability of detection), modelin doğru tahmin ettiği yağışlarının (D) gözlenen tüm yağışlara (B+D) olan oranını ya da başka bir deyişle modelin, gözlenen yağışları doğru yakalama olasılığını gösterir. Buna göre;

$$POD = \frac{D}{B + D} \tag{10}$$

POD değeri 1 ise model tüm yağışlı olayları yakalama başarısına sahiptir.

5.4.2. Taraflılık

Taraflılık, BIAS, modelin doğru tahmin ettiği yağışşız durumlar (A) hariç olmak üzere, modelin yağış tahmin ettiği tüm zamanların (C+D) gözlenen tüm yağışlı zamanlara (B+D) oranını ya da başka bir deyişle modelin, gözlemlerden daha yüksek ya da gözlemlerden daha düşük tahminlerde bulunmasını ifade eder.

$$BIAS = \frac{C + D}{B + D} \tag{11}$$

BIAS değeri 1'den büyük ise model gözlemlerden daha yüksek tahminlerde, 1'den küçük ise model gözlemlerden daha düşük tahminlerde bulunmaktadır. BIAS 1 ise tahmin sonuçları mükemmeldir.

5.4.3. Yanlış Uyarı Oranı

Yanlış uyarı oranı, FAR (False alarm ratio), modelin yağış vermesi durumunda (C ve D), yanlış tahmin edilen yağışların (C), yağışlı ve yağışsız gözlemler toplamına (C+D) olan oranını ya da başka bir deyişle modelin, yanlış uyarı verme olasılığını, ifade eder. Buna göre;

$$FAR = \frac{C}{C + D} \tag{12}$$

FAR değeri 0 ise bu modelin yanlış yağış uyarısı vermemesi anlamına gelmektedir.

5.4.4. Kritik Başarı İndeksi

Kritik başarı indeksi, CSI (Critical succes index), modelin doğru tahmin ettiği yağışlarının (D), modelin doğru olarak yakaladığı yağışsız zamanların dışındaki tüm gözlemlere (B+C+D) olan oranını ya da başka bir deyişle modelin, yağış tahmininde bulunmadığı durumlardaki gözlenen yağışları doğru yakalama olasılığını ifade eder. Buna göre;

$$CSI = \frac{D}{B + C + D} \tag{13}$$

CSI değeri 1 ise model tüm yağışlı olayları yakalama başarısına sahiptir.

5.4.5. İsabet Oranı

İsabet oranı, HR (Hit rate), modelin doğru tahmin ettiği yağışlı ve yağışsız zamanların (A+D) tüm gözlemlere (A+B+C+D) olan oranını ya da başka bir deyişle modelin, gözlenen yağışlı ve yağışsız durumları doğru yakalama olasılığını ifade eder. Buna göre;

$$HR = \frac{A + D}{A + B + C + D} \tag{14}$$

HR değeri 1 ise model tüm yağışlı ve yağışsız olayları yakalama başarısına sahiptir.

5.5. Düğüm Noktası Değerlerinin İstasyonlara Taşınması

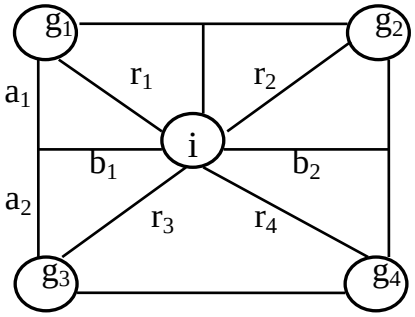
Burada düğüm noktalarındaki NCEP (National Centers for Environmental Prediction) - NCAR (National Center for Atmospheric Research) verisinin istasyonlara aktarılmasında istatistik yaklaşım olarak "Ters Mesafe Kareleri Yaklaşımı" kullanılmıştır [29]. **Şekil 7**'den görüldüğü üzere g_1, g_2, g_3 ve g_4 düğüm noktalarını, i istasyon noktasını ve a, b, r'ler ise uzaklıkları göstermektedir. Buradan hareketle önce uzunlukları,

$$r_1 = \sqrt{a_1^{\,2} + b_1^{\,2}} \tag{15}$$

denklemine göre daha sonra da ilgili meteorolojik değişken ağırlıklı ortalama (ağırlıklar ters mesafe kareleri olmak üzere) yöntemi ile

$$i = \frac{\frac{1}{r_1^2} g_1 + \frac{1}{r_2^2} g_2 + \frac{1}{r_3^2} g_3 + \frac{1}{r_4^2} g_4}{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} + \frac{1}{r_3^2} + \frac{1}{r_4^2}} \tag{16}$$

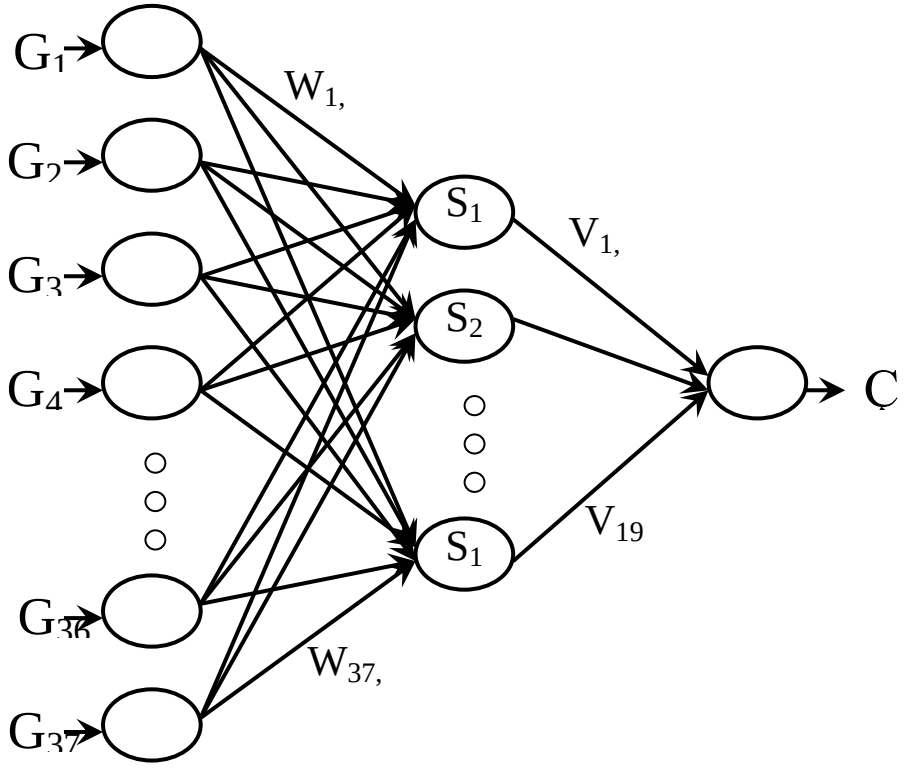
denkleminden hesaplanabilir.



Şekil 7: Düğüm noktası yapısı

5. KULLANILAN YSA MİMARİSİ

Çalışma için kurulan YSA mimarisi **Şekil 8**'den görüldüğü üzere giriş, gizli ve çıkış katmanlarına sahiptir. Giriş tabakası 37 yapay sinir hücresine sahiptir ve gizli tabakadaki yapay sinir hücresi sayısı, n giriş hücre sayısı olmak üzere (n+1)/2 yani 19 olarak alınmıştır. Her bir girişin hangi değişkenlere karşı geldiği **Tablo 3**'te gösterilmiştir. Toplam hata, H, eşitliği Denklem (4)'te verilmiştir. Burada ağırlıkları ayarlamak için hızlı yakınsayan bir yöntem olan Levenberg-Marquardt yöntemi seçilmiştir. Bu metodun matematik ifadesi aşağıda verilmiştir (Denklem (17)).



Şekil 8: Çalışmada kullanılan YSA mimarisi

$$w_{i,j}^{yeni} = w_{i,j}^{eski} - \left[J^T J + \mu I\right]^{-1} J^T H \tag{17}$$

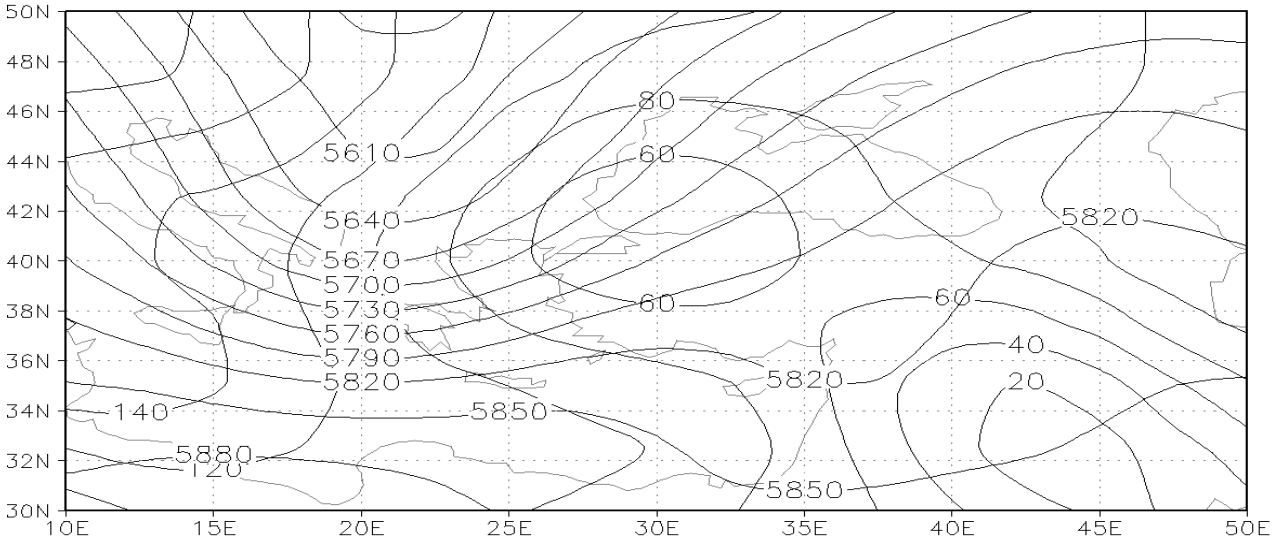
Bu denklemdeki J hataların ağırlıklara göre türevlerini içeren Jacobian matrisini, J^T Jacobian matrisinin transpozesini, I birim matrisi, μ öğrenme oranını göstermektedir.
Yağış miktarının 6 saat öncesinden tahmin edilebilmesi için çıkış değişkeni t zamanına ait yağış miktarı olup giriş değişkenlerinin zamanı t-6 ve bulut tepe sıcaklığı ise t ile t-6 zaman aralığındaki minimum sıcaklık olarak alınmıştır [32].

Tablo 3: Kurulan YSA modelinin giriş ve çıkış değişkenleri

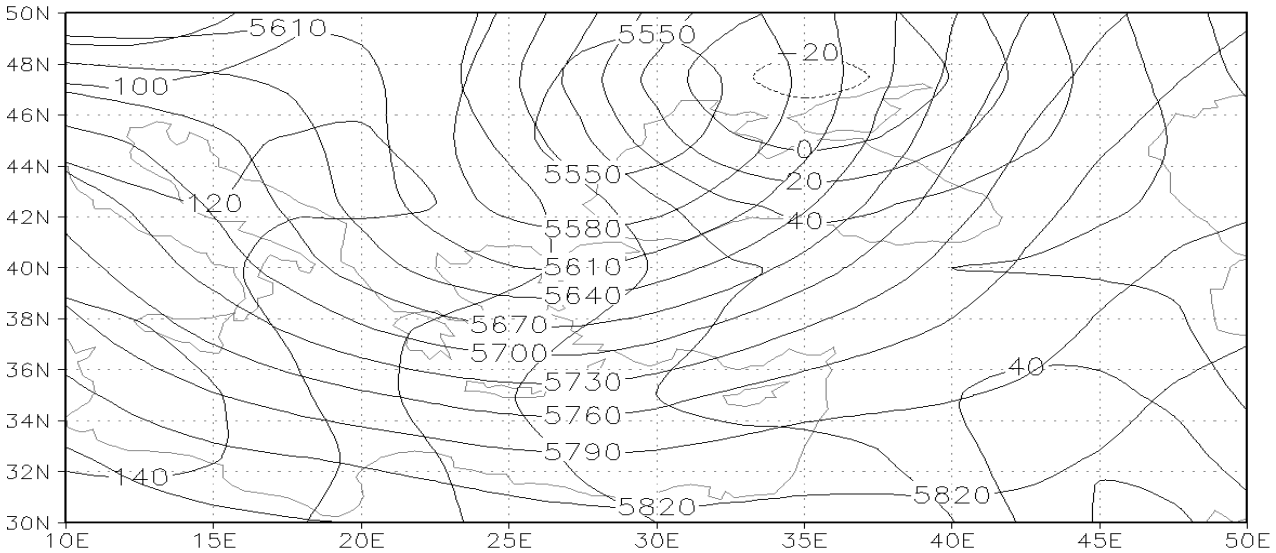
	Seviyeler					
Meteorolojik Değişkenler	**1000 mb**	**925 mb**	**850 mb**	**700 mb**	**600 mb**	**500 mb**
Sıcaklık	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6
Jeopotansiyel Yükseklik	G_7	G_8	G_9	G_{10}	G_{11}	G_{12}
Düşey Hız Değişkeni	G_{13}	G_{14}	G_{15}	G_{16}	G_{17}	G_{18}
Rüzgarın v Bileşeni	G_{19}	G_{20}	G_{21}	G_{22}	G_{23}	G_{24}
Rüzgarın u Bileşeni	G_{25}	G_{26}	G_{27}	G_{28}	G_{29}	G_{30}
Bağıl Nem	G_{31}	G_{32}	G_{33}	G_{34}	G_{35}	G_{36}
Bulut Tepe Sıcaklığı	G_{37}					
Yağış Miktarı	Ç					

6. 5–7 EYLÜL 2000 DÖNEMİ ANALİZ VE UYGULAMASI

Şekil 9'dan görüldüğü gibi 6 Eylül 2000, 06:00 GMT itibariyle, tüm Türkiye bölünmüş iki alçak basınç merkezinin etkisi altında bulunmaktadır. Bunlardan ilki Türkiye'nin kuzeybatısına yerleşmiş olup, diğer merkez Basra Körfezi üzerinden Türkiye'nin Güneydoğu ve Doğu'suna doğru uzanmaktadır. Çalışma bölgesi olan Marmara Bölgesi'nin ilk alçak basınç merkezinin etkisi altında bulunduğu söylenebilir. Diğer taraftan **Şekil 10**'da görüldüğü üzere bu merkez zaman içerisinde kuzeydoğuda Kırım Yarımadası'na doğru hareket etmektedir. Ayrıca **Şekil 9**'da Karadeniz üzerinde merkezlenmiş olan alçak basınç merkezinin yukarısında, 500 mb seviyesinde alçak merkez ve oluk gözlenmektedir. Bu yapı yerdeki sistemin soğuk karakterli olduğunu göstermektedir. Çünkü soğuk karakterli alçak basınç alanında sıcaklık alanı ile basınç alanı arasında pozitif ilişki mevcuttur [30-31]. Dolayısı ile Marmara Bölgesi soğuk adveksiyonun etkisi altındadır. Ayrıca 6 Eylül 2000, 00:00 GMT itibariyle çalışma bölgesinde bir soğuk cephe geçişi kaydedilmiştir. Bu yapı yer istasyonlarında gözlenen sağanak yağışları açıklamaktadır.



Şekil 9: 1000 mb ve 500 mb sinoptik kartı (6 Eylül 2000, 00:00 GMT)



Şekil 10: 1000 mb ve 500 mb sinoptik kartı (7 Eylül 2000, 00:00 GMT)

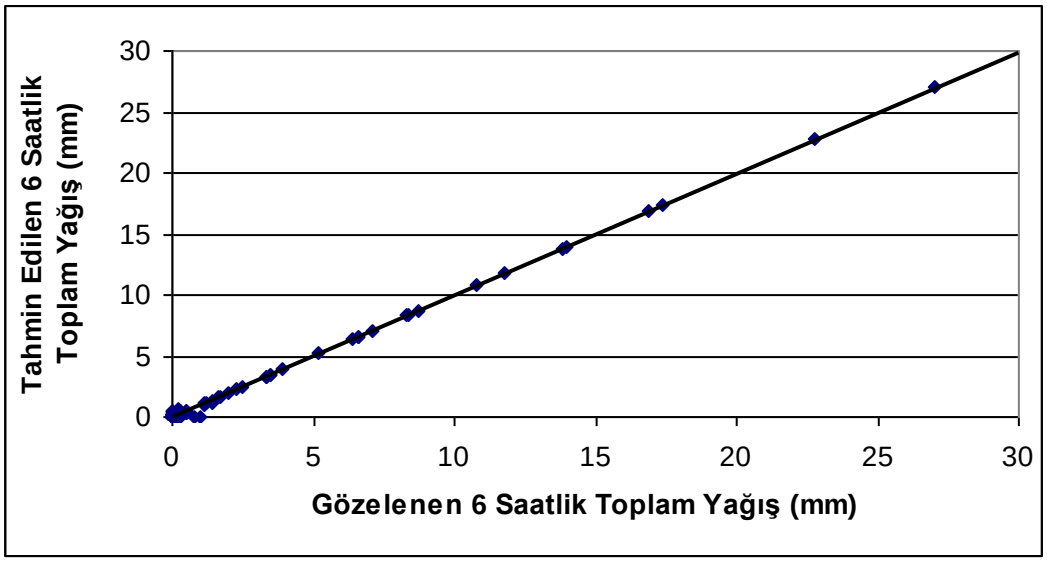
Daha önce verilen YSA mimarisine eldeki 300 adet verinin yaklaşık %75'i yani 220 tanesi eğitim ve geri kalan 80 tanesi de tahmin amaçlı olarak programa sokulmuştur. Yukarıda açıklanan meteorolojik yapıya bağlı olarak oluşan yağışların meteorolojik değişkenler ile olan ilişkisi **Tablo 4'te** gösterilmiştir. Burada, sıcaklık değişkeni tüm seviyelerde yağış ile ilişkisiz bulunmaktadır. Jeopotansiyel yükseklikler 1000 mb ve 850 mb seviyelerinde sırasıyla -0,25 ve -0,15 korelasyona sahipken diğer seviyelerde çok düşük ve hatta ilişki 0'a yakındır. Düşey hız değişkeni tüm seviyelerde sırası ile -0,36; -0,14; -0,21; -0,14; -0,19 ve -0,28 korelasyon değerlerine sahiptir. Rüzgarın v bileşeni incelenecek olursa 925 ve 600 mb seviyelerinde ihmal edilecek kadar küçük bir ilişki mevcutken diğer seviyelerdeki korelasyon değerleri 0,11; 0,11; 0,35 ve 0,43'tür. Rüzgarın u bileşeninde ise 1000 ve 500 mb seviyelerindeki 0 korelasyona karşın diğer seviyelerde 0,13; 0,19; 0,14 ve 0,18 korelasyon değerleri görülmektedir. Diğer bir değişken olan bağıl nem ise 1000 ve 925 mb seviyelerinde yağış ile bir ilişkiye sahip değilken geriye kalan seviyelerde 0,14; 0,30; 0,44 ve 0,33'lük pozitif ilişkiye sahiptir. Bulut tepe sıcaklığının yağış ile olan ilişkisi – 0,52 ile en yüksek korelasyona sahiptir. İşte bu sebeple yağışın korelasyon sıralamasında en fazla bulut tepe sıcaklığından etkilendiği anlaşılır.

Şekil 11 ve 12 model ve tahmin değerlerinin birbirine göre saçılma diyagramlarını göstermektedir. Bu diyagramların özelliği model ve tahmin arasındaki uyuşumun nasıl olduğunu göstermesidir. Eğer saçılma noktaları 45ºlik doğrunun etrafında rastgele biçimde dağılırlarsa model yağış olayını ortalama olarak o kadar iyi tahmin etmektedir. Örneğin **Şekil 11**'deki noktaların tümü nerede ise bu 45ºlik diyagramın üzerine düşmektedir. Bu modelin yağışı çok iyi ve tarafsız olarak tahmin ettiğini göstermektedir. Ancak **Şekil 12**'de her ne kadar ortalama olarak 45ºlik doğru etrafında saçılma olmuyorsa da bir bakıma model yağış değerlerini az öngörmektedir yani model taraflıdır. Eğitim aşamasında YSA modeli 1,0 ve tahmin aşamasında ise 0,89 korelasyon değerlerine sahiptir.

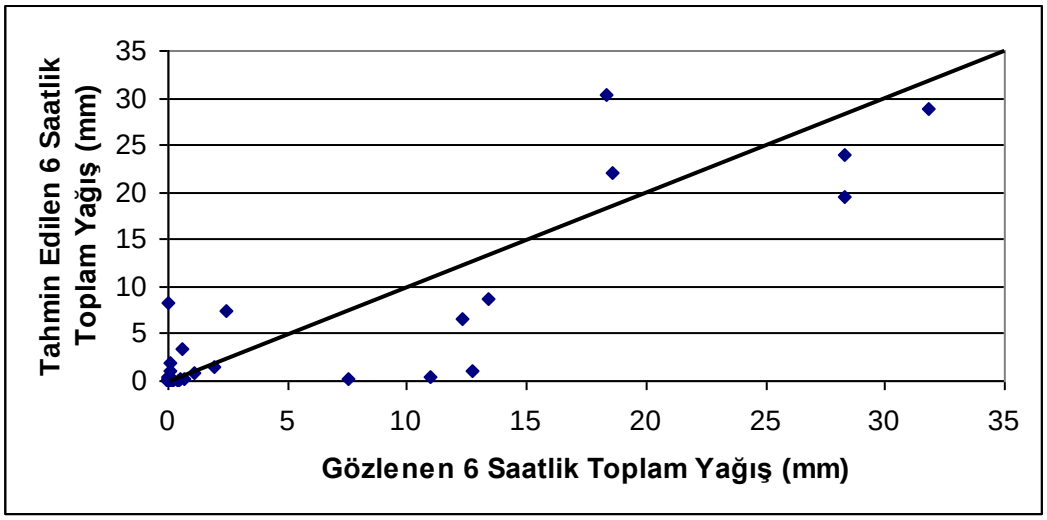
Bu yağışlı günler için eğitim aşamasındaki modelin gerçekleşen tüm yağışlar içerisinde yakaladığı yağışların ölçüsü olan yakalama olasılığı, POD, 0,61'dir. Yağış olmadığı halde modelin yağış verdiği oranı temsil eden yanlış uyarı oranı, FAR, ise 0,27 olarak hesaplanmıştır. Modelin doğru yakaladığı yağışların gözlenen yağışlar ile modelin verdiği yağışların toplamına oranını ifade eden kritik başarı indeksi, CSI, 0,50'dir. Taraflılık, BIAS, 0,83 ve modelin toplamdaki başarı oranı olan isabet oranı, HR, ise 0,84'tür. Tahmin aşamasına gelindiğinde beklendiği gibi korelasyonda bir düşüş görülmektedir. Yukarıda verilen istatistik değerlere göre POD=0,61; FAR=0,30; CSI=0,49; BIAS=0,86 ve HR=0,77 olmaktadır. Sonuç olarak elde edilen tüm istatistiksel değerler bu zaman dilimi içerisinde kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmaktadır [32].

Tablo 4: Meteorolojik değişkenlerin yağış miktarı ile olan ilişki katsayıları

	Seviyeler					
Meteorolojik Değişkenler	**1000 mb**	**925 mb**	**850 mb**	**700 mb**	**600 mb**	**500 mb**
Sıcaklık	0,00	0,01	-0,02	0,06	0,01	0,07
Jeopotansiyel Yükseklik	-0,25	-0,01	-0,15	-0,04	-0,01	-0,01
Düşey Hız Değişkeni	-0,36	-0,14	-0,21	-0,14	-0,19	-0,28
Rüzgarın v Bileşeni	0,11	0,06	0,11	0,35	0,03	0,43
Rüzgarın u Bileşeni	0,05	0,13	0,19	0,14	0,18	-0,02
Bağıl Nem	0,02	0,04	0,14	0,30	0,44	0,33
Bulut Tepe Sıcaklığı	-0,52					



Şekil 11: Modelin eğitim aşamasındaki başarısı



Şekil 12: Modelin tahmin aşamasındaki başarısı

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yeryüzünde kurulu olan yağış ölçer ağlarının hem zaman hem de uzay dağılımının büyük değişkenlikler göstermesi nedeniyle, küçük ölçeklerdeki şiddetli yağışların tahmini zordur ve hava tahmin modelleri de bu zorluk nedeniyle küçük ölçeklerdeki sağanak yağışları yakalayamamaktadır. Günümüzde bu sorunu ortadan kaldırmak için uydulardan elde edilen bilgiler hava tahmin modellerinde girdi olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada 2000 yılı içerisindeki 5-7 Eylül döneminde gözlenen bir konvektif yağışlı olay incelenmiştir. Bu zaman aralığındaki Meteosat 7'nin kızılötesi kanal verisi, çalışma istasyonlarındaki 6 saatlik toplam yağış verisi ve NCEP/NCAR'ın düğüm noktalarına aktarılmış troposferin düşey seviye verileri kullanılmıştır. Geliştirilen bir Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli ile de yağış miktarı tahmin edilmeye ve bu modelin başarısı ölçülmeye çalışılmıştır [32].

Uygulama bölümünde anlatılanlar doğrultusunda görülmektedir ki, bulut tepe sıcaklığı yağış ile troposferin düşey seviye verilerine nazaran daha yüksek oranda ilişkilidir. Bu da, daha önce ifade edilen, konvektif yapılar için bulut tepe sıcaklığının yağış ile anlamlı bir ilişkiye sahip anahtar bir parametre olmasının bir sonucudur. Yapılan örnek uygulamanın sonucunda, modelin başarılı olduğu görülmektedir. Bu durum hesaplanan istatistik değerlerin modelin hem eğitim hem de tahmin aşamaları için kabul edilebilir seviyede olmasından anlaşılmaktadır [32].

Bir modelin yağışı belirleyebilmesinin yanında aynı zamanda yağışın olmayacağını da tahmin edebilmesinin önemli olması dolayısıyla, yapılan bu çalışmada yağışın olmadığı ve olduğu durumların ayıklanması yapılmayıp, aksine yağışlı ve yağışsız tüm veriler sisteme sokulmuştur. Kurulan bu YSA mimarisinin başarısız kaldığı durumlarda bu tür

ayrımlara gidilerek sonuçlar iyileştirilebilir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan düğüm noktası verilerinin çözünürlüğü 2.5º yerine daha yüksek olarak alındığı takdirde, buradan gelecek troposferin düşey seviye verilerinin yağış ile olan ilişkisinin yükseltilebileceği görülebilir. Verinin düğüm noktalarından istasyonlara taşınması için bu çalışmada kullanılan ters mesafe kareleri yaklaşımı ilgili değişkenin istasyona aktarılmasındaki ayarlamayı ifade eden bir takım sabit değerler ile geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Çalışma alanı içerisindeki istasyon sıklığı ne kadar fazla ise model de o kadar başarılı olacaktır. Buradan hareketle sonraki çalışmalar için istasyon sıklığı arttırılmalıdır [32].

KAYNAKLAR

[1] **Reudenbach, C., Heinemann, G., Heuel, E., Bendix, J. ve Winiger, M.,** (2001). Investigation of summertime convective rainfall in Western Europe based on a synergy of remote sensing data and numerical models, *Meteorology and Atmospheric Physics*, **76**, 23-41.

[2] **Boi, P., Marrocu, M. ve Giachetti, A.,** (2004). Rainfall estimation from infrared data using an improved version of the Auto-Estimator Technique, *International Journal of Remote Sensing*, **25**, 4657-4673.

[3] **Feidas, H., Lagouvardos, K., Kotroni, V. ve Cartalis, C.,** (2005). Application of three satellite techniques in support of precipitation forecasts of a NWP model, *International Journal of Remote Sensing*, **26**, 5393-5417.

[4] **Levizzani, V., Schmetz, J., Lutz, H., Kerkmann, J., Alberoni, P.P. ve Cervino, M.,** (2001). Precipitation estimations from geostationary orbit and prospects for Meteosat second generation, *Meteorological Applications*, **8**, 23–41.

[5] **Desbois, M., Kayiranga, T. ve Gnamien, B.,** (1989). Diurnal cycle of convective cloudiness over tropical Africa observed from Meteosat: Geographic characterization and interannual variations, *Ann. Geophys.*, **7**, 395–404.

[6] **New, M., Todd, M., Hulme, M. ve Jones, P.,** (2001). Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *International Journal of Climatology*, **21**, 1899–1922.

[7] **Levizzani, V., Amorati, R. ve Meneguzzo, F.,** (2002). A review of satellite-based rainfall estimation methods. *MUSIC, www.isao.bo.cnr.it/meteosat/papers/MUSIC-RepSat-Precip-6.1.pdf.*

[8] **Adler, R.F. ve Negri, A.J.,** (1993). Estimation of monthly rainfall over Japan and surrounding waters from a combination of low-orbit microwave and geosynchronous IR data, *Journal of Applied Meteorology*, **32**, 335–356.

[9] **Tarruella, R. ve Jorge, J.,** (2003). Comparison of three infrared satellite techniques to estimate accumulated rainfall over the İberian Peninsula, *International Journal of Climatology*, **23**, 17571769.

[10] **Şensoy, S.,** (2006), Türkiye iklimi, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, DMİ, Ankara, www.meteor.gov.tr

[11] **Mert, İ.,** (2005). *OpenMTP kodlu Meteosat 7 uydu verisinin çözüm ve görünteleme proramı*, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

[12] **McCann, D.W.,** (1992). A neural network short-term forecast of significant thunderstorms, *Weather Forecasting*, **7**, 525-534.

[13] **Bankert, R.L. ve Aha, D.W.,** (1996). Improvement to a neural network cloud clasifier, *Journal of Applied Meteorology*, **35**, 2036-2039.

[14] **Marzban, C. ve Stumpf, G.J.,** (1996). A neural network for tornado prediction based on Doppler radar-derived attributes, *Journal of Applied Meteorology*, **35**, 617-626.

[15] **Miller, S.W. ve Emergy, W.J.,** (1997). An automated neural network cloud classifier for use over land and ocean surface, *Journal of Applied Meteorology*, **36**, 1346-1362.

[16] **Marzban, C. ve Stumpf, G.J.,** (1998). A neural network for damaging wind prediction, *Weather Forecasting*, **13**, 151-163.

[17] **Sönmez, İ. ve Şen, Z.,** (1998). Artificial neural network approach for natural atmospheric event dynamics and application in meteorology, *2nd International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems – IMS'98,* **1**, 325-332, Sakarya.

[18] **Hall, T., Brooks, H.E. ve Doswell C.A.,** (1999). Precipitation forecasting using a neural network, *Weather Forecasting*, **14**, 338-345.

[19] **Wu, X., Hongxing, C., Flitman, A., Fengying, W. ve Guolin, F.,** (2001). Forecasting monsoon precipitation using artificial neural networks, *Adv. Atmos. Sci.*, **18**, 951-958.

[20] **Applequist, S., Gahrs, G.E. ve Pfeffer, R.L.,** (2002). Comparison of methodologies for probabilistic quantitative precipitation forecasting, *American Meteorological Society*, **17**, 783-799.
[21] **Tatlı, H.,** (2004). New statistical downscaling methods and applications of Turkey, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
[22] **Feng, Y. ve Kitzmiller, D.H.,** (2006). A short range quantitative precipitation forecast algorithm using back-propagation neural network approach, *Advance in Atmosheric Sciences*, **23**, 405-414.
[23] **Öztopal, A.,** (2006). Artificial neural network approach to spatial estimation of wind velocity data, *Energy Conversion and Management*, **47,** 4, 395-406.
[24] **Haykin, S.,** (2001). *Kalman filtering and neural networks*, Wiley, New York.
[25] **Şen, Z.,** (2004). *Yapay sinir ağları ilkeleri*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
[26] **Yurtoğlu, H.,** (2005). Yapay sinir ağları metodolojisi ile öngörü modellemesi: Bazı makroekonomik değişkenler için Türkiye örneği, *Uzmanlık Tezi,* DPT, Ankara.
[27] **Çakar T.,** 1997. İmalat sistemlerinin tasarlanması ve öncelik kurallarının belirlenmesinde yapay sinir ağları kullanılması, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
[28] **Wilks, D.S.,** (1995). *Statistical methods in atmospheric sciences*, New York: Academic Press.
[29] **Davis, J.,** (1986). *Statistic and data analysis in geology*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
[30] **Blueistein, H.B.,** (1993). *Synoptic–dynamic meteorology in midlatitudes*, Oxford University Press, Oxford.
[31] **Saucier, W.J.,** (2003). *Principle of meteorological analysis*, Dover Publications.
[32] **Öztopal, A.,** (2007). Uydu ve yer kaynaklı meteorolojik değişkenlerle kısa vadeli yağış için yapay sinir ağı yaklaşımı, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Erzurum Havalimanında Sis Oluşumu ve Havacılığa Olumsuz Etkisi

Gülru Madan
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
12. Bölge Müdürlüğü
Erzurum
gulru.madan@gmail.com

ÖZET

Doğu Anadolu Bölgesi yer şekilleri bakımından dağlarla kaplı bir bölge olmakla beraber, Erzurum'daki havalimanının ise bataklık kurutma çalışmaları sonucunda oluşan arazi üzerine yapıldığı bunun sonucunda özellikle kış aylarında sis gün sayısının oldukça fazla olmakta, bu da uçak seferlerini (rötarlı kalkış – kalkış ve iniş) etkilemektedir. Bu çalışmada kış aylarındaki yoğun sisli gün sayıları çıkartılıp, o günlerdeki sis oluşum saatleri, saatlik yatay görüş mesafeleri, saatlik bağıl nem, saatlik işba sıcaklığı, saatlik basınç değerleri, saatlik sıcaklık ve saatlik rüzgar değerleri üzerinden o gün ve saatlerdeki sis oluşum nedenlerini uydu verileri ile desteklenerek havacılığa olumsuz etkileri araştırılmıştır.

1. GİRİŞ

Atmosferik su buharının çok küçük su damlacıkları şeklinde yoğunlaşarak yerde yatay görüşü 1000 metrenin altına düşürecek şekilde bulut oluşturmasıdır. Yoğun siste görüş uzaklığı 200 metrenin altına düşer.
Sisin oluşmasında temel faktörler; yerin soğuk olması, yükseklikle sıcaklığın artması, yere temas eden havanın soğuyarak yoğunlaşması ve su buharının gözle görülür hale gelmesidir.
Atmosferik kararlığın sonucu 3 çeşit sis vardır:

- Radyasyon sisi
- Adveksiyon sisi
- Yamaç sisi

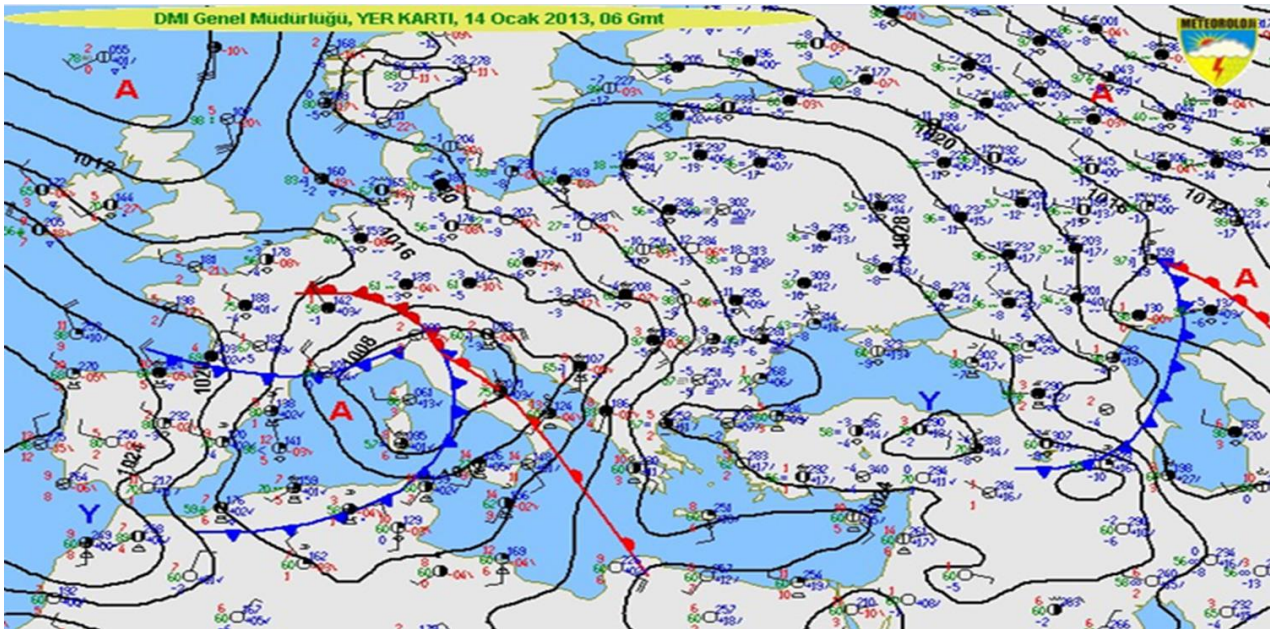
İyi gelişmiş bir sıcaklık enversiyonu veya izotermal tabaka var ise ve bu oluşumda enversiyonu tabanı toprağa çok yakın veya toprakta ise aşağılarda hava yeterince nemli bir stratus tabakası oluşturacaktır. Stratus tabakasının tepesi ise enversiyonu tabanıdır. Bu nedenle sis oluşumu ile enversiyonu olayını iç içe görmek mümkündür. Sis ve enversiyonu olayının en önemli özelliği, dünya yüzeyi ile temas eden havanın soğuması sonucunda meydana gelmesidir.

2. ERZURUM HAVALİMANI

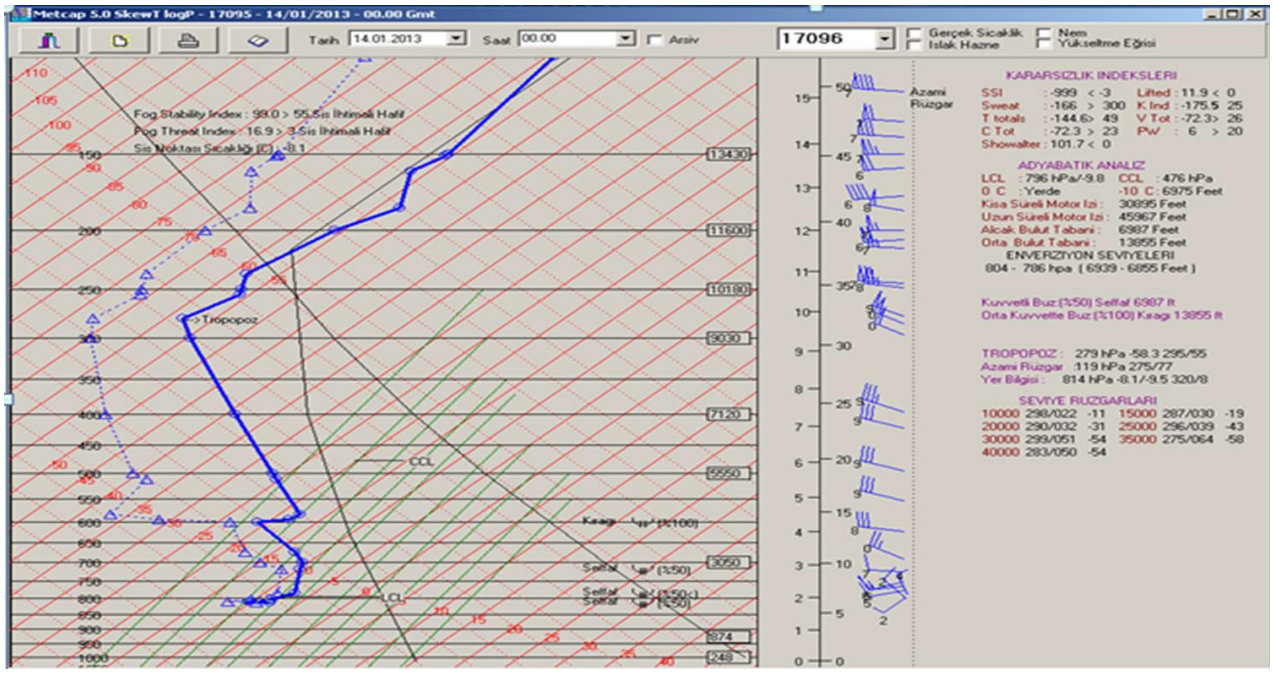
Erzurum dağlarla çevrili çanak şeklinde ova olup Karasu Hidrografik Havzasında olup havalimanın ve çevresinin bulunduğu alan Karasu bataklıkları olarak geçmektedir. Özellikle kış aylarında kar örtüsü ve uygun şartların oluşumu ile yoğun olarak sis yaşanmaktadır. Sis genellikle donmuş sis olarak görüldüğü için bu da uçuş seferlerini olumsuz etkilemekte ve seferlerin rötarlı ya da iptal olmasına neden olmaktadır. Sisin görülüğü aylar Aralık, Ocak, Şubat'tır. Ocak ayında sisli gün sayısı 12 iptal edilen sefer sayısı 20, Şubat ayında sisli gün sayısı 27 iken iptal edilen sefer sayısı 16'dır.

Tablo 1. 14 Ocak 2013 Meteorolojik Parametreler

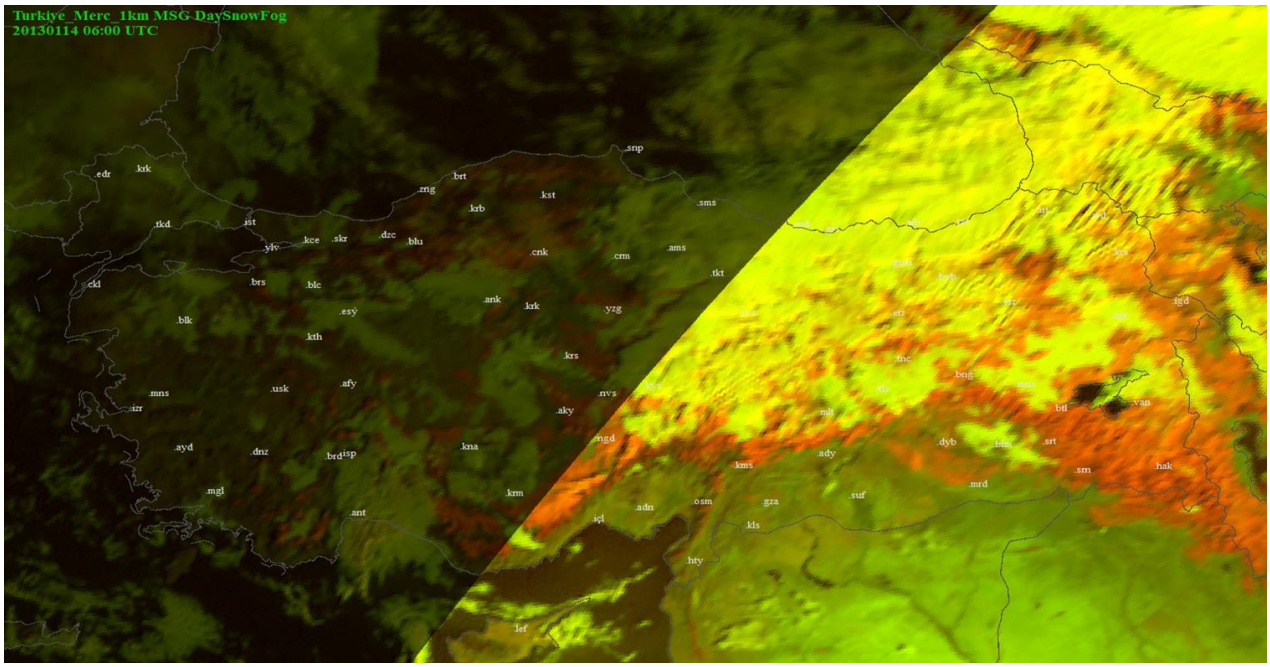
Gün	Saat	Rüyet(m)	Rüzgar(kt)	Nem %	İşba°	Sıcaklık°	Basınç(mb)
14 ocak 2013	00:20-10:20	200	0-2	96-100	-10,3/-8,3	-9,8/-7,7	1021,5/1022



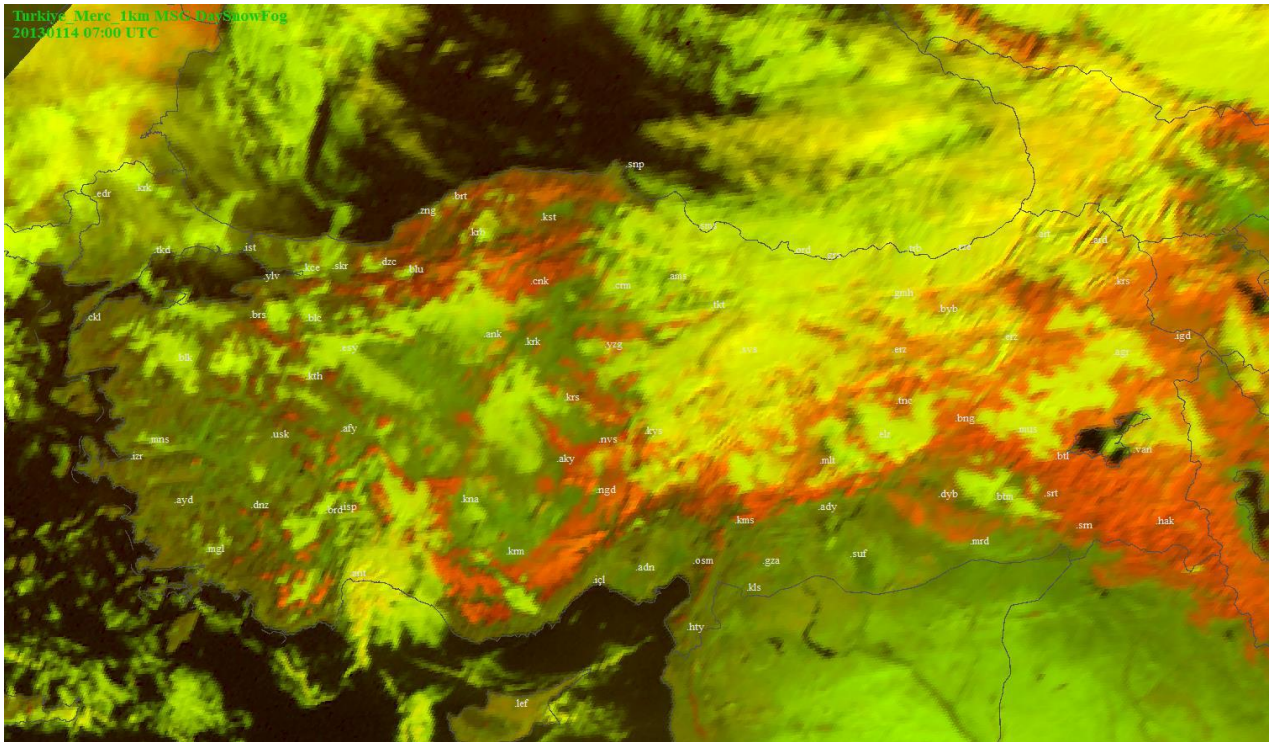
Şekil 1. 14 Ocak 2013 Yer Kartı



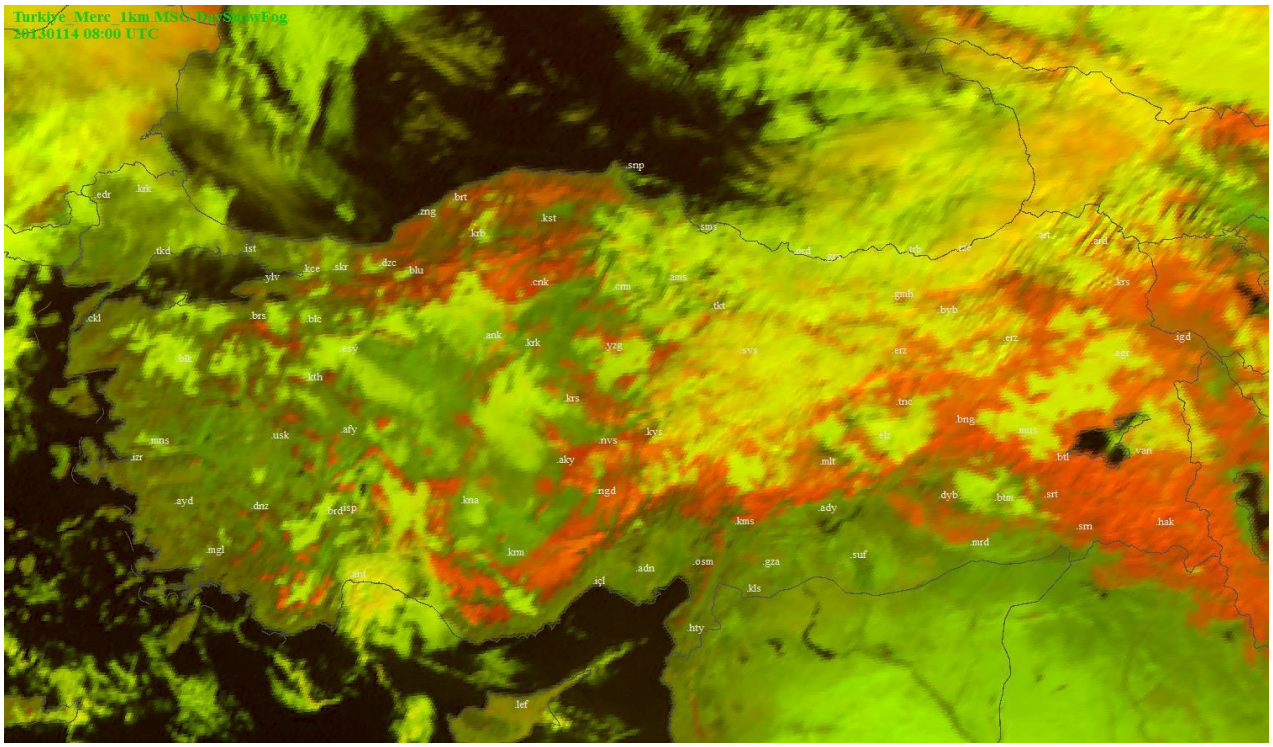
Şekil 2. 14 Ocak 2013 Skew T Log P



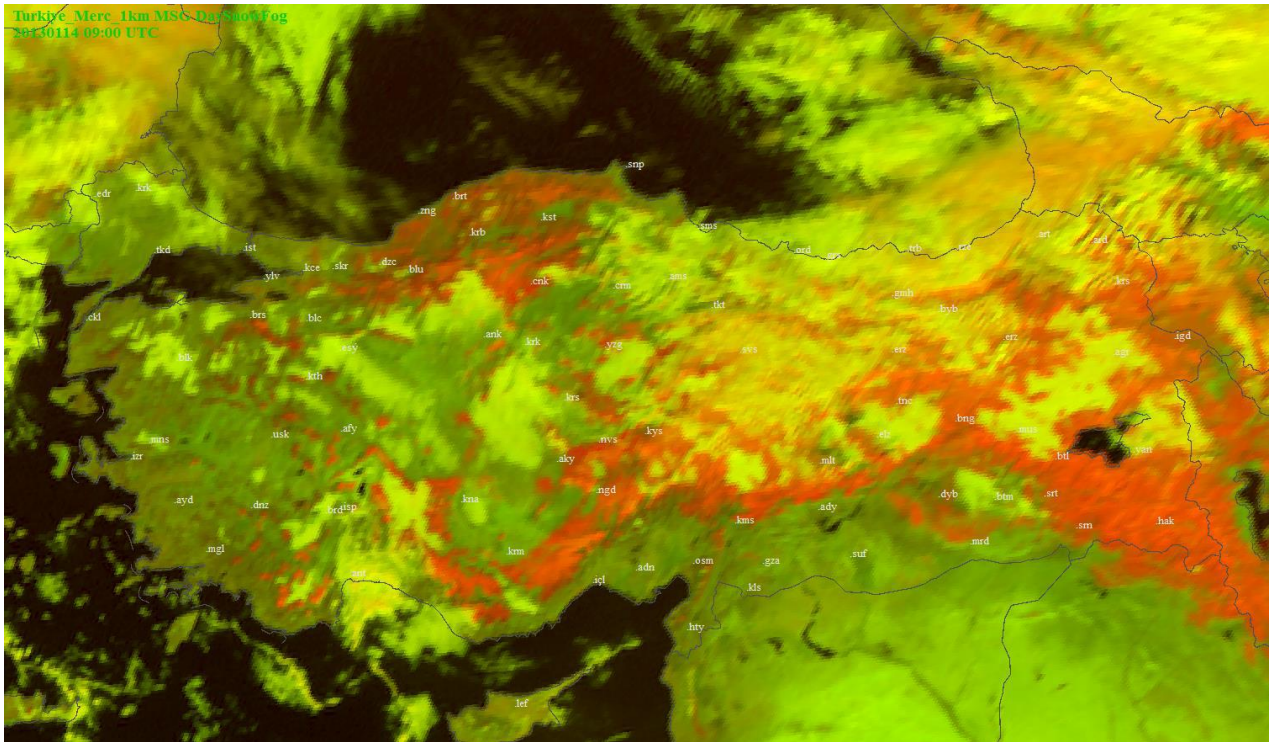
Şekil 3. 14 Ocak 2013 06:00 UTC Uydu Verileri



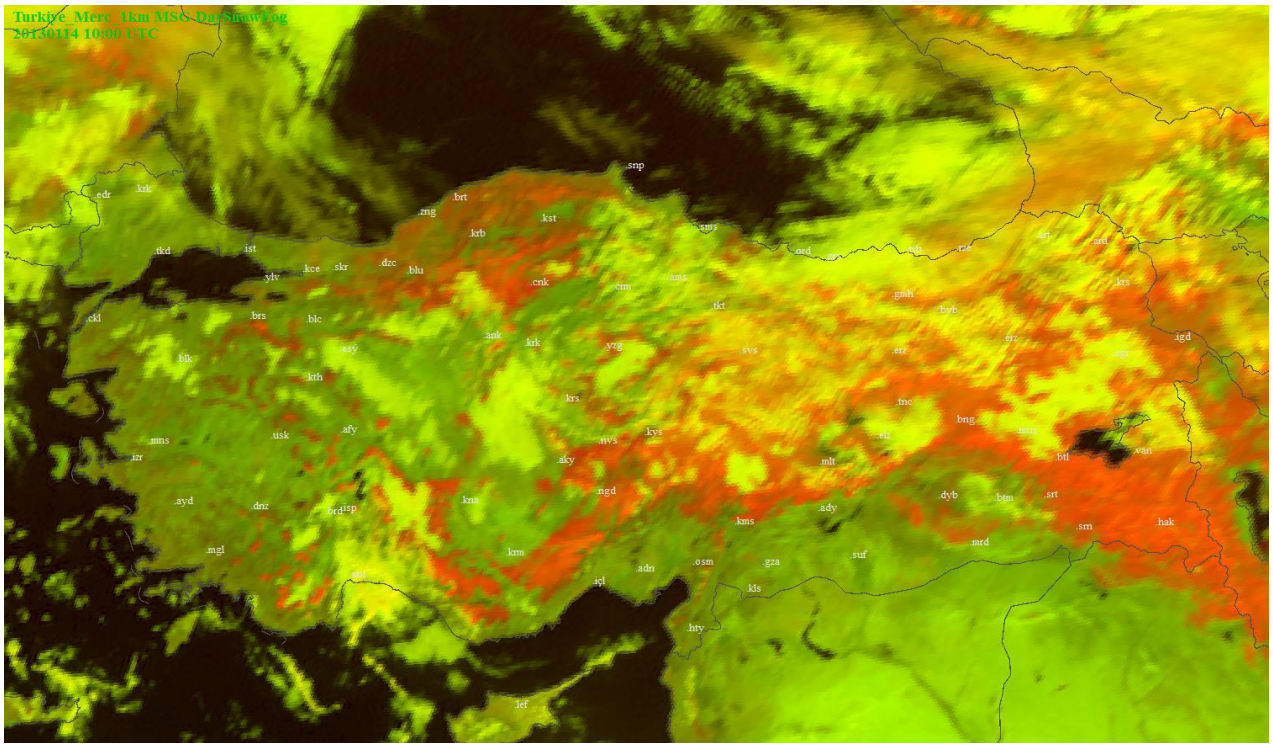
Şekil 4. 14 Ocak 2013 07:00 UTC Uydu Verileri



Şekil 5. 14 Ocak 2013 08:00 UTC Uydu Verileri



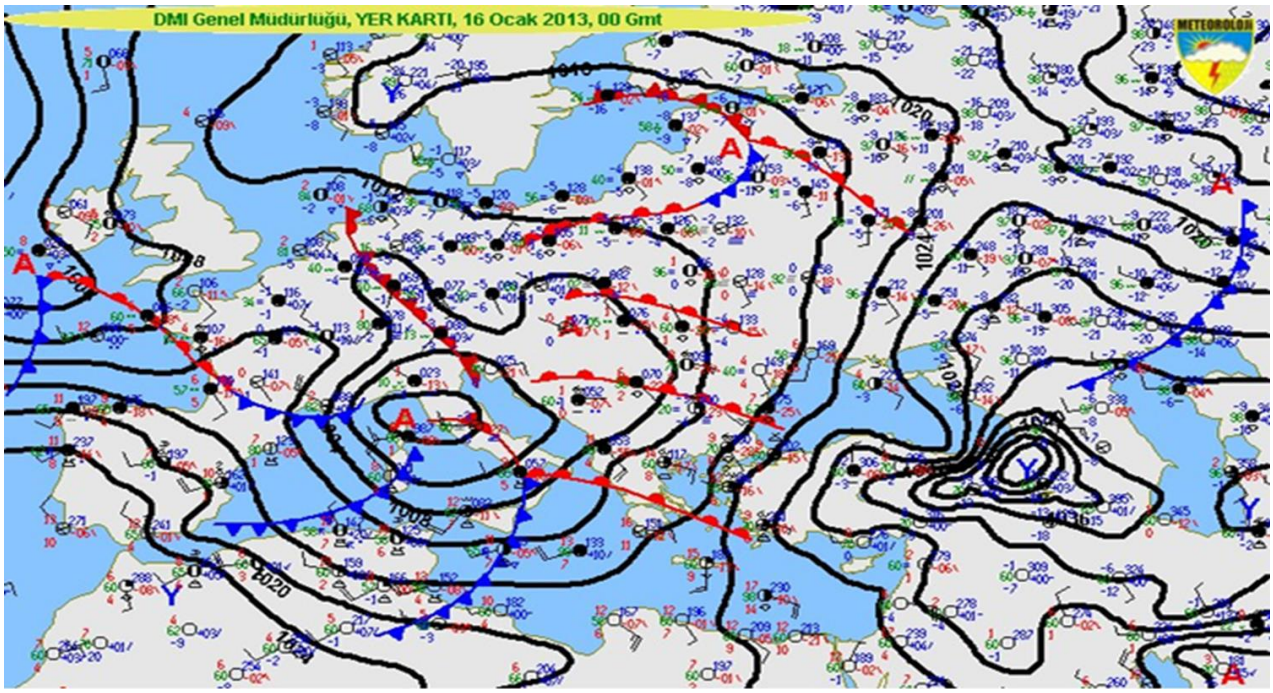
Şekil 6. 14 Ocak 2013 09:00 UTC Uydu Verileri



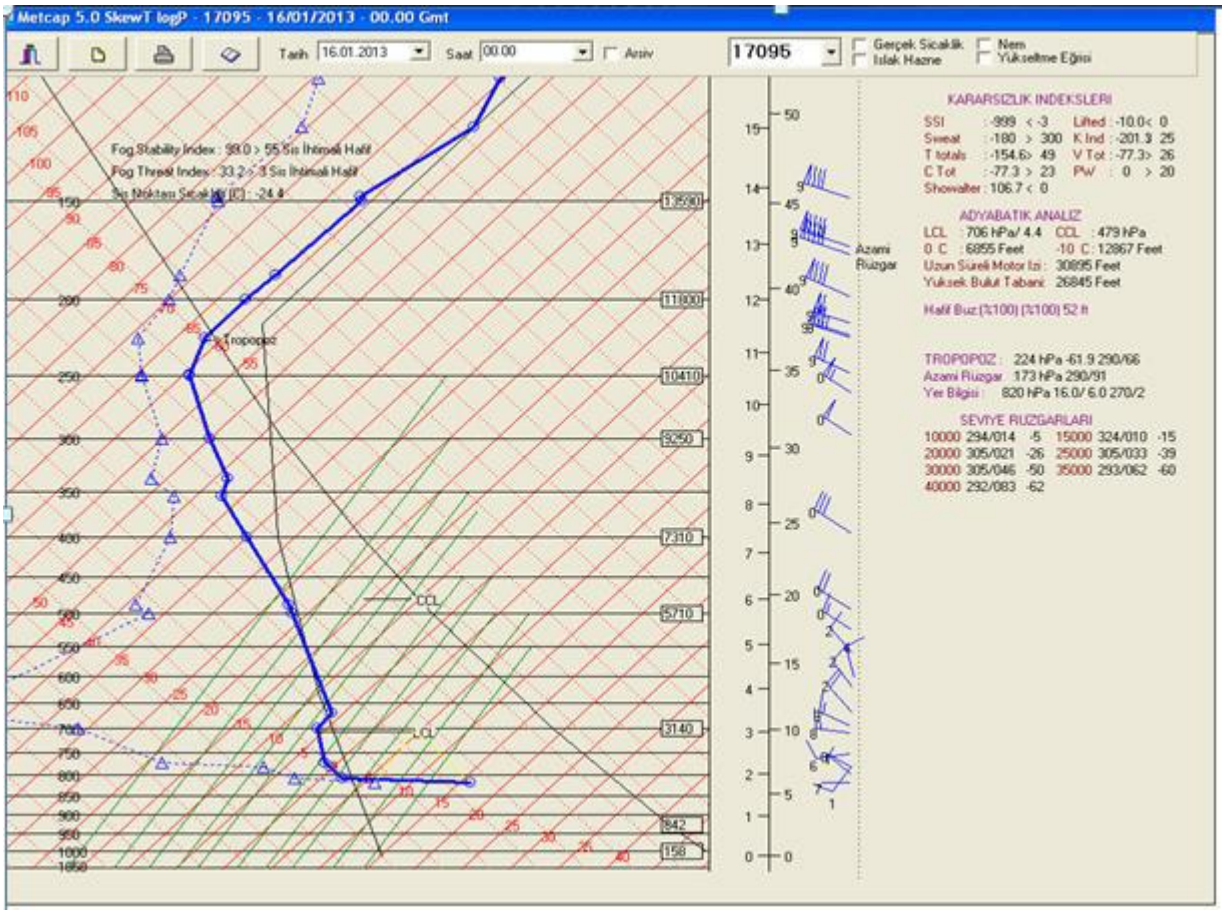
Şekil 7. 14 Ocak 2013 10:00 UTC Uydu Verileri

Tablo 2. 16 Ocak 2013 Meteorolojik Parametreler

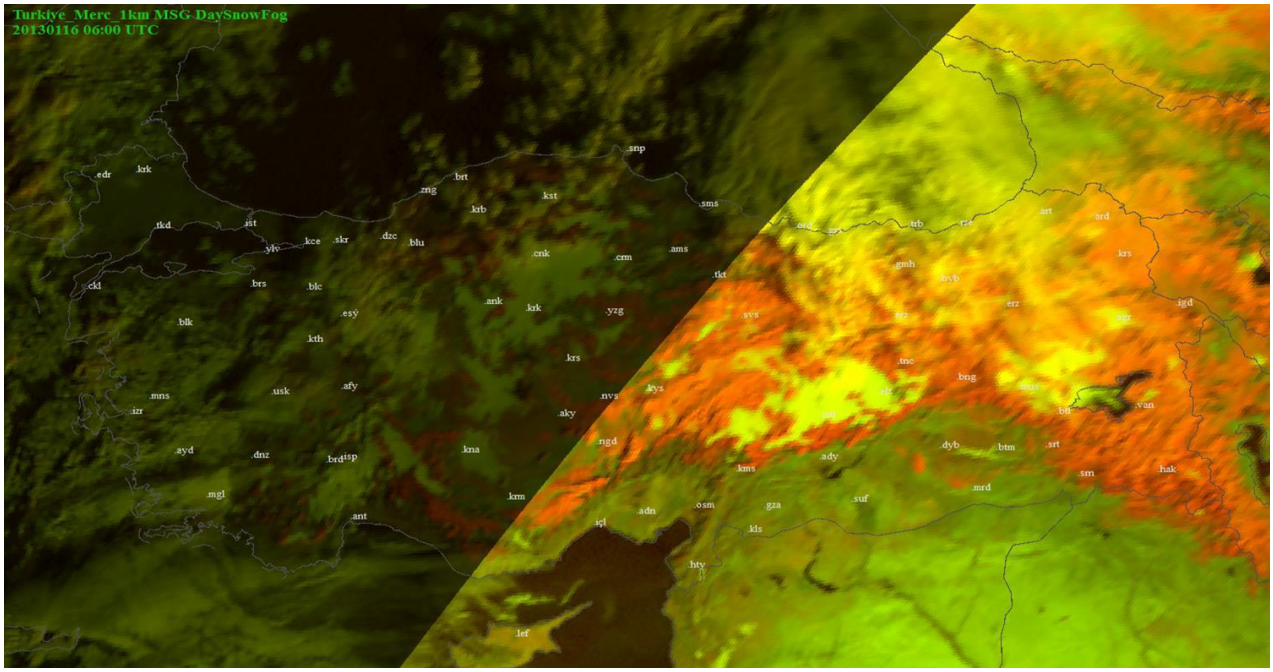
Gün	Saat	Rüyet(m)	Rüzgar(kt)	Nem %	İşba°	Sıcaklık°	Basınç(mb)
16 ocak 2013	00:20-07:20	300-800	0-	80-81	-27,6/-26	-26,7/-24,8	1030,2/1029,4



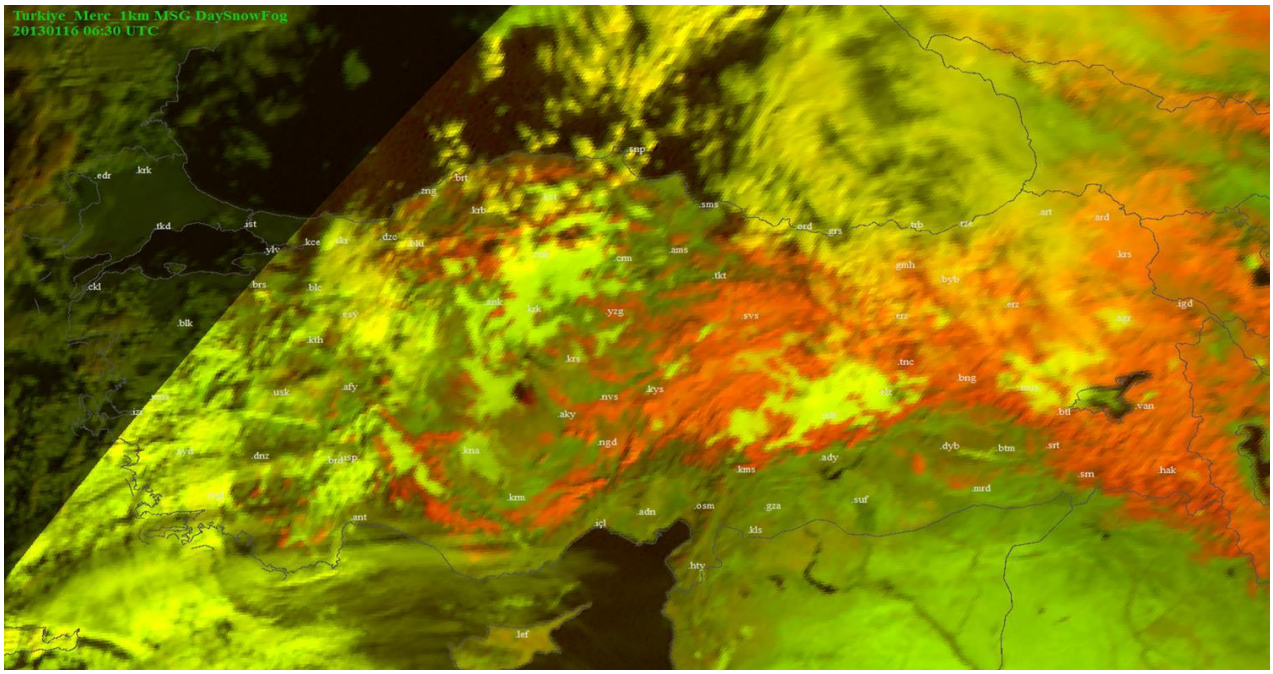
Şekil 8. 16 Ocak 2013 Yer Kartı



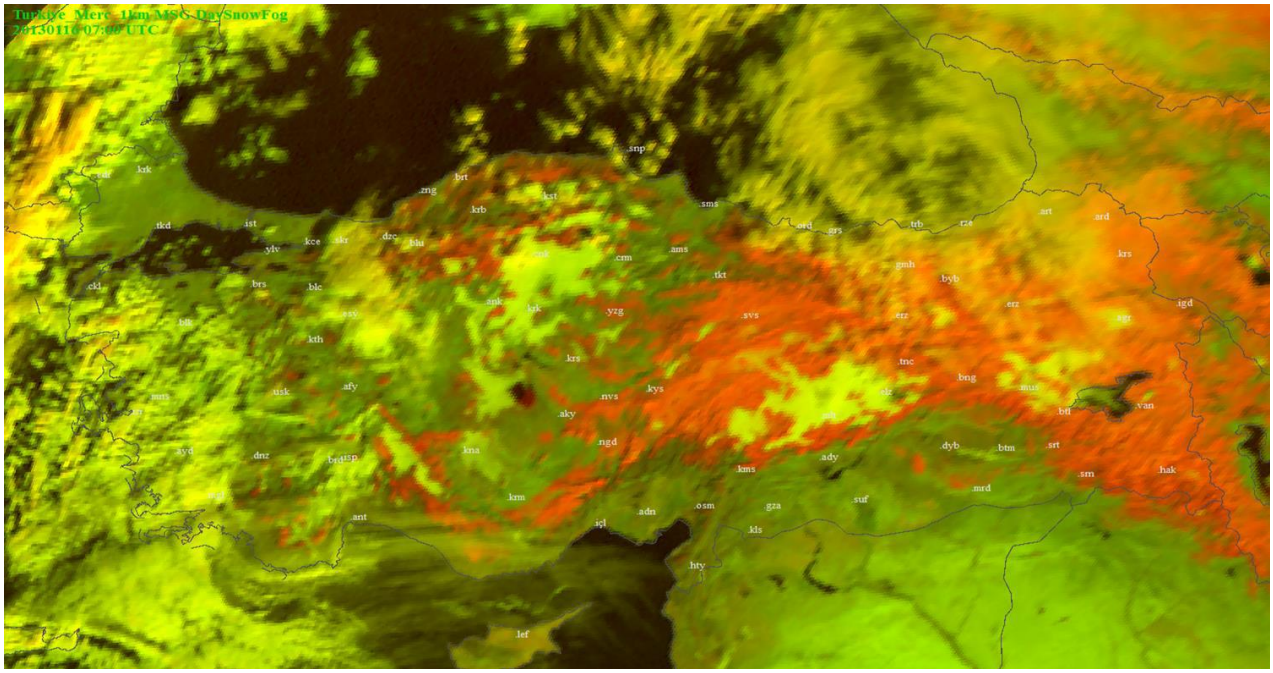
Şekil 9. 16 Ocak 2013 Skew T Log P



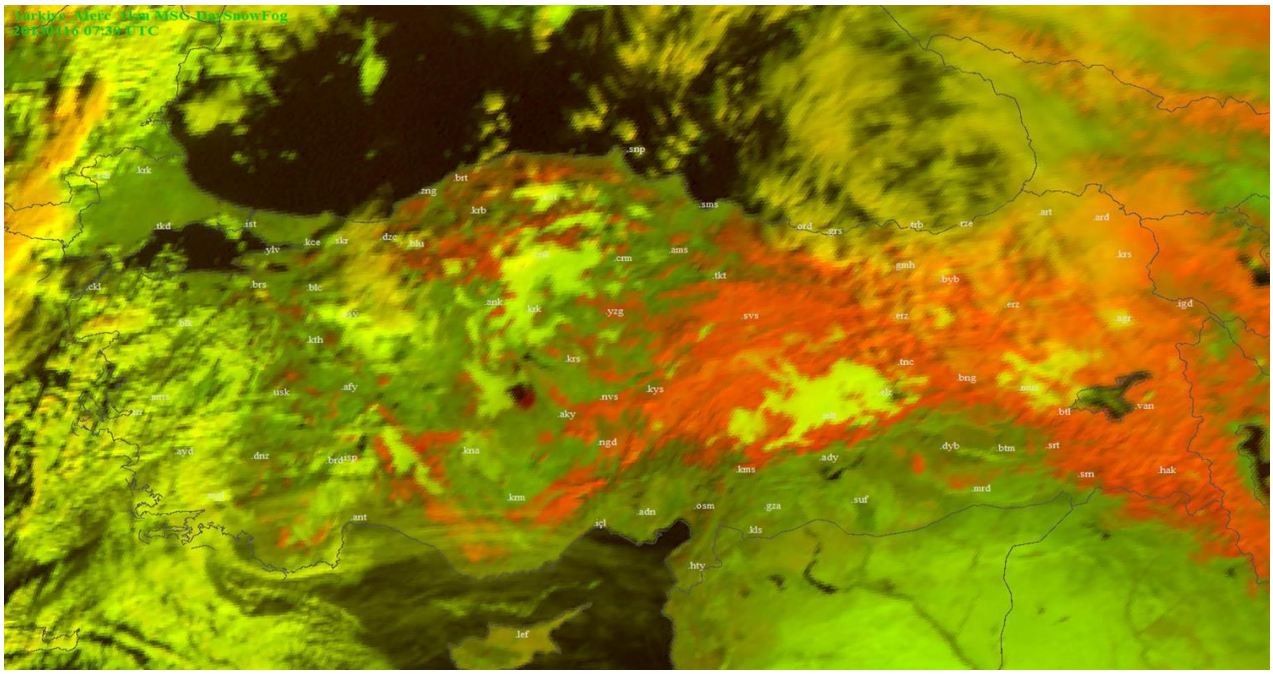
Şekil 10. 16 Ocak 2013 06:00 UTC Uydu Verileri



Şekil 11. 16 Ocak 2013 06:30 UTC Uydu Verileri



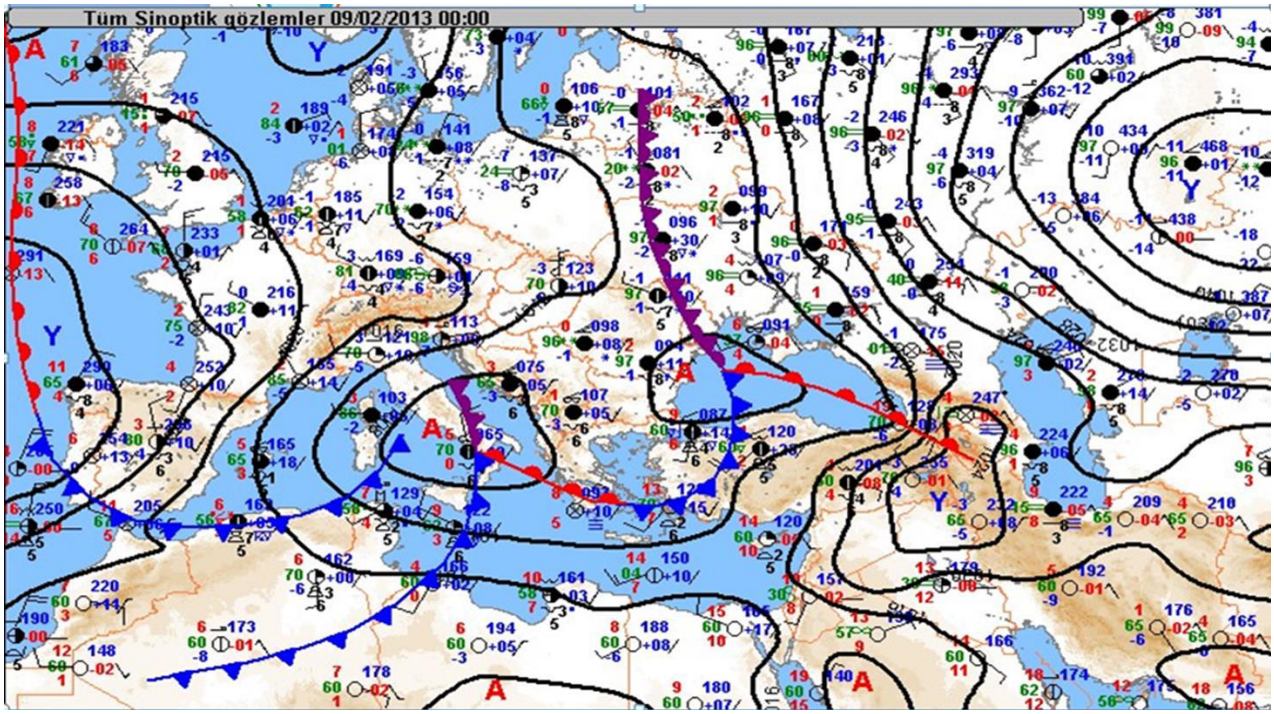
Şekil 12. 16 Ocak 2013 07:00 UTC Uydu Verileri



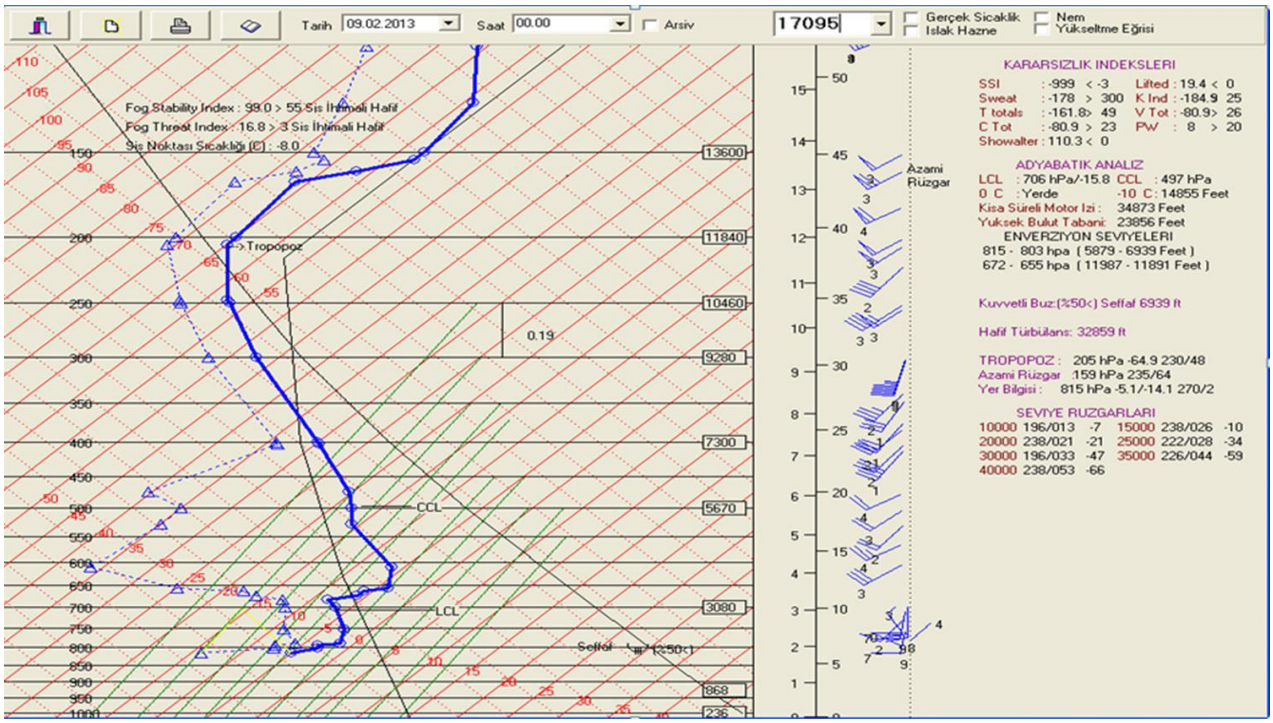
Şekil 13. 16 Ocak 2013 07:30 UTC Uydu Verileri

Tablo 3. 9 Şubat 2013 meteorolojik parametereler.

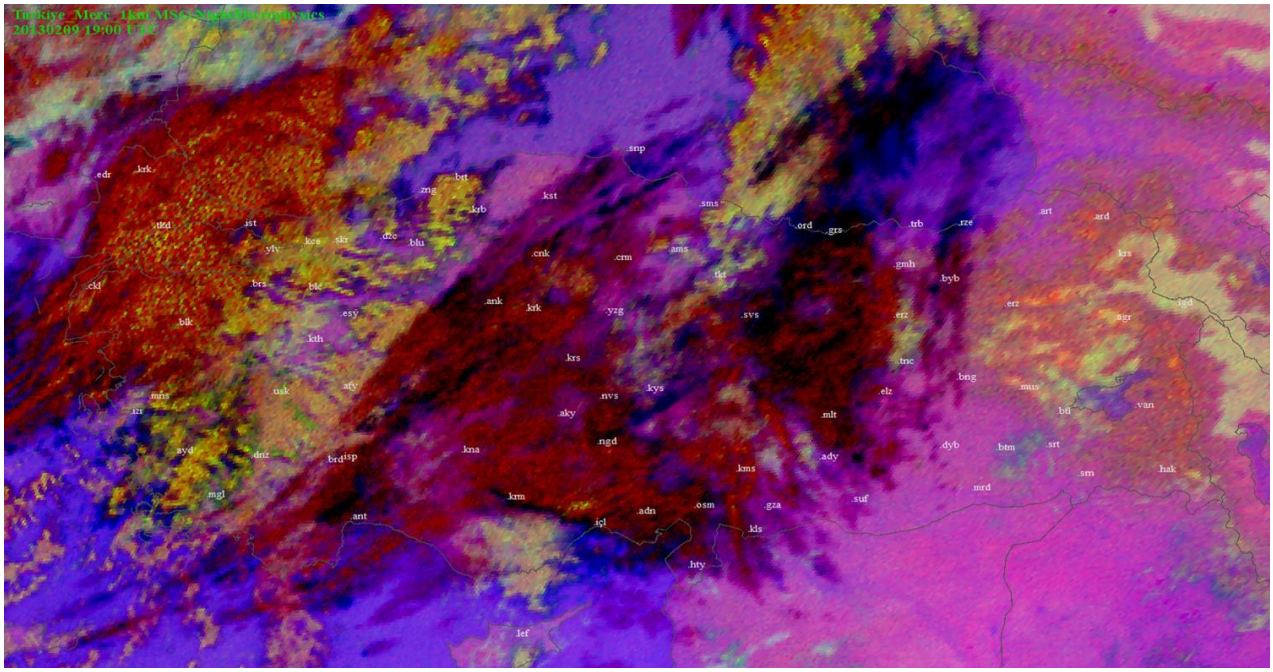
Gün	Saat	Rüyet(m)	Rüzgar(kt)	Nem %	İşba°	Sıcaklık°	Basınç(mb)
9 şubat 2013	19:00-23:50	550-800	4-1	95-94	-12,2/-13,8	-11,6/-13,1	1022,7/1022,3



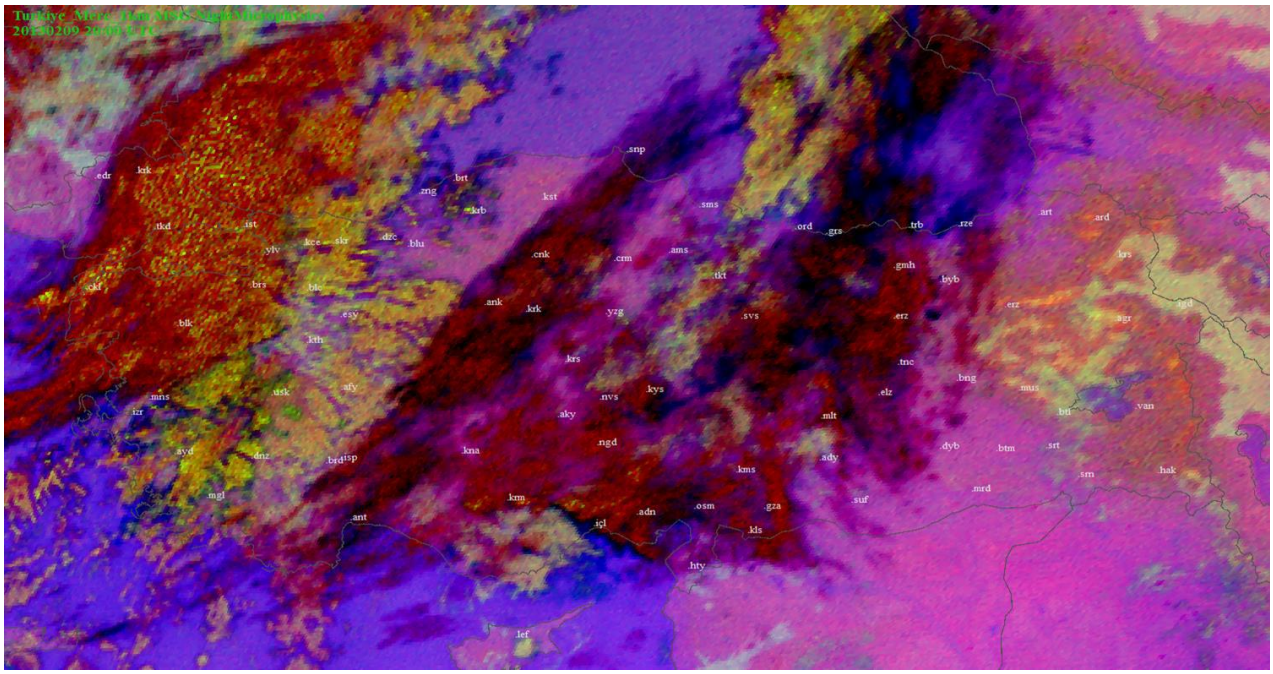
Şekil 14. 9 Şubat 2013 Yer Kartı



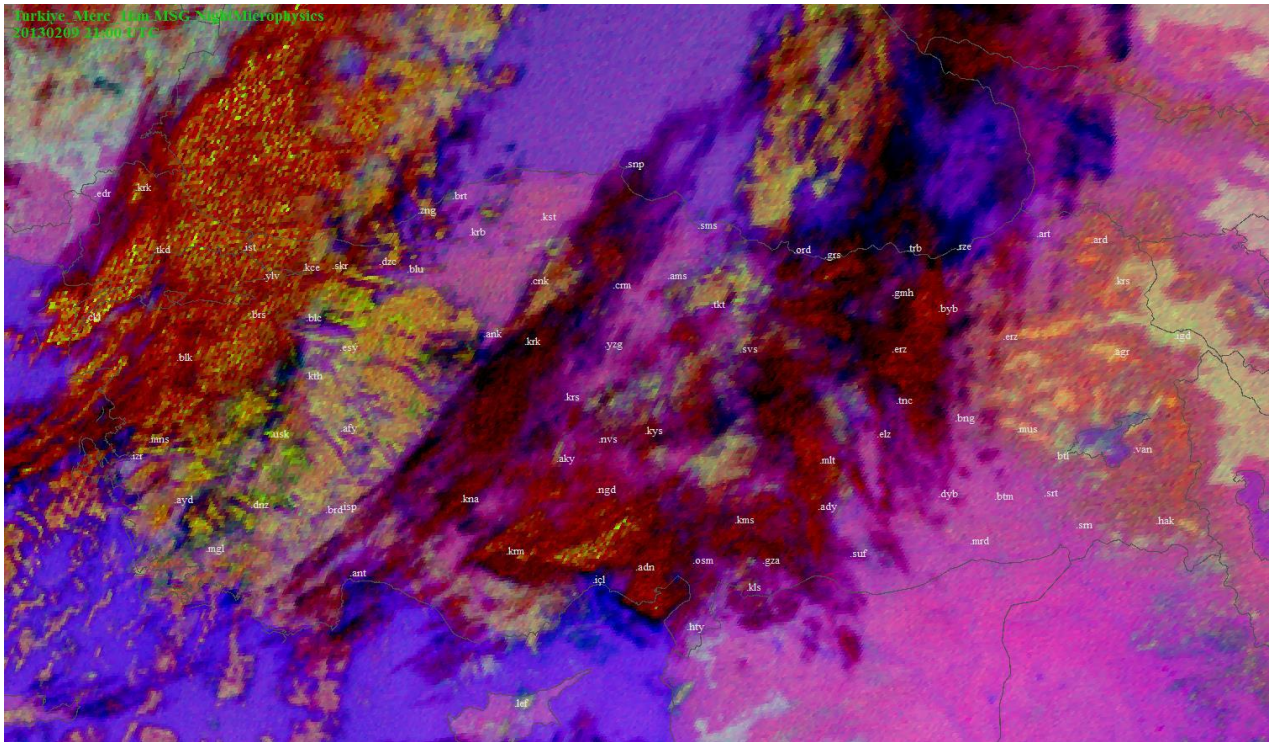
Şekil 15. 9 Şubat 2013 Skew T Log P



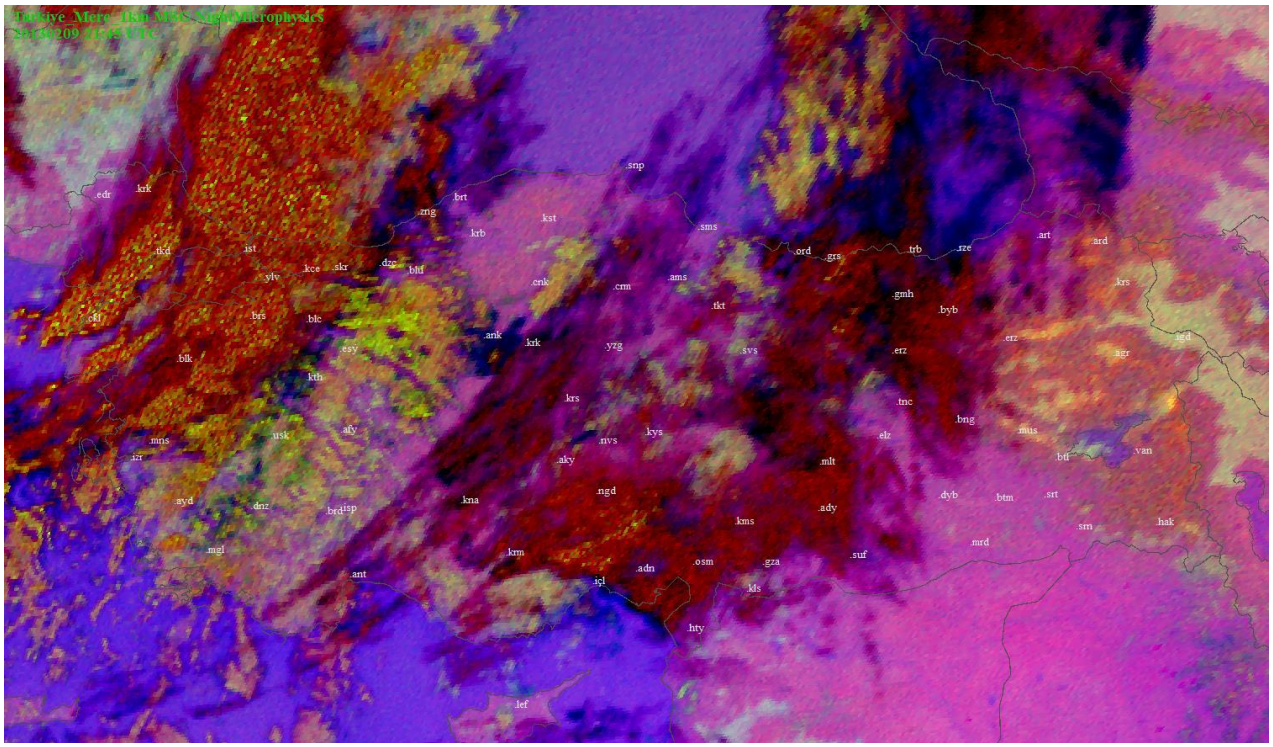
Şekil 16. 9 Şubat 2013 19:00 UTC Uydu Verileri



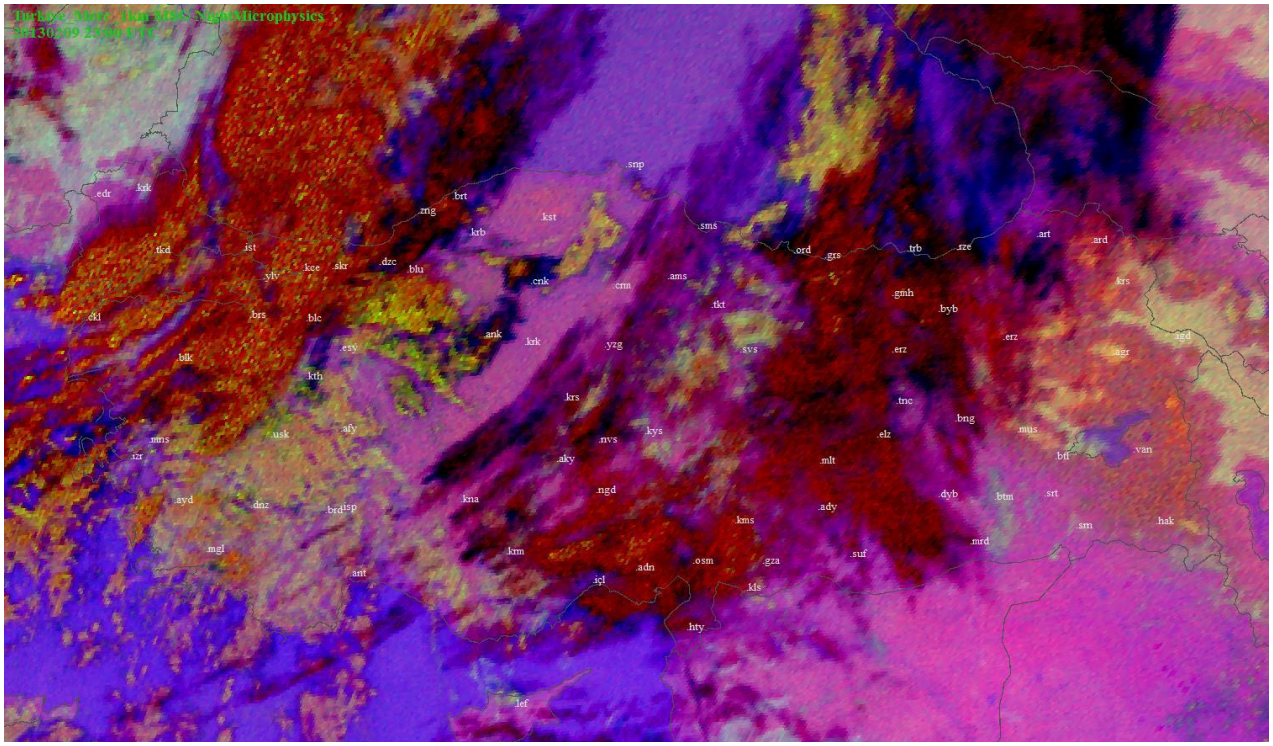
Şekil 17. 9 Şubat 2013 20:00 UTC Uydu Verileri



Şekil 18. 9 Şubat 2013 21:00 UTC Uydu Verileri



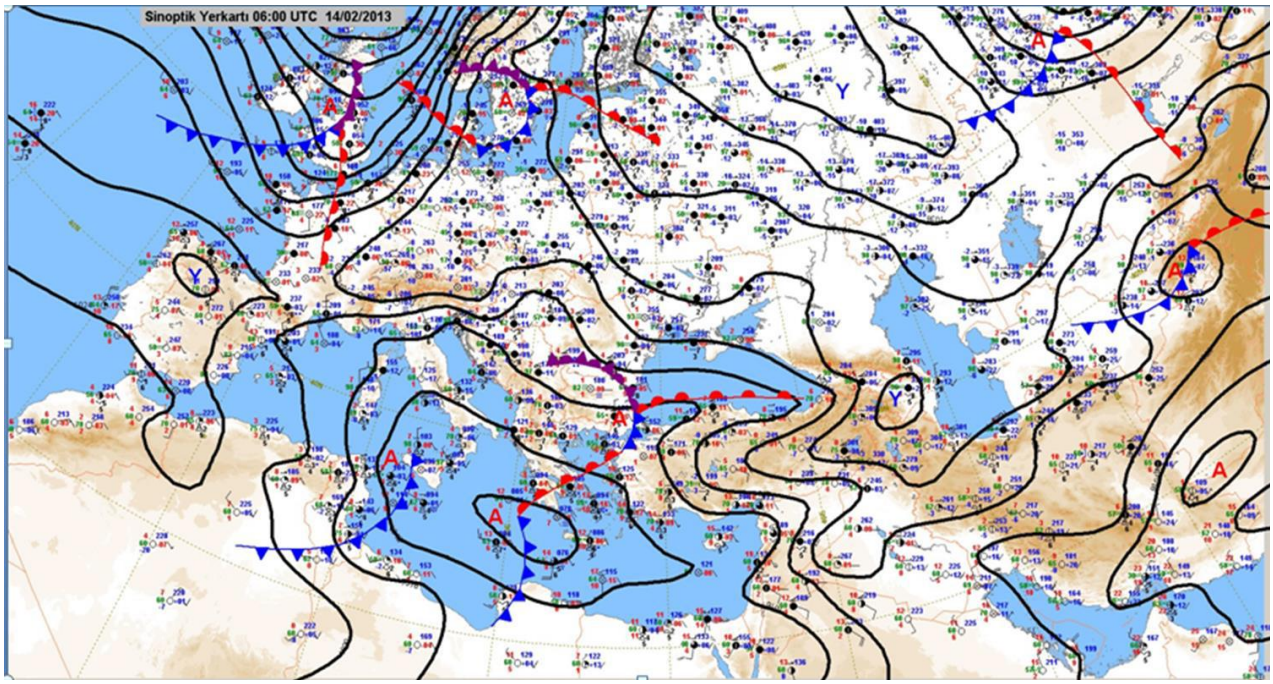
Şekil 19. 9 Şubat 2013 21:45 UTC Uydu Verileri



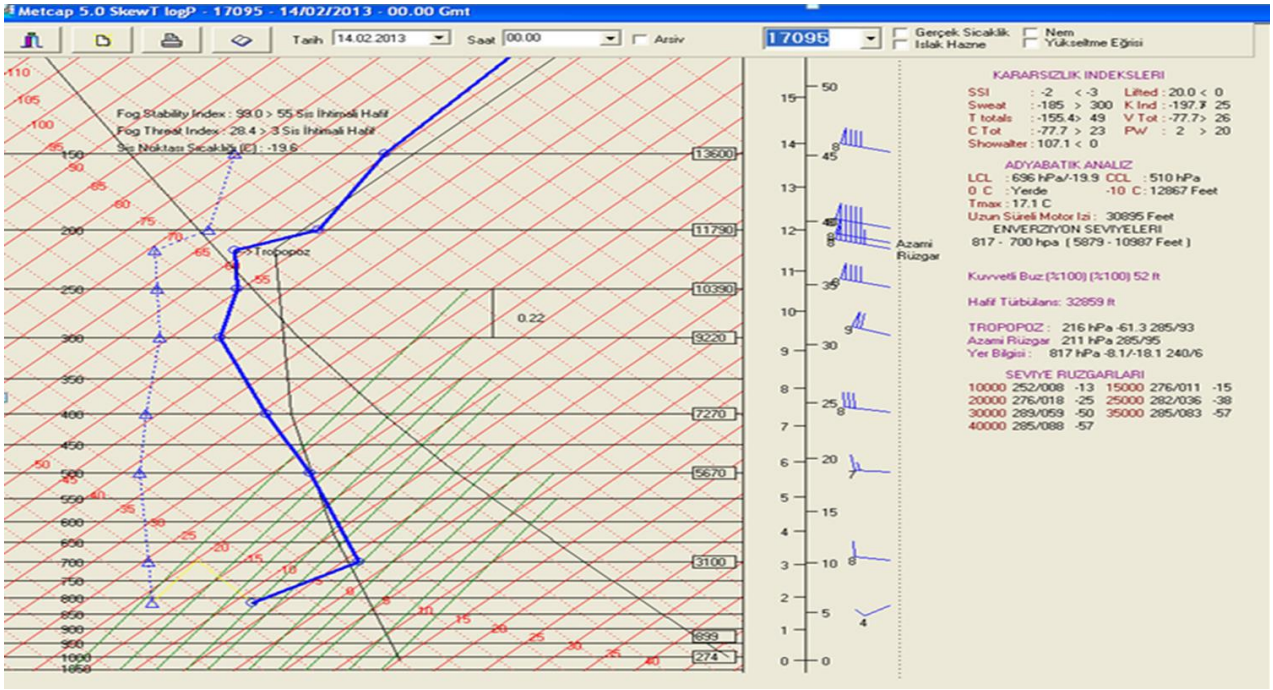
Şekil 20. 9 Şubat 2013 23:00 UTC Uydu Verileri

Tablo 4. 14 Şubat 2013 Meteorolojik Parametreler

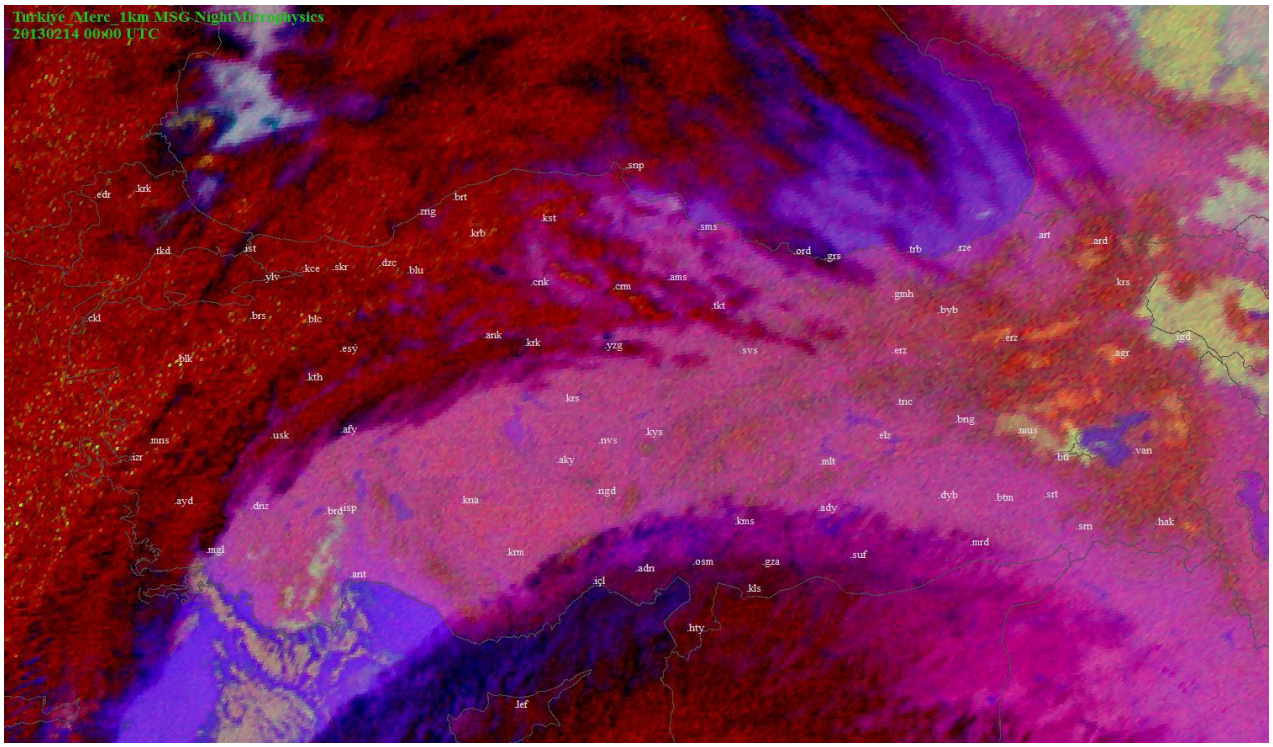
Gün	Saat	Rüyet(m)	Rüzgar(kt)	Nem %	İşba°	Sıcaklık°	Basınç(mb)
14 şubat 2013	00:20-06:50	300	0	87-89	-22/-19,5	-20,5/-18,3	1025,7/1025,8



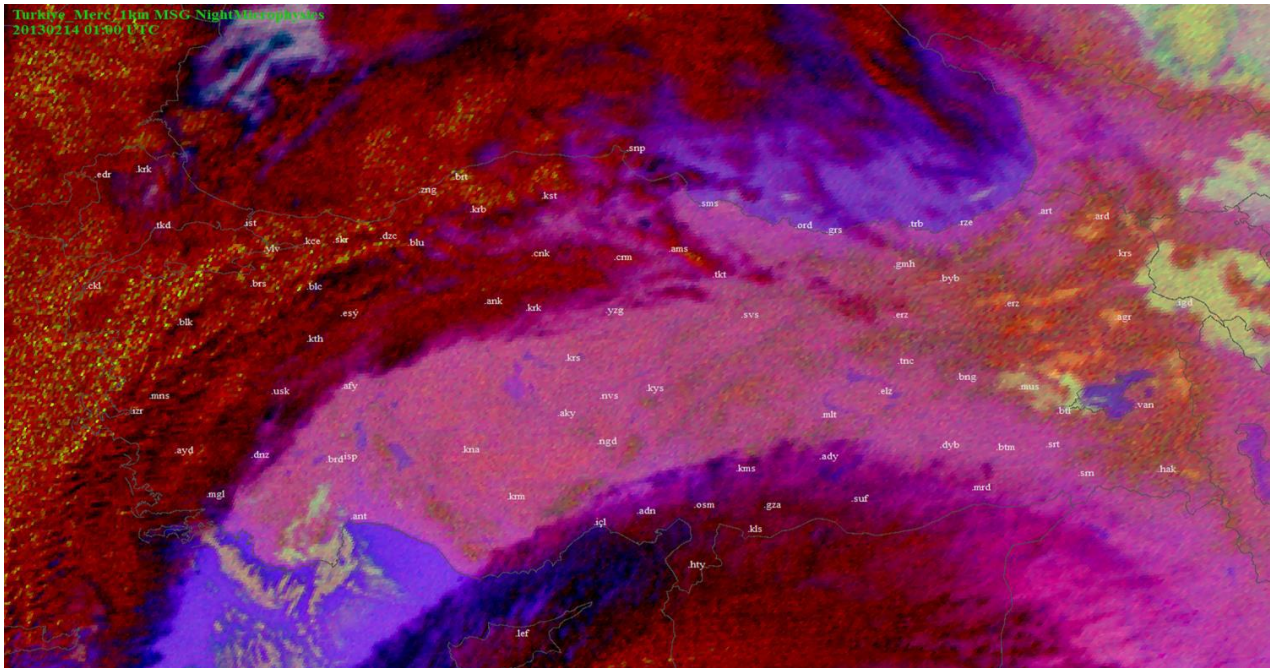
Şekil 21. 14 Şubat 2013 Yer Kartı



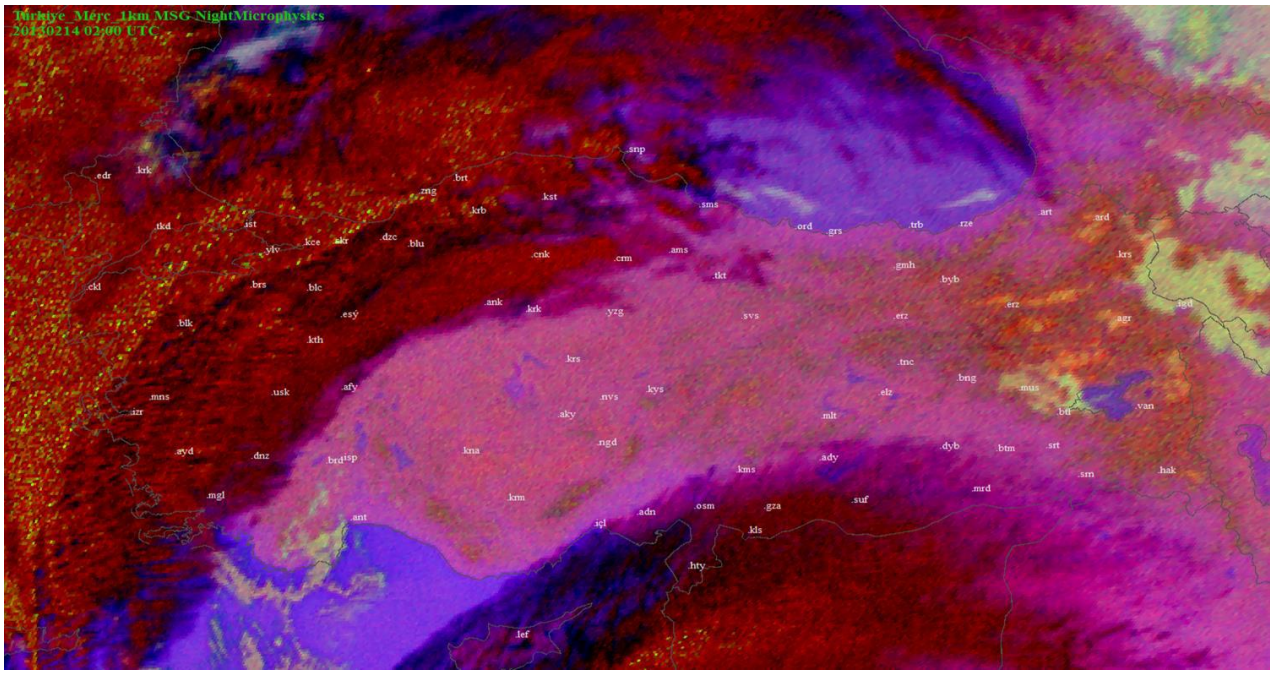
Şekil 22. 14 Şubat 2013 Skew T Log P



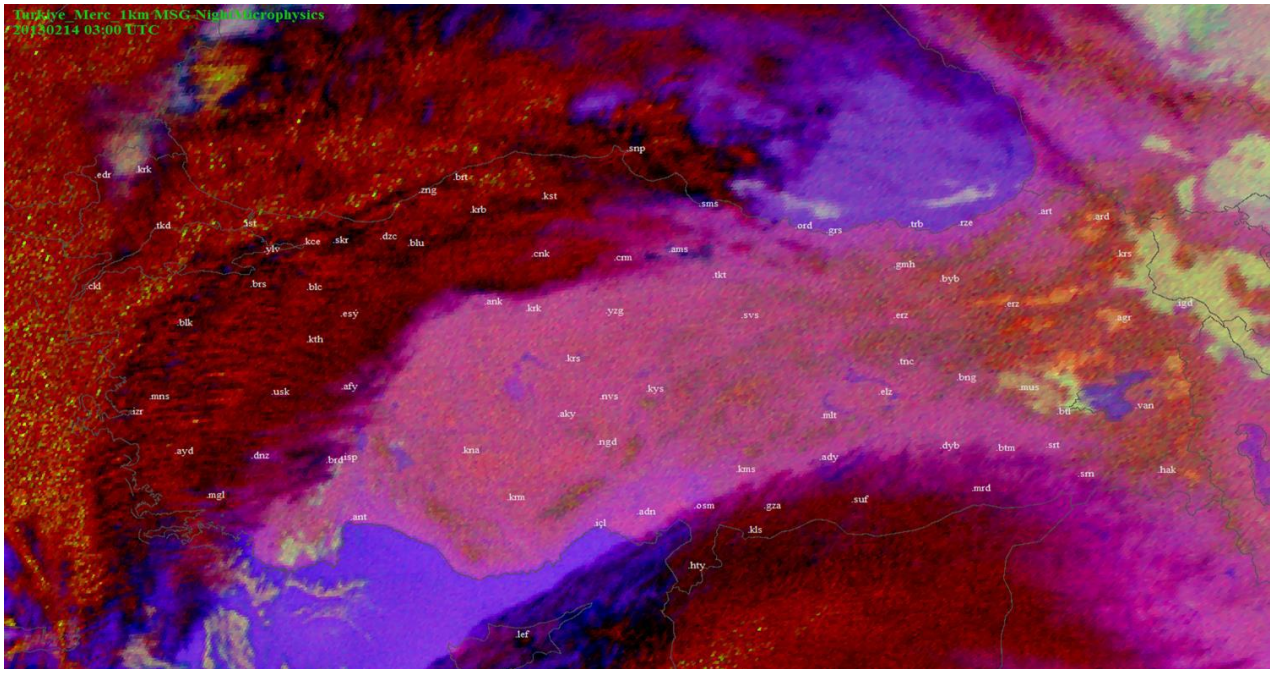
Şekil 23. 14 Şubat 2013 00:00 UTC Uydu Verileri



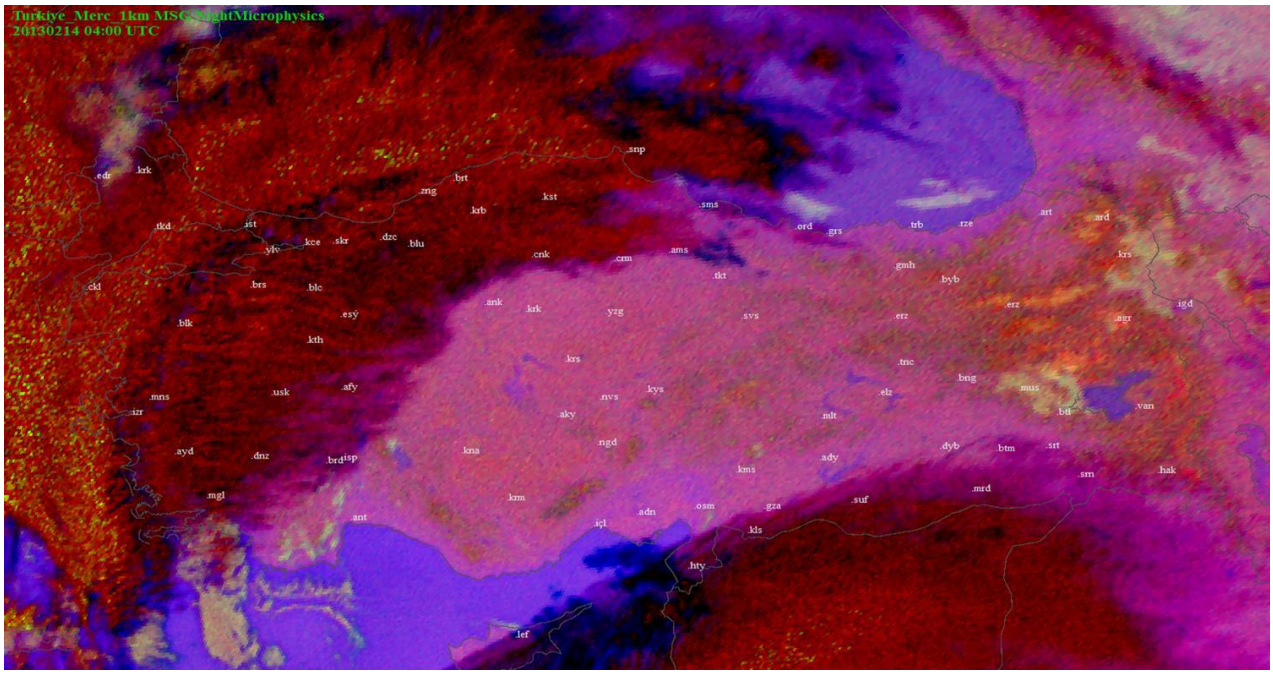
Şekil 24. 14 Şubat 2013 01:00 UTC Uydu Verileri



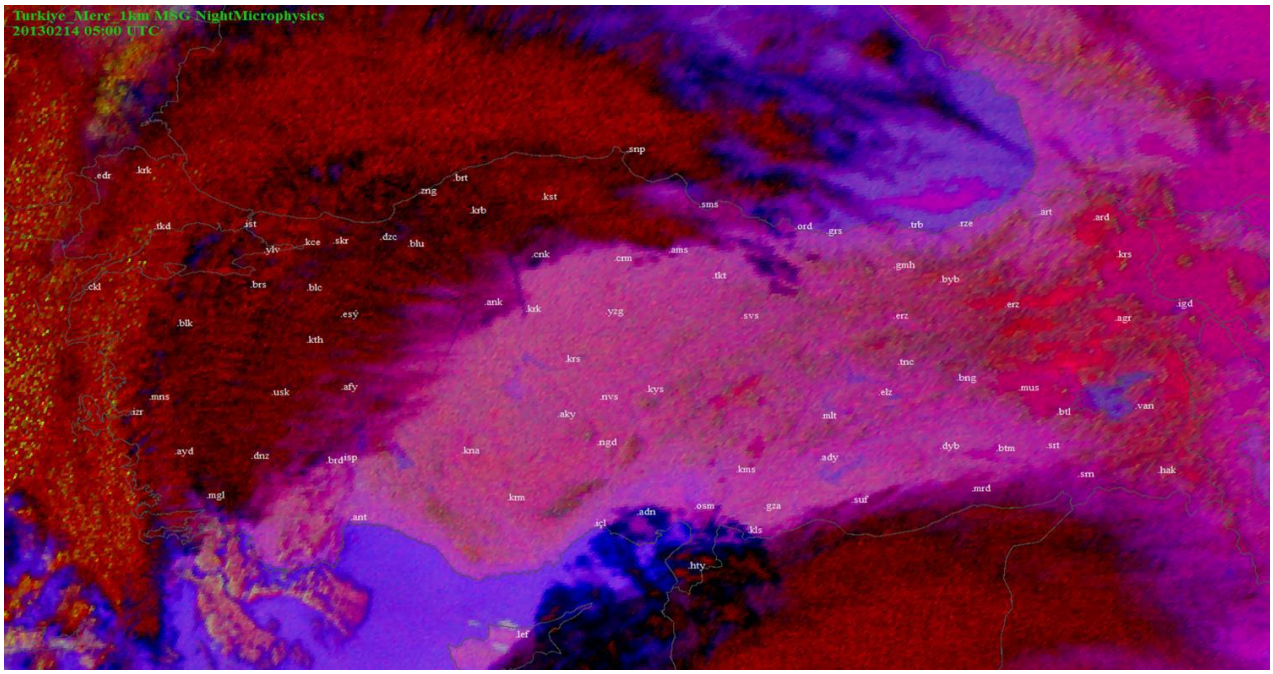
Şekil 25. 14 Şubat 2013 02:00 UTC Uydu Verileri



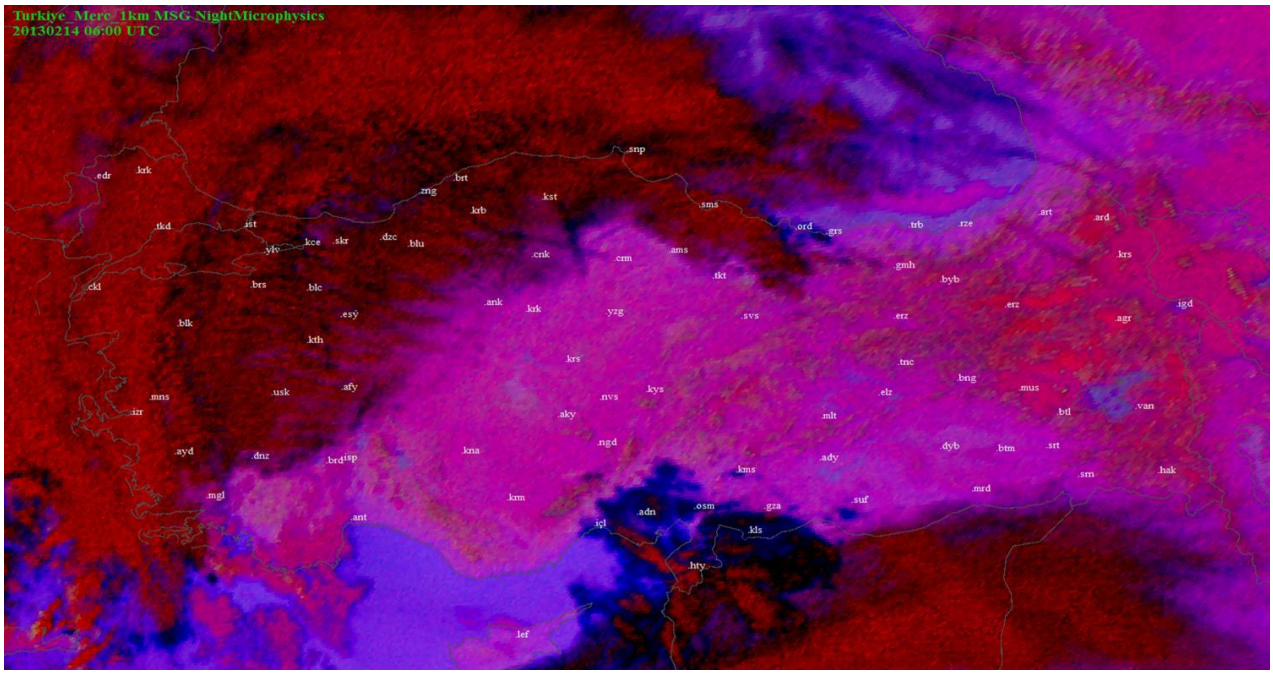
Şekil 26. 14 Şubat 2013 03:00 UTC Uydu Verileri



Şekil 27. 14 Şubat 2013 04:00 UTC Uydu Verileri



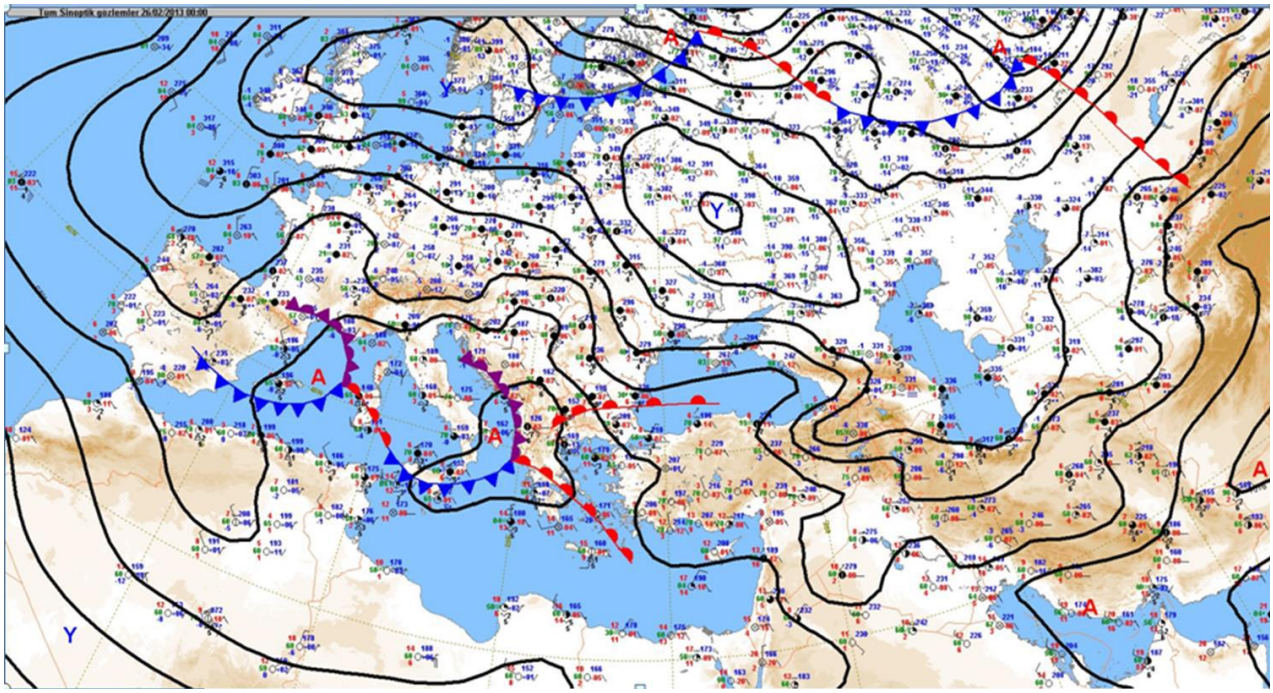
Şekil 28. 14 Şubat 2013 05:00 UTC Uydu Verileri



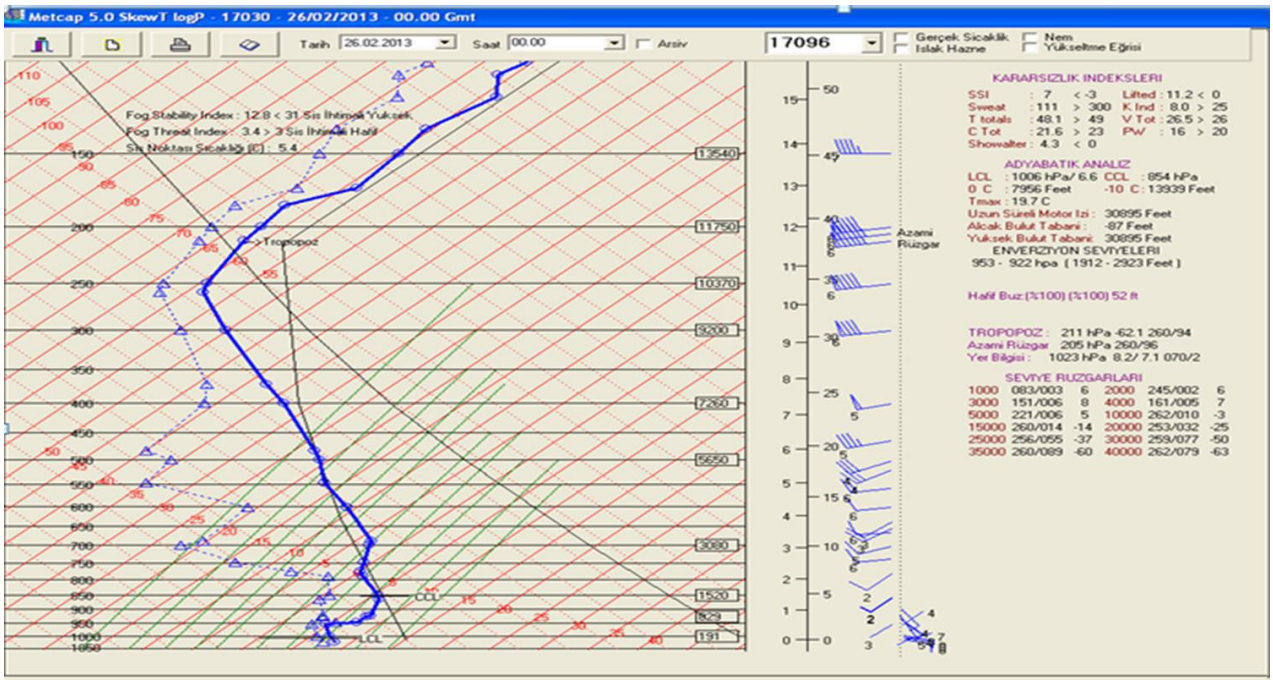
Şekil 29. 14 Şubat 2013 06:00 UTC Uydu Verileri

Tablo 5. 26 Şubat 2013 Meteorolojik Parametreler

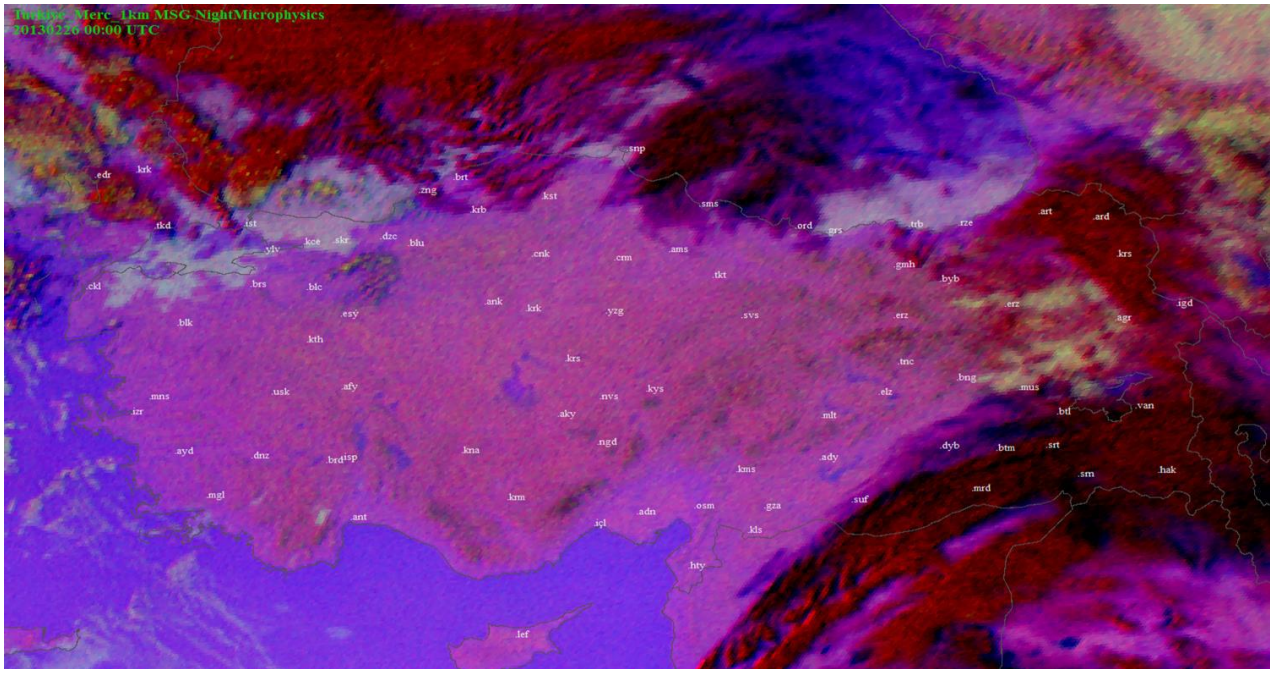
Gün	Saat	Rüyet(m)	Rüzgar(kt)	Nem %	İşba°	Sıcaklık°	Basınç(mb)
26 şubat 2013	00:20-07:20 19:40-23:50	400	2-0	96-98	-10/-7,3	-9,5/-7,1	1026,6/1025,9



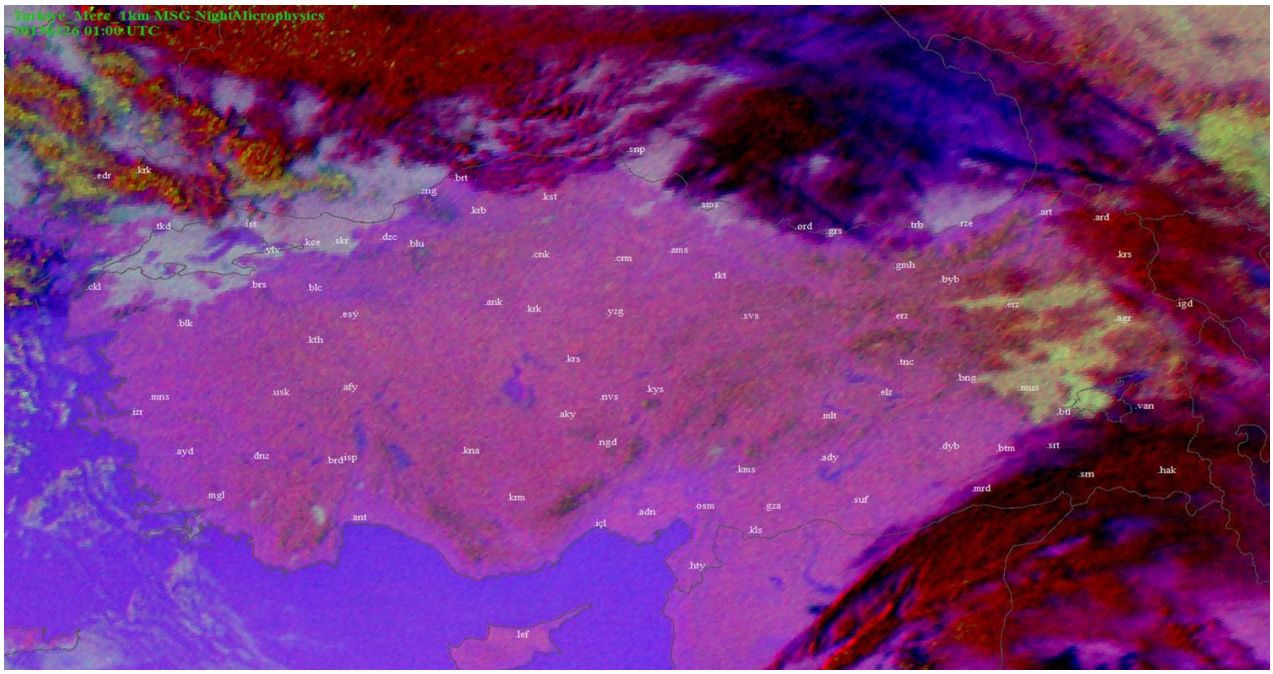
Şekil 30. 26 Şubat 2013 Yer Kartı



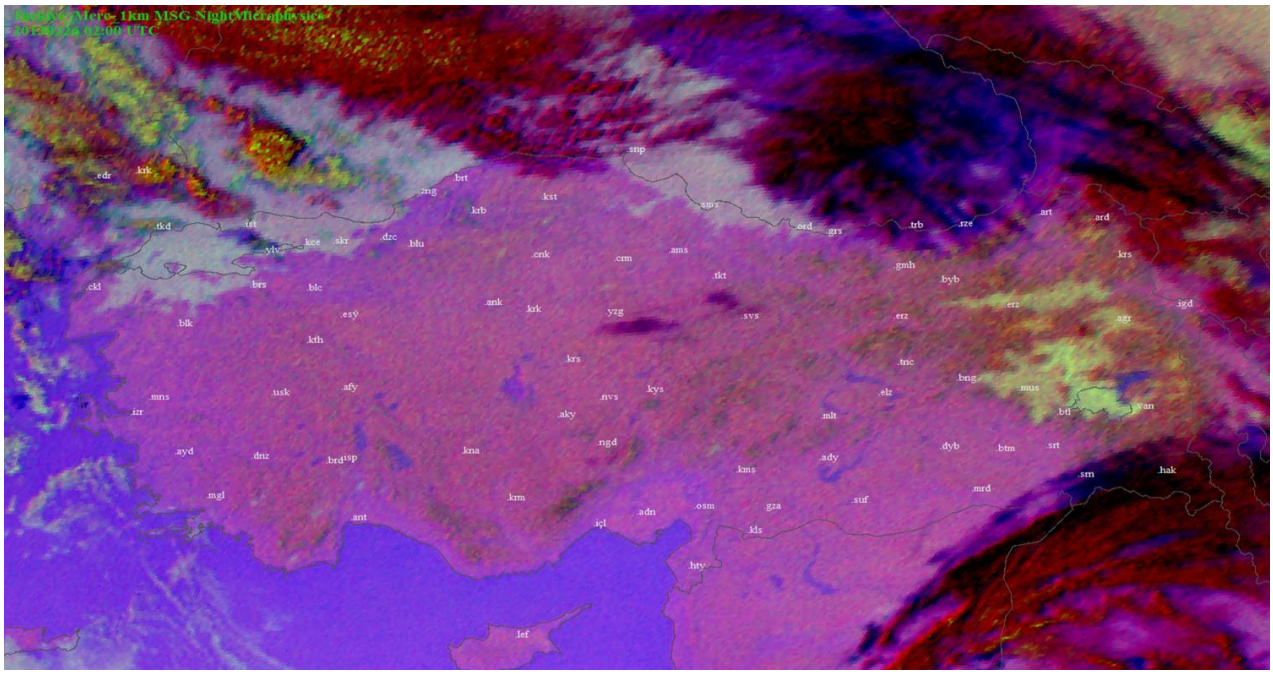
Şekil 31. 26 Şubat 2013 Skew T Log P



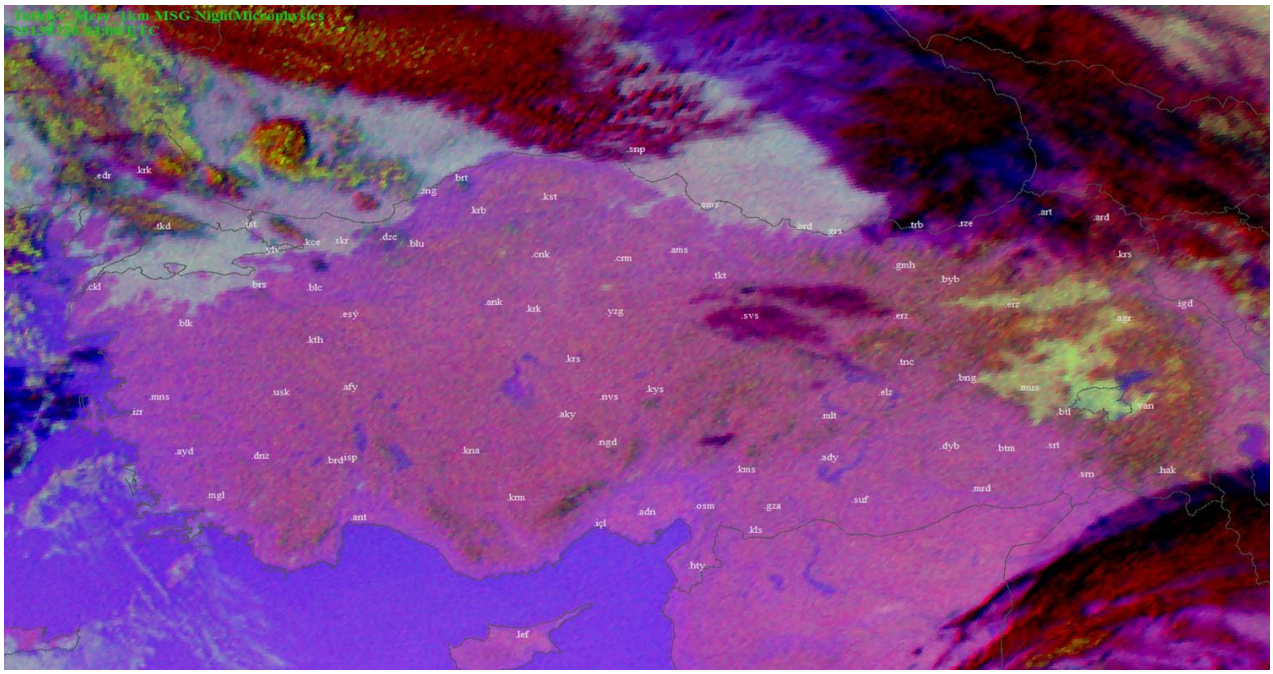
Şekil 32. 26 Şubat 2013 00:00 UTC Uydu Verileri



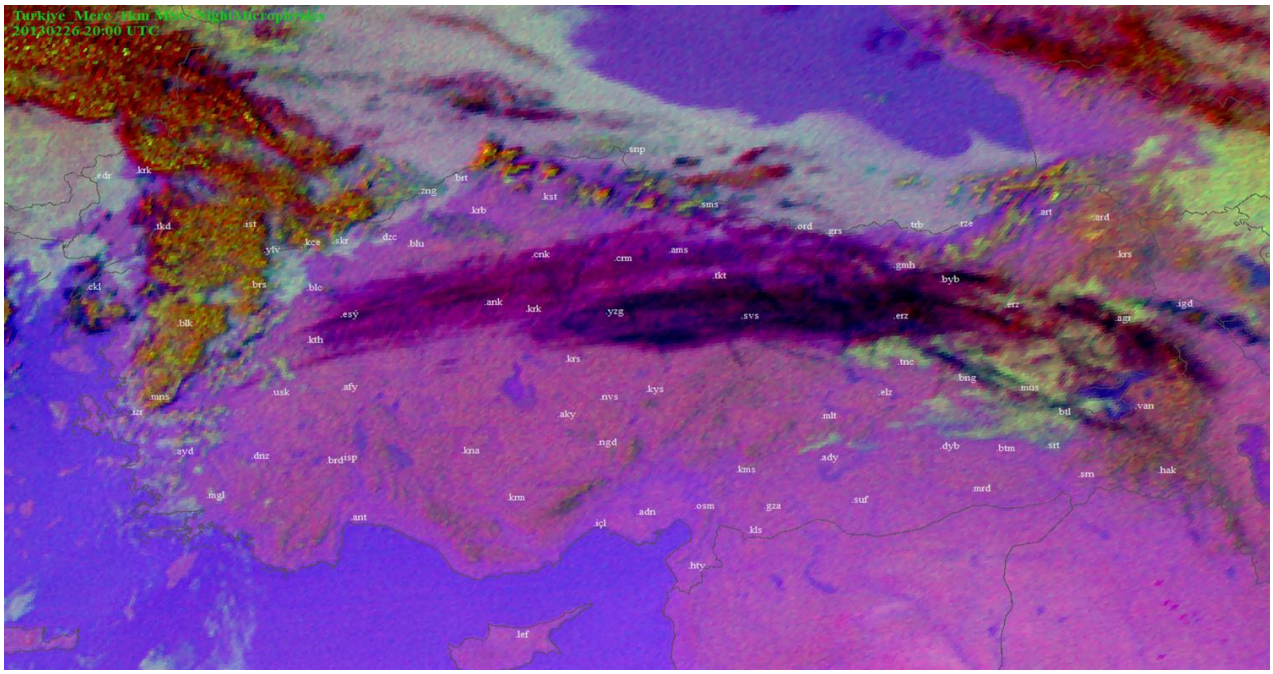
Şekil 33. 26 Şubat 2013 01:00 UTC Uydu Verileri



Şekil 34. 26 Şubat 2013 02:00 UTC Uydu Verileri



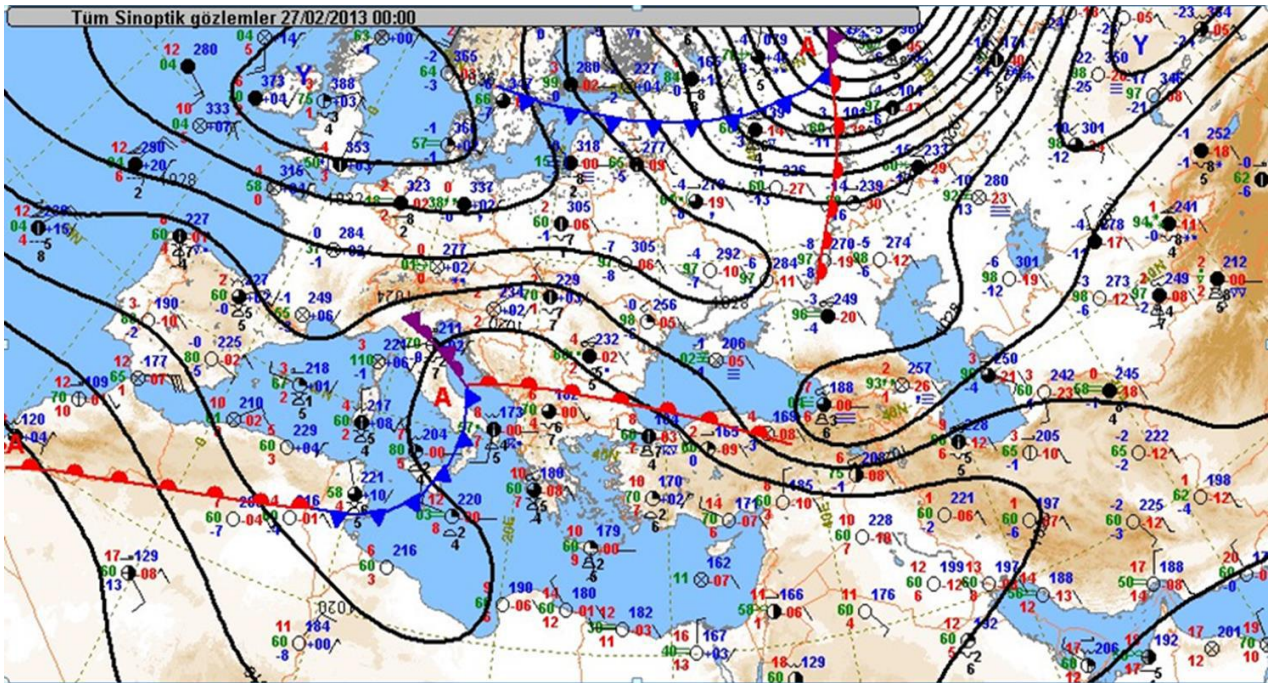
Şekil 35. 26 Şubat 2013 03:00 UTC Uydu Verileri



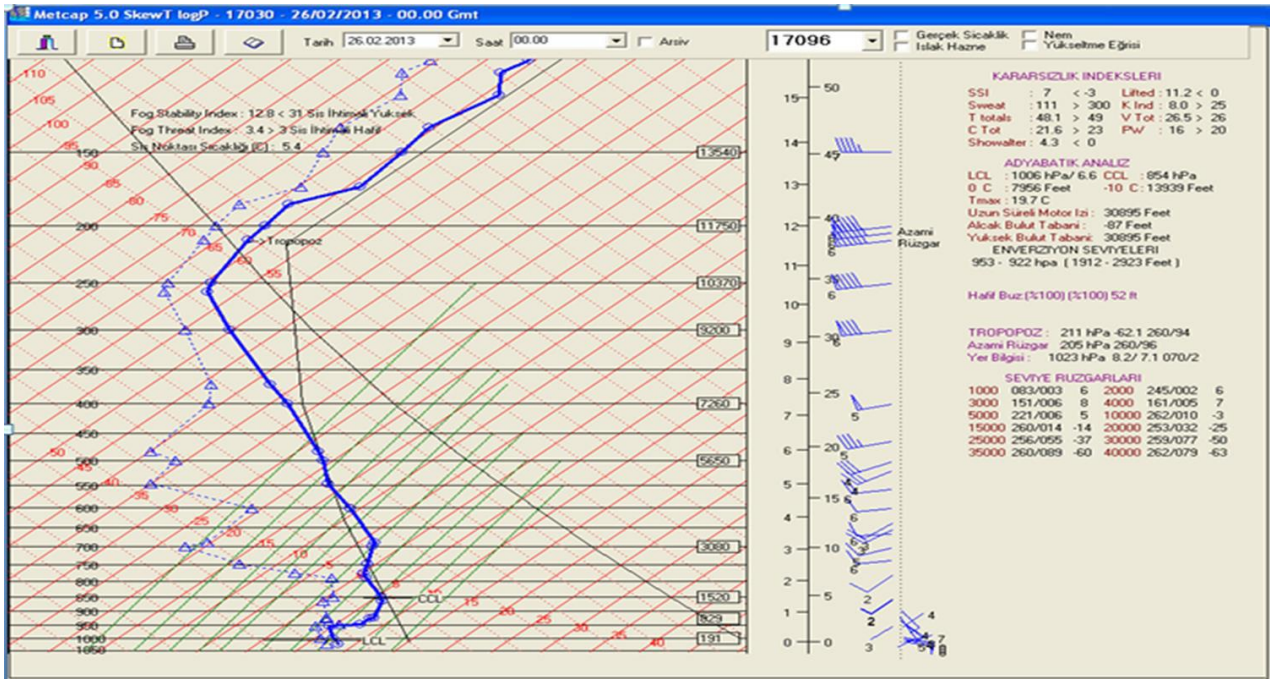
Şekil 36. 26 Şubat 2013 20:00 UTC Uydu Verileri

Tablo 6. 27 Şubat 2013 Meteorolojik Parametreler

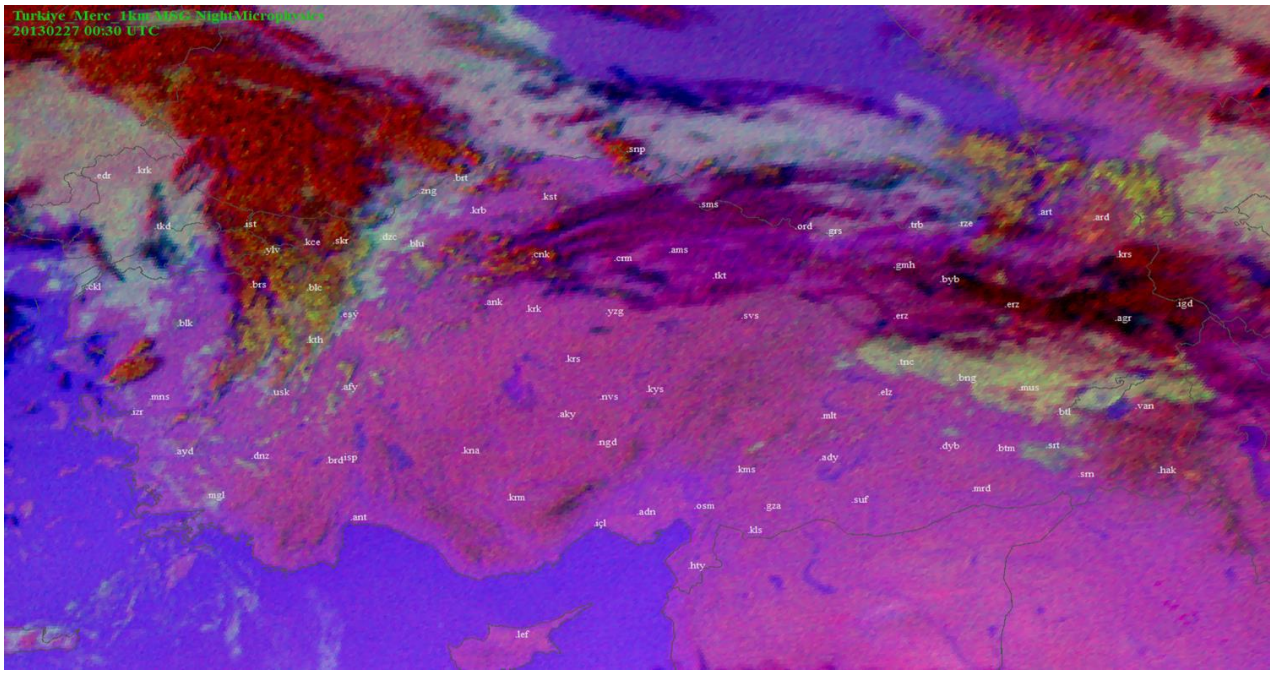
Gün	Saat	Rüyet(m)	Rüzgar(kt)	Nem %	İşba°	Sıcaklık°	Basınç(mb)
27 şubat 2013	00:20-08:20	500	3-0	98-100	-7,1/-6,6	-6,9/-5,8	1026,6/1025,9



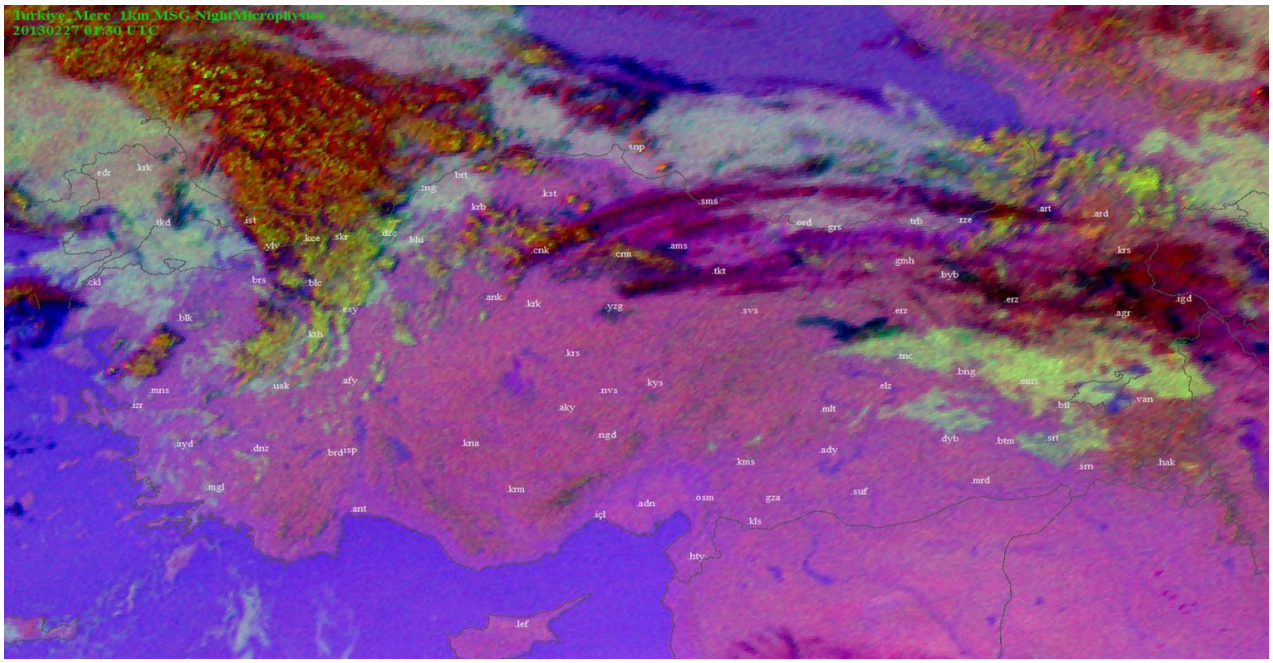
Şekil 37. 27 Şubat 2013 Skew T Log P



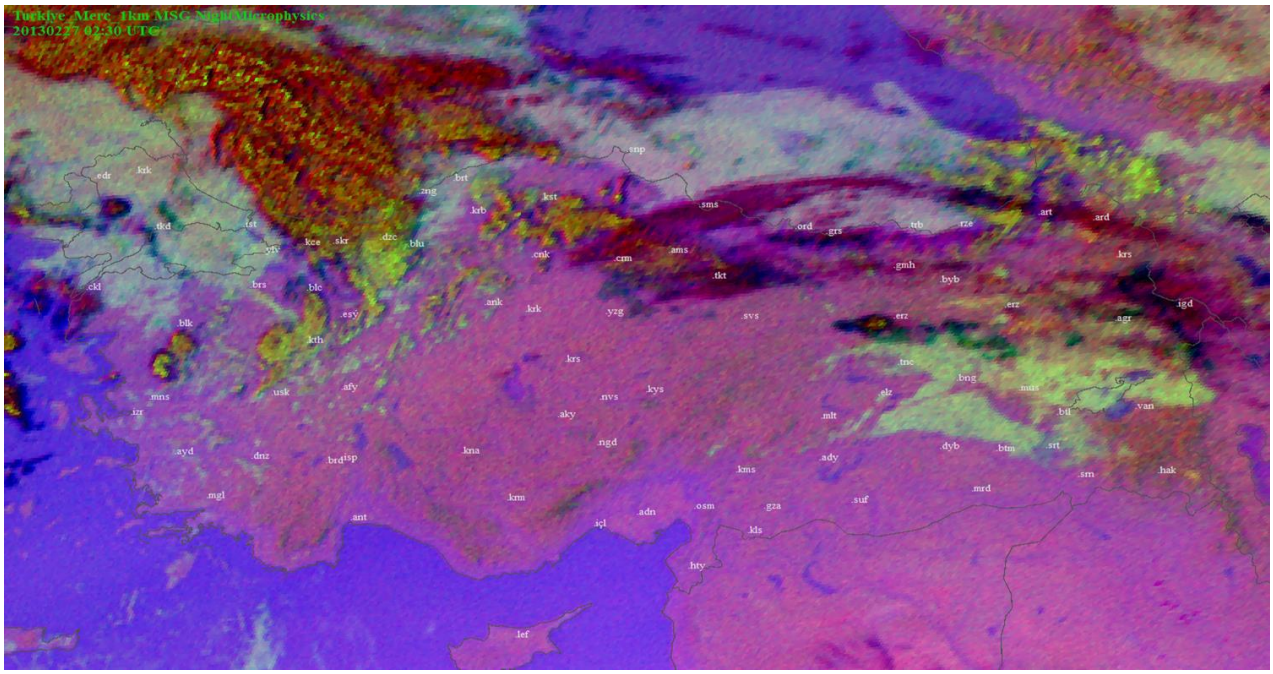
Şekil 38. 27 Şubat 2013 Skew T Log P



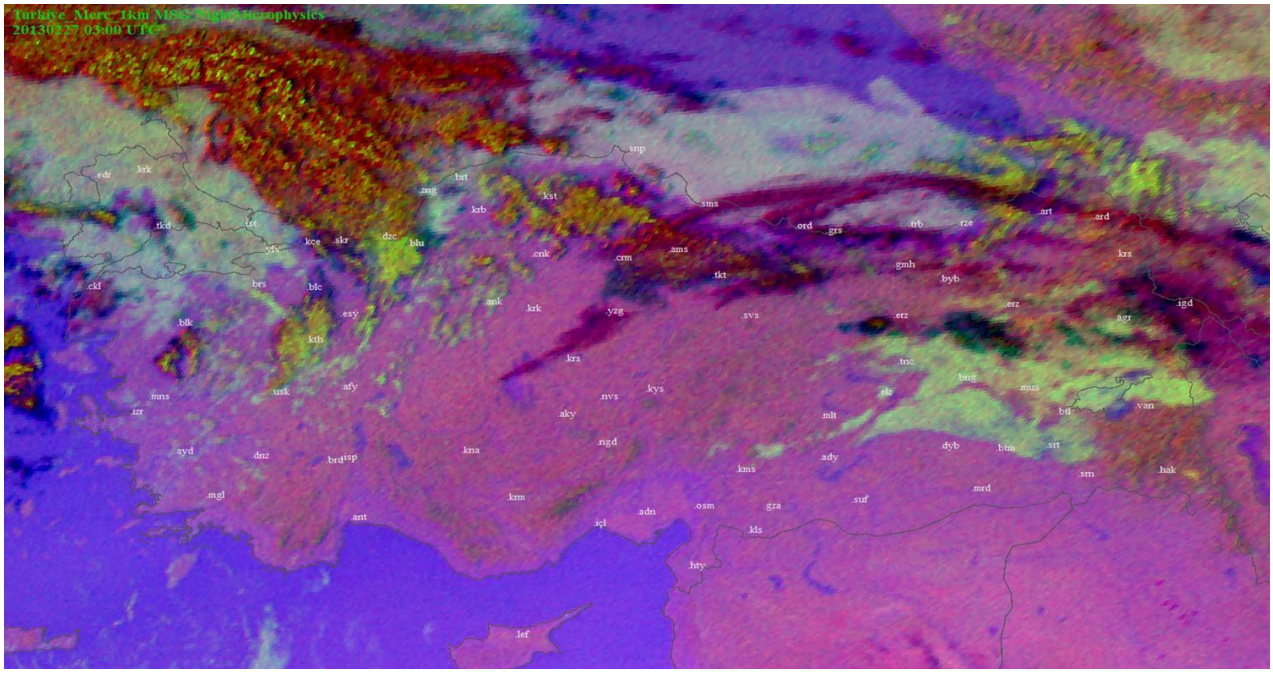
Şekil 39. 27 Şubat 2013 00:30 UTC Uydu Verileri



Şekil 40. 27 Şubat 2013 01:30 UTC Uydu Verileri



Şekil 41. 27 Şubat 2013 02:30 UTC Uydu Verileri



Şekil 42. 27 Şubat 2013 03:00 UTC Uydu Verileri

3. SONUÇ

Sisin yoğun olduğu günlere bakıldığında (30-40 cm) kar örtüsünün bulunduğu kış aylarında sis oluşumu için tüm şartların sağlandığı görülmektedir. Bunun yanı sıra bahar aylarında karların erimesiyle aynı şartlar sağlandığında sis görülmemekte ve seferlerde aksama olmamaktadır. Hava olayları kaynaklı seferlerin iptalinin olmaması için havalimanı yapımında fizibilite çalışmalarına önem vermek ve meteorolojik parametrelere dikkat edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

MGM 12. Bölge Müdürlüğü arşivi
DHMİ Erzurum arşivi

Sis Tahmininde Uydu Görüntülerinin Kullanımı

Mehmet Ünlüer
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Ankara
munluer@mgm.gov.tr

Abdullah Macit
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü
Ankara
amacit@mgm.gov.tr

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

ÖZET

Sis, yer yüzeyinde ve yakınında havada asılı sıvı 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 olaylarından daha zordur. Başta havacılık olmak üzere, deniz ve kara ulaşımında yoğun sisin tahmin edilebilmesi operasyonların gecikmemesi açısından önem arzetmektedir. Bu çalışmada, uydu görüntüleri yardımıyla gündüz ve gece sisinin tespit edilmesine yönelik uygulamalara yer verilmiş, farklı uydu kanalları ve RGB uygulamaları kullanılarak sis tabakasının tahminciler tarafından belirlenebilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler — Sis; Stratus; MSG; RGB

1. GİRİŞ

Sis, yer yüzeyinde ve yakınında havada asılı sıvı su damlacıkları veya buz kristalleri topluluğu/tabakası olup görüş mesafesini daraltan meteorolojik bir olaydır. Sis ile pus arasındaki fark görüş mesafesidir. Görüş mesafesi 1 kilometrenin altında ise sis, eşit veya daha fazla ise pus

olarak değerlendirilmektedir. Stratus bulutunun yerde veya yere yakın seviyede oluşması olarakta bilinen sis, yerle temas eden hava içindeki subuharının yoğuşması veya donarak kristalleşmesi sonucu ortaya çıkan çok küçük su damlacıkları veya buz kristallerinden meydana gelmiştir.

Sisin oluşması için havadaki su buharının doymuş hale gelmesi gerekir. Yoğunlaşma çekirdeklerinin üzerinde yoğunlaşmayla oluşan sis damlacıklarının büyüklükleri 1 µm'den 50 µm - 60 µm' ye kadar farklılıklar gösterir. Pozitif (+) sıcaklıklarda çoğu damlacıkların çapları 7 - 15 µm, negatif (-) sıcaklıklarda ise 2 - 5 µm arasında değişmektedir. Hafif siste damlacık sayısı 1cm³'te 50-100'e yakındır, yoğun siste ise 500-600 arasındadır. -20ºC sıcaklıkta sis genellikle soğumuş su damlacıklarından oluşur, daha düşük sıcaklıklarda ise buz kristallerine rastlanır. Sis durumunda havanın bağıl nemi %100'e yakın, sıklıkla da %95 ila %100 arasında olmaktadır.

Sis yeryüzeyi ile temasta olan bir bulut olduğundan gerek yeryüzünün topoğrafik yapısı, gerekse sis oluşumunu sağlayan arz yüzeyi ile temas eden havanın soğuma şekilleri ve yükseklikle sıcaklığın artması (enversiyon) sis oluşumu için önemli faktörlerdendir. Stratüs bulutları atmosferin alt tabakasının karakteristikleridir. Şayet orada iyi gelişmiş bir sıcaklık enversiyonu veya izotermal tabaka var ise ve bu oluşumda enversiyon tabanı toprağa çok yakın veya toprakta ise aşağılarda hava yeterince nemli bir stratüs tabakası oluşturacaktır. Stratüs tabakasının tepesi ise enversiyon tabanıdır. Bu nedenle sis oluşumu ile enversiyon olayını iç içe görmek mümkündür. Sis ve enversiyon olayının en önemli özelliği, dünya yüzeyi ile temas eden havanın soğuması sonucunda meydana gelmesidir. Böyle soğumalar: - Açık gecelerde giden radyasyondan dolayı yüzeyden ısı kaybı ile, - Farklı sıcaklıktaki iki hava kütlesinin temasında sıcak havanın daha soğuk bir yüzey üzerinde akmasıyla ya da soğuk havanın sıcak bir hava kütlesinin altına girmesi ile yer yüzeyine doğru meydana gelen ısı kaybıyla, - Eğimli bir arazi üzerinde yükselen havanın adyabatik genişlemesinden (yamaç sisi) dolayı meydana gelmektedir.

Sisin oluşumunda ve devamında rüzgar ve sıcaklığın büyük etkisi vardır. Türbülanstan meydana gelen düşey karışım sis oluşumunu engelleyen önemli bir faktördür. Türbülans şiddeti, rüzgar şiddetiyle arttığından, rüzgar belli bir değerden daha fazla olduğunda, sis dağılabilir veya bir stratüs tabakası haline dönüşebilir. Ilımlı veya şiddetli rüzgar durumunda sis sadece, eğer yüzey tabakası hızlı soğursa oluşabilir. Genel olarak sis oluşumu için belli bir miktar rüzgar esastır[1].

[1] http://web.boun.edu.tr/meteoroloji/sis.php

Aşağıda verilen koşullar sis oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Bu faktörlerin farklı kombinasyonları sis meydana gelme ihtimalini arttırmaktadır[2].

- Yüzeye yakın doymuş hava
- Gece saatlerinde açık gökyüzü
- Islak toprak ve nemli bitki örtüsü
- Hafif rüzgar
- Hafif sıcak hava adveksiyonu
- Yüksek işba sıcaklığı
- Herhangi bir nem kaynağından (göl,akarsu vb.) esen rüzgar
- Hafif çisenti

Görüş mesafesine göre sisler; - Hafif (500m-1000m), -Mutedil (200m-500m), -Yoğun (50m-200m), -Çok yoğun (50 metrenin altında) olarak sınıflandırılırken, oluşum şekillerine göre;

- Hava kütlesi sisleri
    - Radyasyon sisi
    - Adveksiyon sisi
    - Orografik sis
- Cephe sisleri şeklinde sınıflandırılmaktadır[3].

Radyasyon sisi, açık ve durgun gecelerde ısı kaybı nedeniyle yer yakınındaki havanın soğumasıyla meydana gelir. Nemli toprak sisin oluşumunu kolaylaştırır. Sonbahar ve kış aylarında özellikle ülkemizin iç kesimlerinde sıklıkla görülmektedir. Adveksiyon sisi, sıcak ve nemli havanın soğuk bir yüzey üzerine hareketi ile alt katmanların soğuyarak su buharının yoğunlaşması sonucu oluşmaktadır. İlkbaharda Karadeniz kıyılarında bu tür sisleri görmek mümkündür. Orografik sis, yatay hareket eden havanın yer şekli etkisiyle yükselerek soğuması neticesinde oluşmaktadır.

[2] http://www.theweatherprediction.com/fog/
[3] http://www.meteor.gov.tr/genel/sss.aspx?s=sisnedir

Cephe sisleri ise karşılaşan iki farklı hava kütlesinden sıcak olanın soğuk olan üzerinde yükselerek soğumasından oluşan sislerdir.

Ülkemizdeki bazı meteoroloji istasyonlarının uzun yıllar sisli günler sayıları ve aylara göre dağılımı Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre sisli günlerin en fazla olduğu istasyonlar 62.3 gün ile Esenboğa ve 41.4 gün ile Erzurum'dur. Zonguldak ve Eskişehir'de ise 30'un üstünde gün sisli geçmektedir. Aylık dağılım incelendiğinde iç bölgelerdeki sislerin soğuk dönemde, Karadeniz kıyılarındaki sislerin ise ilkbahar aylarında yoğunlaştığı görülmektedir.

Tablo 1: Ülkemizdeki bazı istasyonların sisli günler sayısı

	AYLAR												
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Yıllık**
Antalya	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4	0.3	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	2.7
Diyarbakır	6.3	2.7	1.0	0.6	0.2				0.0	0.2	2.3	4.9	18.2
Erzurum	12.9	9.3	4.6	0.6	0.1	0.0	0.0		0.0	0.4	3.7	9.8	41.4
Esenboğa	13.8	9.1	5.3	2.8	1.7	1.6	0.5	0.6	0.5	3.4	9.5	13.5	62.3
Eskişehir	6.0	3.0	1.5	0.6	0.5	0.0		0.2	1.5	6.0	5.5	6.5	31.3
İzmir	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0				0.0	0.1	0.2	0.4	1.1
Kumköy	2.2	2.7	3.6	4.5	3.0	0.7	0.3	0.1	0.3	0.6	1.2	0.8	20.0
Samsun	0.5	0.7	2.4	3.4	2.6	0.3			0.0	0.3	0.4	0.1	10.7
Trabzon	0.5	0.6	2.6	3.5	2.3	0.3				0.0	0.0	0.2	10.0
Zonguldak	3.2	3.8	6.6	7.7	6.1	1.4	0.4	0.2	0.3	0.7	1.1	2.0	33.5

Kaynak: MGM Veri Arşiv Sistemi

Yerel şartlara göre önemli derecede değişkenlik göstermesi nedeniyle sisin tahmin edilebilirliği diğer hava olaylarından daha zordur. Başta havacılık olmak üzere, deniz ve kara ulaşımında yoğun sisin tahmin edilebilmesi operasyonların gecikmemesi açısından önem arzetmektedir. Yoğun sis nedeniyle hava, kara ve deniz ulaşımındaki aksamalar ekonomik kayıplara neden olurken, meydana gelen kazalar yaralanma ve can kayıplarına yol aşmaktadır. MSG (Meteosat Second Generation) ürünleri sis tabakasının belirlenmesinde tahmincilere fikir verebilmektedir. Bu çalışmada, uydu görüntüleri yardımıyla gündüz ve gece sisinin tespit edilmesine yönelik

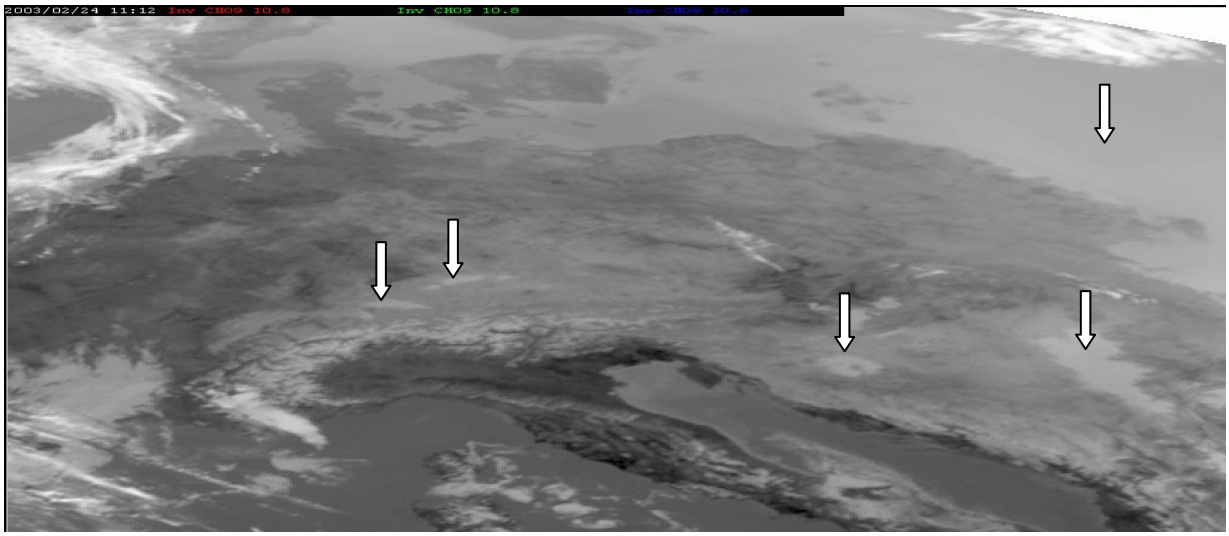
uygulamalara yer verilmiş, farklı uydu kanalları ve RGB uygulamaları kullanılarak sis tabakasının tahminciler tarafından belirlenebilmesi amaçlanmıştır.

2. UYDU VERİLERİ İLE SİSİN TESPİT EDİLMESİ

Meteosat İkinci Nesil Uydu (MSG) programı, Meteosat-8 Uydusu ile faaliyetine başlamıştır. MSG uyduları Dönen Gelişmiş Görünür ve Kızılötesi Görüntüleyici (SEVIRI) enstrümanı ile 12 spektral kanalda, 15 dakikalık aralıklarla, gece ve gündüz boyunca ve GERB enstrümanları ile de iklim çalışmaları amacıyla Dünya'yı düzenli olarak tarayarak gözlemlemektedir[4]. Bu kanallardan elde edilen görüntüler, farklı reflektivite değerleriyle tahmincilerin hava olaylarını belirlemesini kolaylaştırmaktadır. Gündüz ve gece sis tabakasının belirlenmesi ve diğer faktörlerden ayırt edilebilmesine yönelik uygulamalar aşağıda verilmiştir.

2.1 **Gündüz Sis Tabakasının Belirlenmesi**

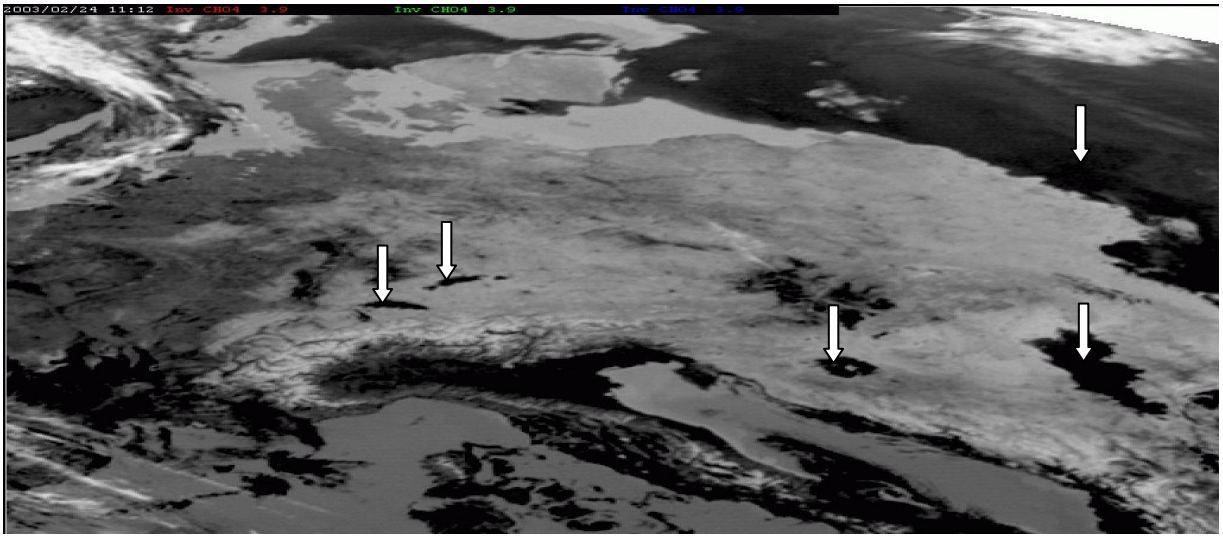
Şekil 1'de 24 Şubat 2003 11:00 GMT Kanal 9 (IR10.8) görüntüsü verilmiş ve sis tabakaları oklarla gösterilmiştir. Sis tabakası kirli beyaz-gri tonlarla yer yüzeyi ve yüksek bulutlardan ayırt edilebilmektedir. Görüntü tahmincilere sis tabakasının belirlenmesinde fikir versede, alçak bulut ve kar örtüsüyle karıştırma olasılığından dolayı çok kullanışlı değildir.



Şekil 1: 24 Şubat 2003 11:00 GMT *Kanal 9 (IR10.8)*

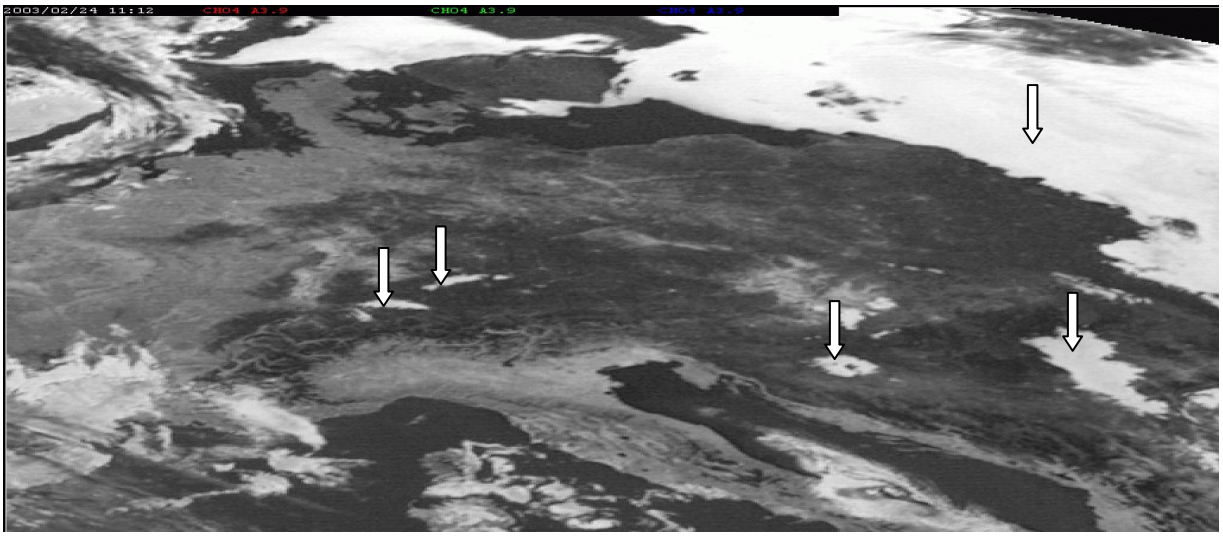
[4] http://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojikuydular.aspx?s=61

Şekil 2'de 24 Şubat 2003 11:00 GMT Kanal 4 (IR3.9) görüntüsü verilmiş ve sis tabakaları oklarla gösterilmiştir. Sis tabakası siyah tonlarla kar örtüsü ve yüksek bulutlardan ayırt edilebilmektedir. Tahminciler için sisin belirlenmesinde Kanal 9 görüntüsüne göre daha kullanışlı olsada yer yüzeyi ve alçak bulutlarla karıştırılabilinir.



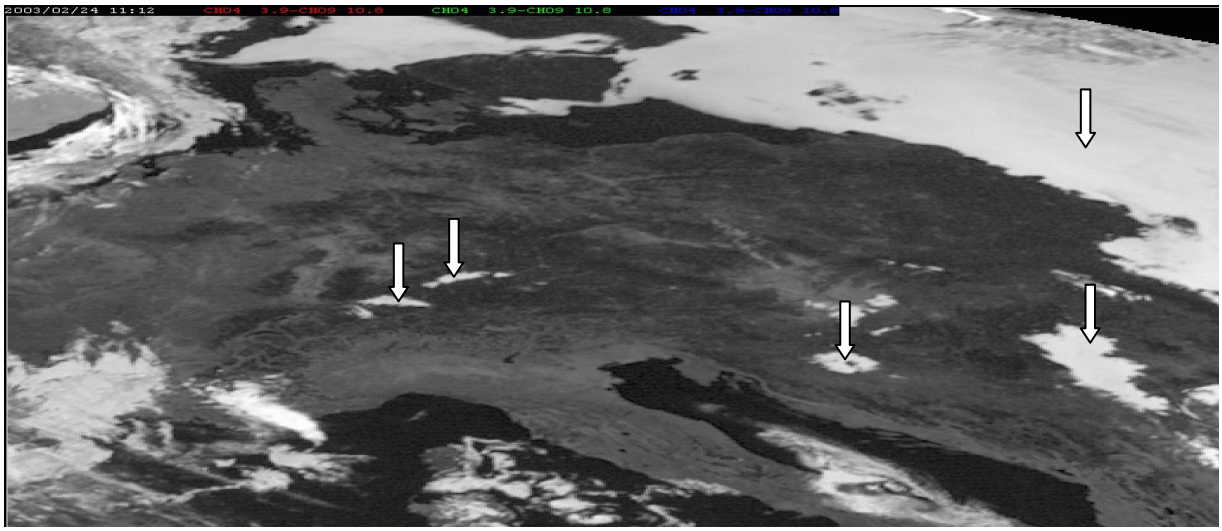
Şekil 2: 24 Şubat 2003 11:00 GMT *Kanal 4 (IR3.9)*

Şekil 3'de 24 Şubat 2003 11:00 GMT Kanal 4r (IR3.9r) görüntüsü verilmiş ve sis tabakaları oklarla gösterilmiştir. Sis tabakası kirli beyaz-gri, yer yüzü açık siyah, kar örtüsü ise koyu siyah tonlarla birbirlerinden ayırt edilebilmektedir.



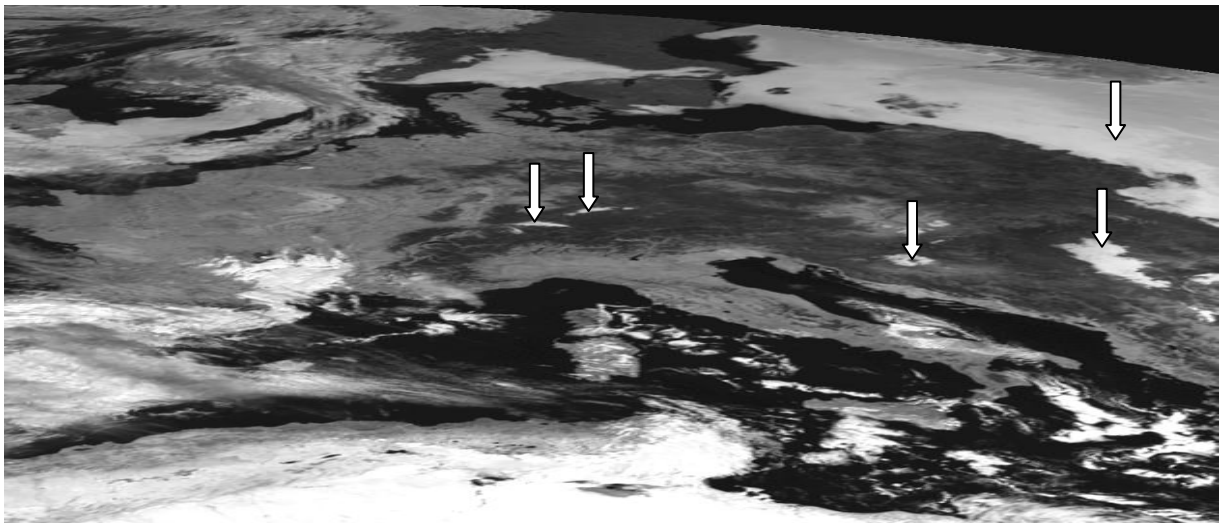
Şekil 3: 24 Şubat 2003 11:00 GMT *Kanal 4r (IR3.9r)*

Şekil 4'de 24 Şubat 2003 11:00 GMT Kanal 4-9 fark görüntüsü verilmiş ve sis tabakaları oklarla gösterilmiştir. Bu görüntüde sis tabakası kirli beyaz-gri tonlarla, siyah yer yüzeyi ve kar örtüsünden ve daha parlak olan bulutluluktan ayırt edilebilmektedir.



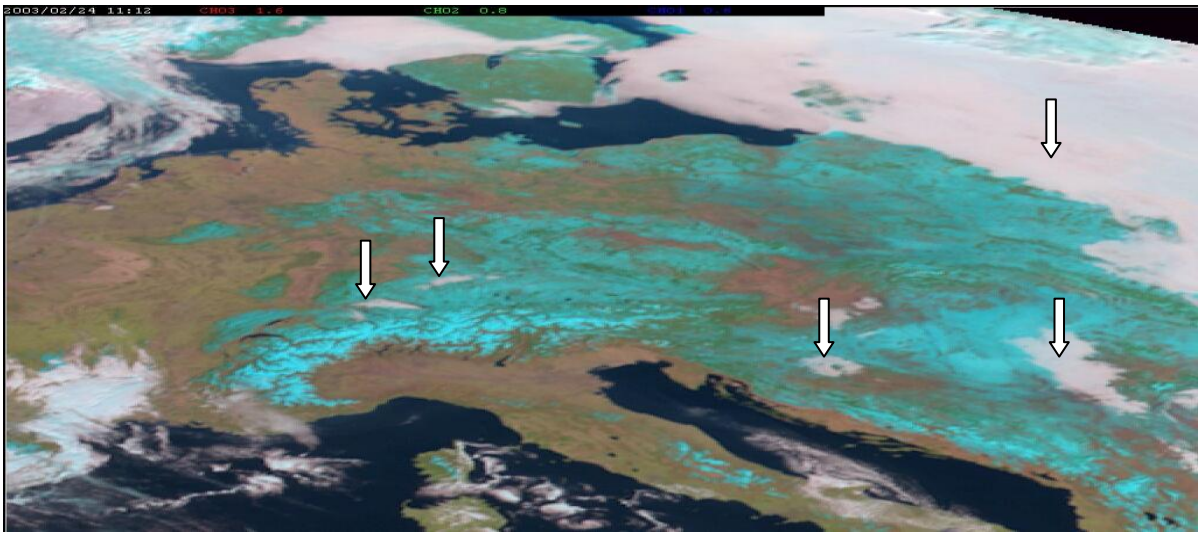
Şekil 4: 24 Şubat 2003 11:00 GMT *Kanal 4-9 farkı*

Şekil 5'de 24 Şubat 2003 11:00 GMT Kanal 3 (NIR1.6) görüntüsü verilmiş ve sis tabakaları oklarla gösterilmiştir. Sis tabakası kirli beyaz-gri tonlarla ayırt edilebilmektedir. Bu görüntüde deniz yüzeyi ve kar örtüsü daha düşük reflektivitede (koyu tonlarda), su bulutları daha yüksek reflektivitede (açık tonlarda) gösterilmektedir. Yüksek bulutlar ise ara tonlardadır.



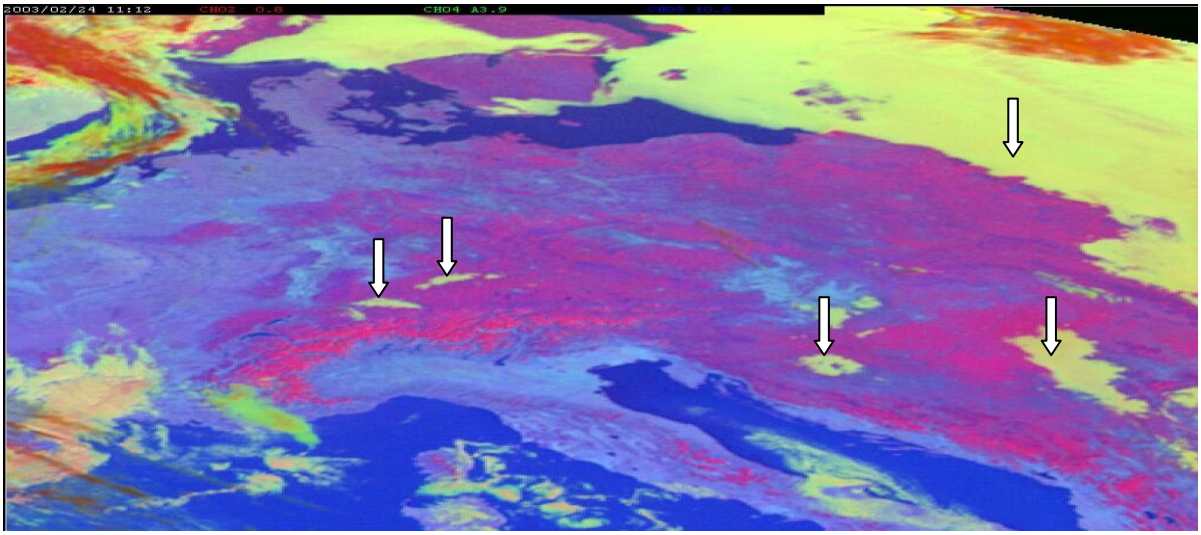
Şekil 5: 24 Şubat 2003 11:00 GMT *Kanal 3 (NIR1.6)*

Şekil 6'da 24 Şubat 2003 11:00 GMT RGB 3/2/1 görüntüsü verilmiş ve sis tabakaları oklarla gösterilmiştir. Renklendirmede R: NIR1.6 / G: VIS0.8 / B: VIS0.6 kanallarının kullanıldığı bu görüntüde yer ve deniz yüzeyleri net olarak ayrılmaktadır. Kar örtüsü Alpler'deki gibi parlak yeşil, yüksek bulutlar ise Almanya ve Fransa'nın kuzeyindeki gibi yeşil olarak görülmektedir. Sis tabakası beyaz-pembemsi tonlarda ve mat yapısıyla belirgindir. Bu nedenle 3-2-1 RGB gündüz sisinin tespit edilmesinde kullanışlı ürünlerdendir.



Şekil 6: 24 Şubat 2003 11:00 GMT *RGB 3/2/1 (NIR1.6-VIS0.8-VIS0.6)*

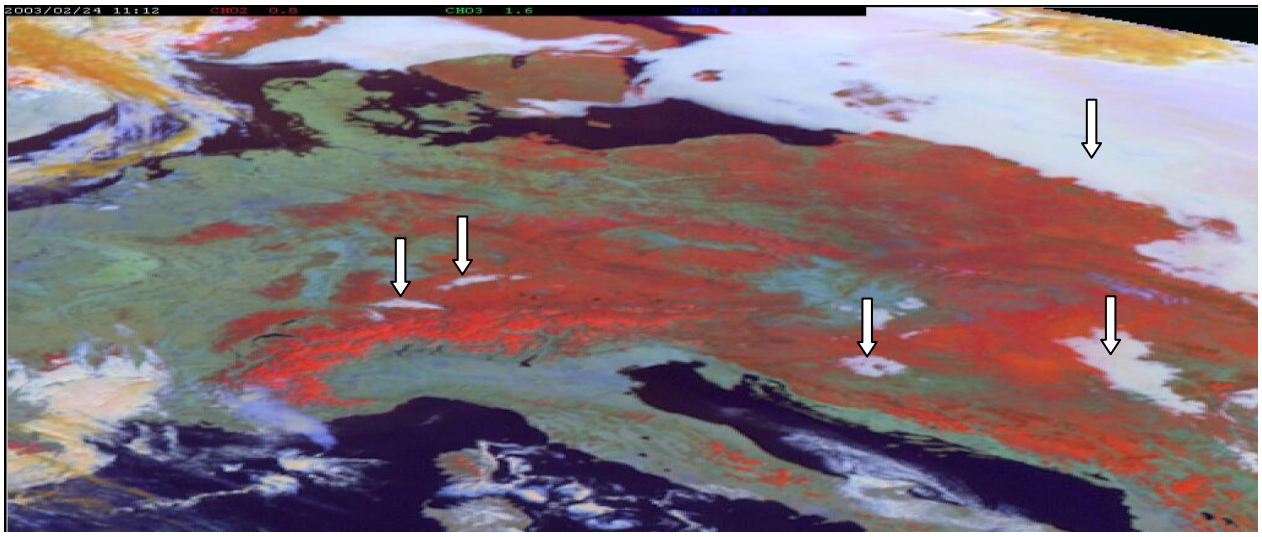
Şekil 7'de 24 Şubat 2003 11:00 GMT RGB 2/4r/9 görüntüsü verilmiş ve sis tabakaları oklarla gösterilmiştir. R: VIS0.8 / G: IR3.9r / B: IR10.8 kanallarının kullanıldığı bu üründe de yer ve deniz yüzeyi net olarak ayrılmaktadır.



Şekil 7: 24 Şubat 2003 11:00 GMT *RGB 2/4r/9 (VIS0.8-IR3.9r-IR10.8)*

Kar örtüsü Alpler'deki gibi parlak pembe, yüksek bulutlar ise kahverengi-kırmızımsı olarak görülmektedir. Sis tabakası kirli beyaz-pembemsi tonlarda ve mat yapısıyla belli olmaktadır. Bu ürün de gündüz saatlerinde sisin tespit edilmesinde tahmincilere kolaylık sağlamaktadır.

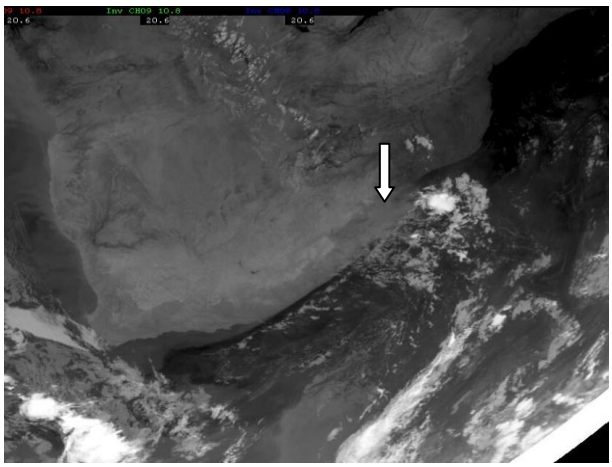
Şekil 8'de 24 Şubat 2003 11:00 GMT RGB 2/3/4r görüntüsü verilmiş ve sis tabakaları oklarla gösterilmiştir. R: VIS0.8 / G: NIR1.6 / B: IR3.9r kanallarının kullanıldığı bu üründe kar örtüsü Alpler'deki gibi parlak turuncu, yüksek bulutlar ise açık kahverengi olarak görülmektedir. Sis tabakası beyaz-pempemsi ve mattır.



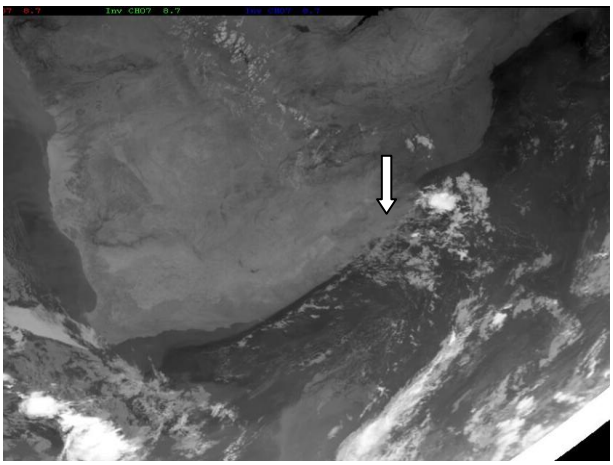
Şekil 8: 24 Şubat 2003 11:00 GMT *RGB 2/3/4r (VIS0.8-NIR1.6-IR3.9r)*

2.2 Gece Sis Tabakasının Belirlenmesi

Şekil 9 ve Şekil 10'da 24 Nisan 2003 02:00 GMT'deki Güney Afrika'da gece saatlerindeki sis görüntüsü verilmiş ve sis tabakası okla gösterilmiştir. Her iki görüntüde de sis tabakası çok net gözükmemektedir. Kızılötesi kanallar olmasına rağmen Kanal9 ve Kanal7 görüntüleri gece sisinin tespit edilmesinde yeterli değillerdir.

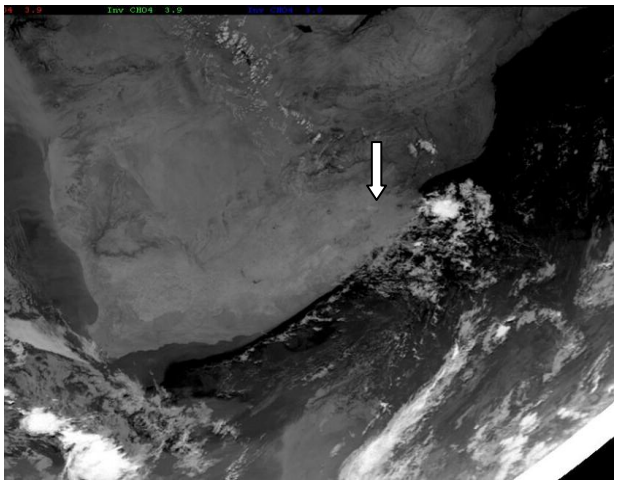


Şekil 9: *Kanal 9 (IR10.8)*

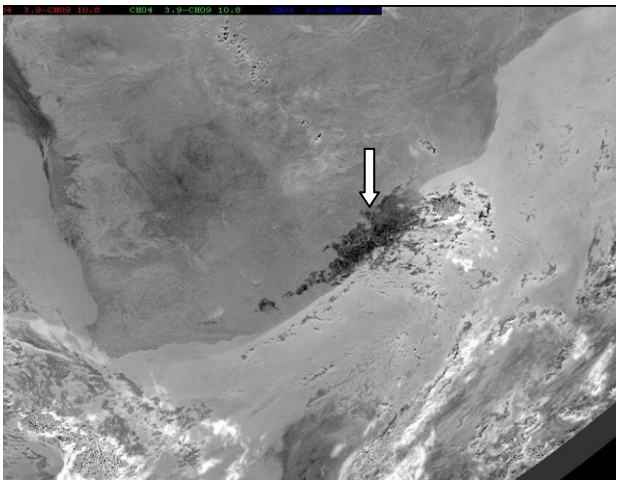


Şekil 10: *Kanal 7 (IR8.7)*

Şekil 11 ve Şekil 12'de 24 Nisan 2003 02:00 GMT'deki Güney Afrika'da gece saatlerindeki sis görüntüsü verilmiş ve sis tabakası okla gösterilmiştir. Şekil 11'deki Kanal 4 görüntüsü incelendiğinde, sis net olarak görülmemektedir. Şekil 12'deki Kanal 4-9 farkından elde edilmiş görüntüde ise sis tabakası daha siyah tonlarıyla yeryüzeyinden kolayca ayırt edilebilmektedir.

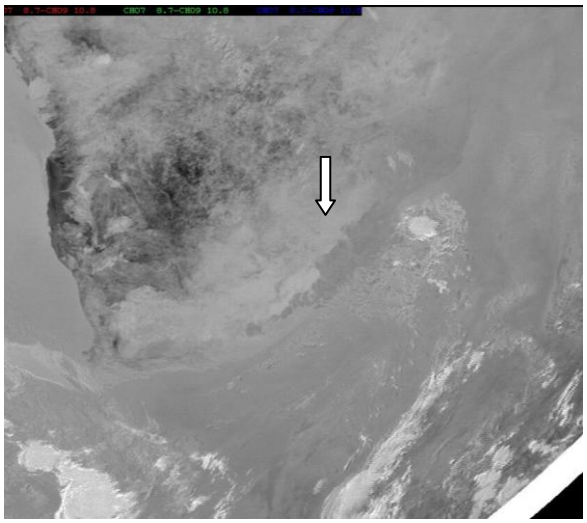


Şekil 11: *Kanal 4 (IR3.9)*

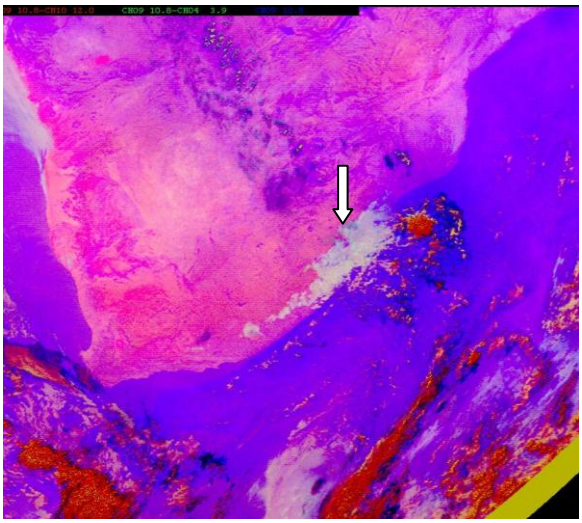


Şekil 12: Kanal 4-*9 farkı*

Şekil 13 ve Şekil 14'de 24 Nisan 2003 02:00 GMT'deki Güney Afrika'da gece saatlerindeki sis görüntüsü verilmiş ve sis tabakası okla gösterilmiştir. Şekil 13'deki Kanal 9-10 farkından elde edilmiş görüntüde sis tabakası çok belli olmamaktadır. Şekil 14'deki RGB 10-09/09-04/09 görüntüsünde ise hafif yeşilimsi-sarımsı rengiyle sis tabakası net olarak görülebilmektedir. Aynı görüntüde yeryüzeyi koyu pempe renktedir. Bu ürün gece saatlerindeki sisin tespit edilebilmesinde tahmincilere kolaylık sağlamaktadır.



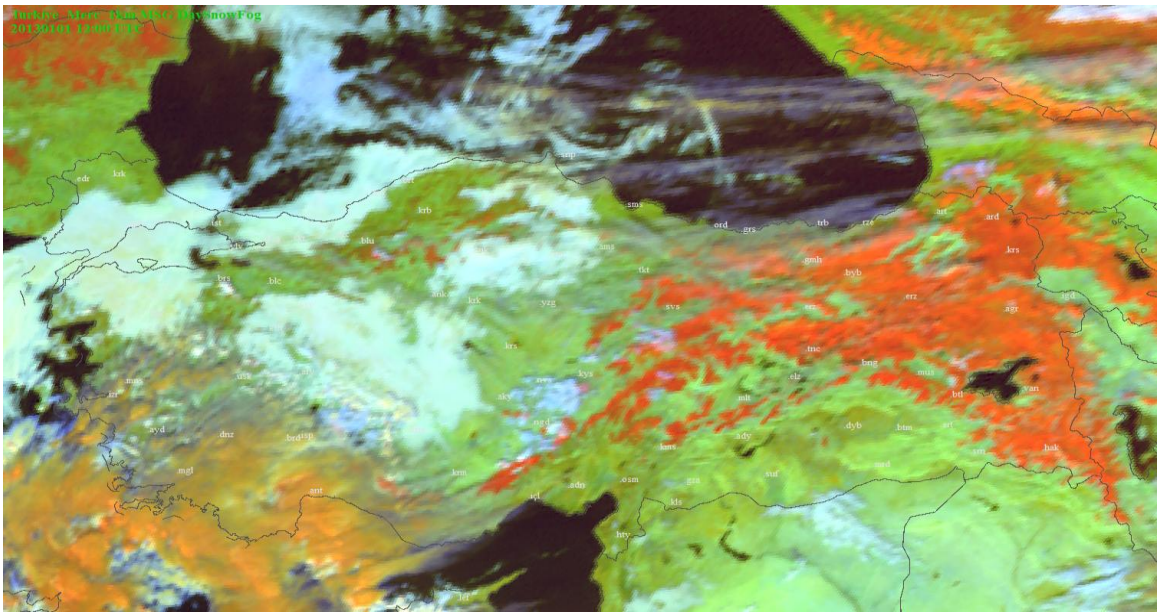
Şekil 13*: Kanal 9*-10 farkı



Şekil 14: RGB(IR12.0-10.8/IR10.8-IR3.9/IR10.8)

2.3 Ülkemizden Sis Örnekleri

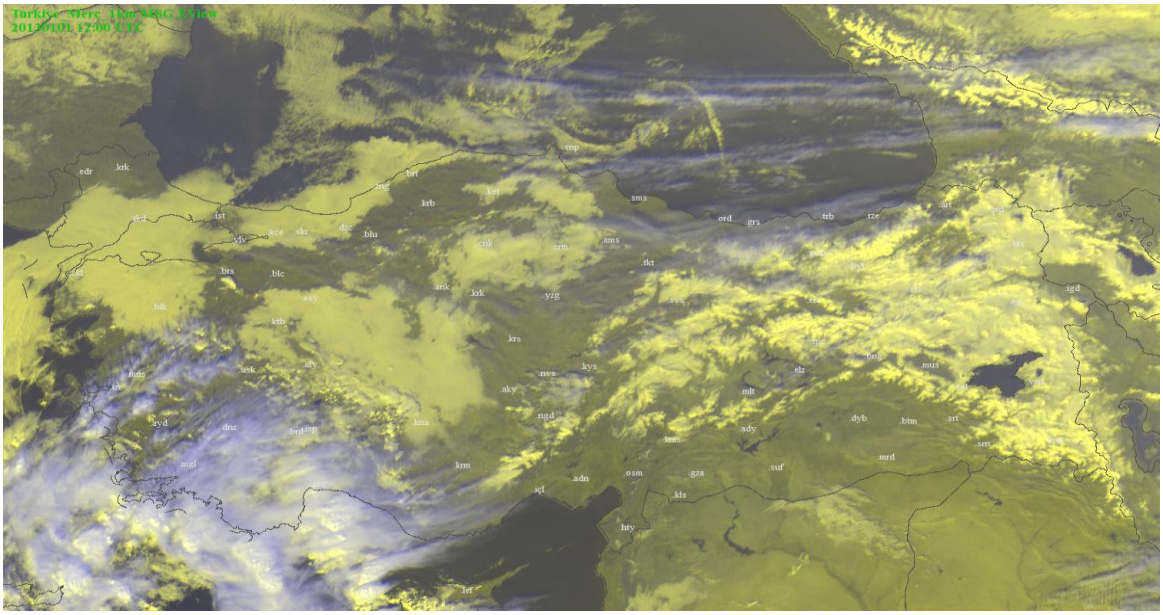
Şekil 15'de 01 Ocak 2013 12:00 GMT, RGB 02/03/04r görüntüsü verilmiştir. Marmara ve İç Anadolu'daki sis tabakası beyazımsı, doğu bölgelerdeki kar örtüsü turuncu, Batı Akdeniz'deki bulutluluk ise sarı-kahverengi renk tonuyla belli olmaktadır. Aynı gün Ankara-Kırıkkale yolunda yer yer 20 metreye kadar düşen görüş mesafesi nedeniyle trafikte aksamalar olduğu belirtilmektedir[5].



[5] http://www.haberler.com/ankara-kirikkale-yolunda-sis-trafigi-olumsuz-4216237-haberi/

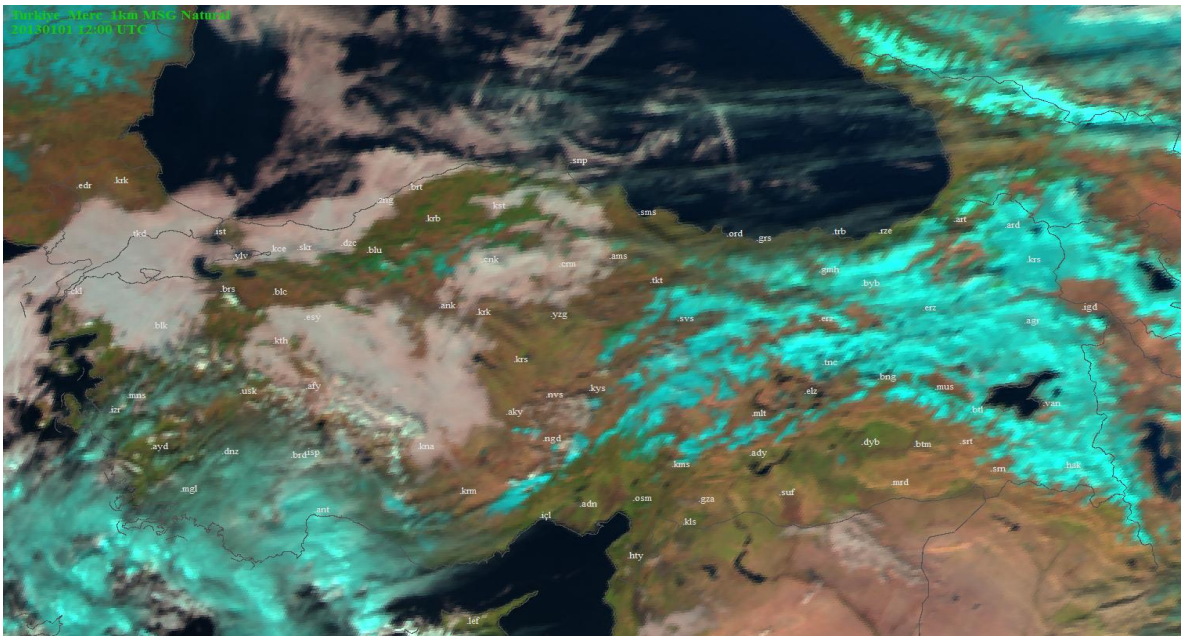
Şekil 15: 01 Ocak 2013 12:00 GMT RGB 02/03/04r

Şekil 16'da 01 Ocak 2013 12:00 GMT, RGB 12/12/09 HRV görüntüsü verilmiştir. Marmara ve İç Anadolu'daki sis tabakası daha mat ve yeşilimsi-beyaz, doğu bölgelerdeki kar örtüsü sise göre biraz daha parlak, Batı Akdeniz'deki bulutluluk ise beyaz renk olarak görülmektedir.



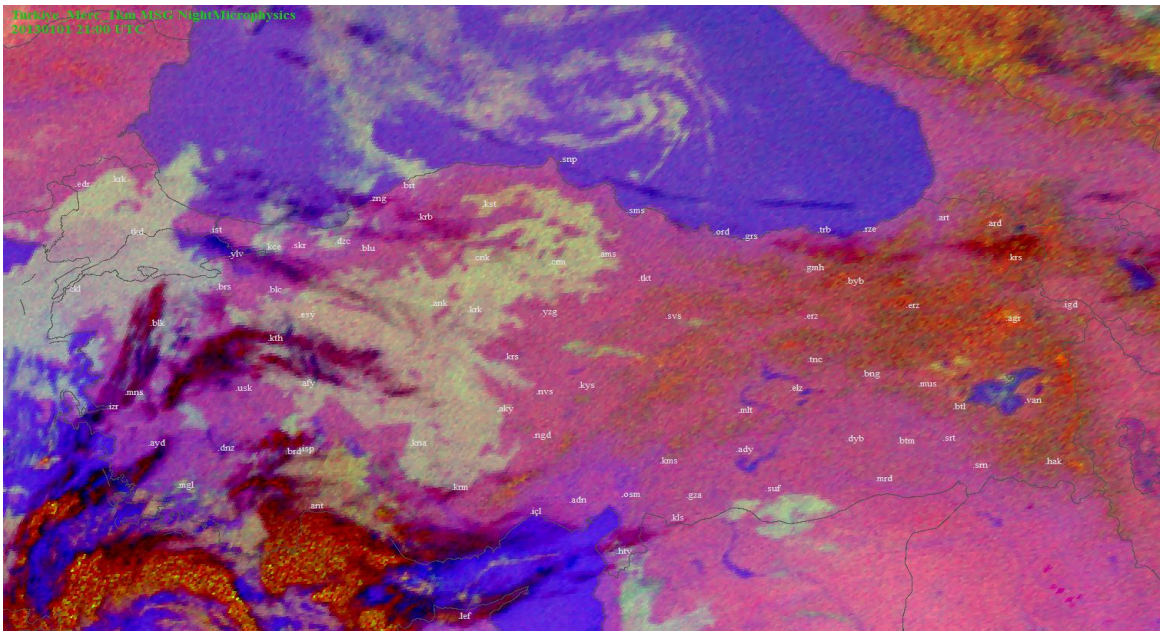
Şekil 16: 01 Ocak 2013 12:00 GMT 12/12/09 HRV

Şekil 17'de 01 Ocak 2013 12:00 GMT, RGB 03/02/01 (Natural) görüntüsü verilmiştir. Marmara ve İç Anadolu'daki sis tabakası kirli beyaz-gri, doğu bölgelerdeki kar örtüsü turkuaz-yeşilimsi, Batı Akdeniz'deki bulutluluk ise daha şeffaf olarak görülmektedir.



Şekil 17: 01 Ocak 2013 12:00 GMT RGB 03/02/01 (Natural)

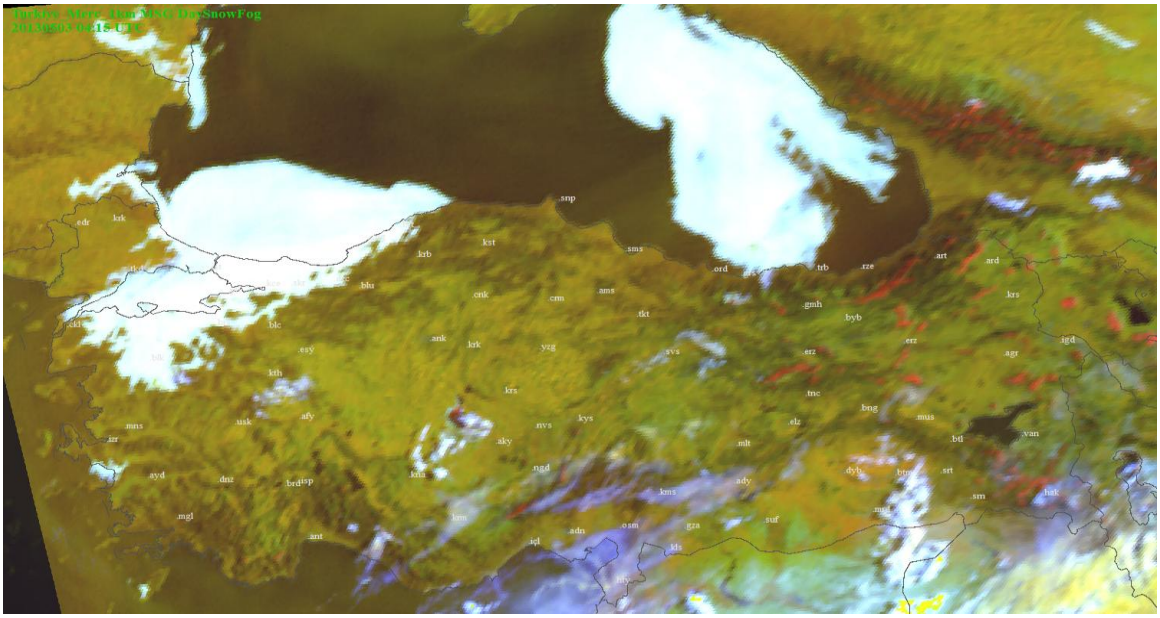
Şekil 18'de 01 Ocak 2013 21:00 GMT, RGB 10-09/09-04/09 (Nightmicrophysics) görüntüsü verilmiştir. Marmara ve İç Anadolu'daki sis tabakası kirli beyaz-gri, doğu bölgelerdeki kar örtüsü turuncu, Batı Akdeniz'deki bulutluluk ise kahverengi olarak görülmektedir.



Şekil 18: 01 Ocak 2013 21:00 GMT RGB 10-09/09-04/09 (Nightmicrophysics)

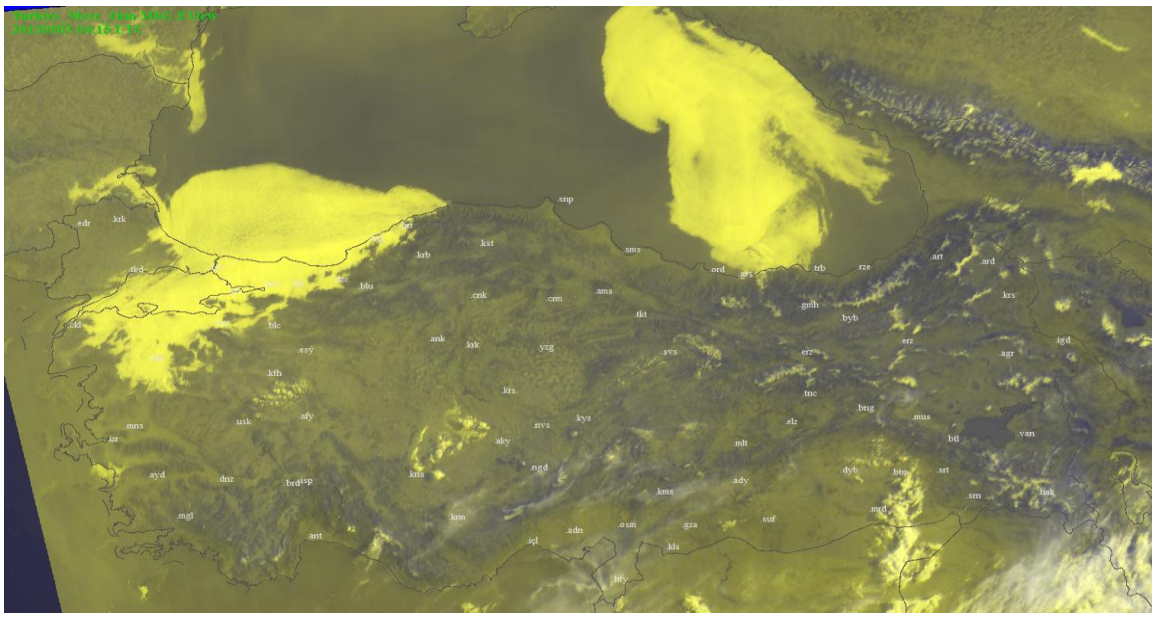
Şekil 19'da 03 Mayıs 2013 04:15 GMT, RGB 02/03/04r görüntüsü verilmiştir. Marmara ile Batı ve Doğu Karadeniz'deki sis tabakası beyazımsı renk tonuyla belli olmaktadır. Aynı gün yoğun sis

nedeniyle İstanbul Boğaz'ının transit gemi geçişlerine kapatıldığı, Şehir Hatları ve İDO'nun bazı seferlerinin iptal edildiği belirtilmektedir.[6]



Şekil 19: 03 Mayıs 2013 04:15 GMT RGB 02/03/04r

Şekil 20'de 03 Mayıs 2013 04:15 GMT, RGB 12/12/09 HRV görüntüsü verilmiştir. Marmara ile Batı ve Doğu Karadeniz'deki sis tabakası beyazımsı renk tonuyla belli olmaktadır.



Şekil 20: 03 Mayıs 2013 04:15 GMT 12/12/09 HRV

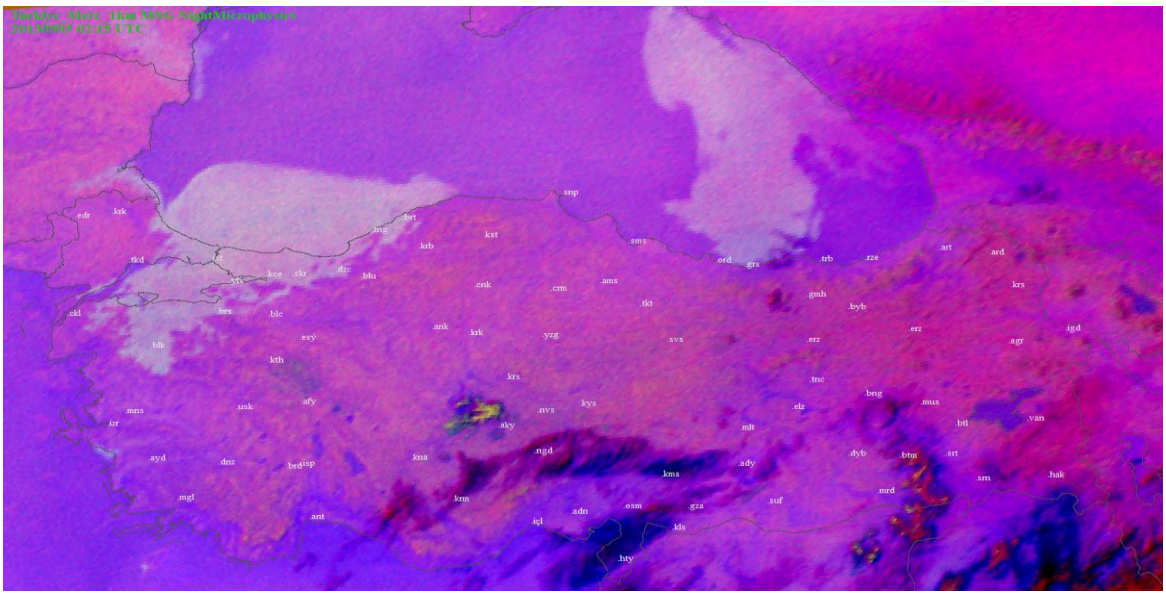
[6] https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/172120--istanbul-bogazinda-yogun-sis

Şekil 21'de 03 Mayıs 2013 04:15 GMT, RGB 03/02/01 (Natural) görüntüsü verilmiştir. Marmara ile Batı ve Doğu Karadeniz'deki sis tabakası kirli beyaz-gri renk tonuyla belli olmaktadır.



Şekil 21: 03 Mayıs 2013 04:15 GMT RGB 03/02/01 (Natural)

Şekil 22'de 03 Mayıs 2013 21:00 GMT, RGB 10-09/09-04/09 (Nightmicrophysics) görüntüsü verilmiştir. Marmara ile Batı ve Doğu Karadeniz'deki sis tabakası kirli beyaz-gri renk tonuyla belli olmaktadır.



Şekil 22: 03 Mayıs 2013 02:15 GMT RGB 10-09/09-04/09 (Nightmicrophysics)

3. SONUÇLAR

Sis tabakasının belirlenmesinde, RGB ürünleri tahmincilere ve kullanıcılara daha net fikirler vermektedir. Özellikle gündüz saatleri için RGB 02/03/04r, RGB 03/02/01 (Natural) ve RGB 12/12/09 HRV, gece saatleri için Nightmicrophysics (Gece mikrofiziği) RGB'si en kullanışlı ürünlerdir. Ayrıca sis tabakasının daha az hareketli olması, animasyon uygulamalarında bulut katmanlarından kolaylıkla ayırt edilebilmesini sağlamaktadır.

TEŞEKKÜR

Katkılarından dolayı Analiz ve Tahminler Şubesinden Mühendis Melik Ahmet TAŞTAN'a ve Uzaktan Algılama Şubesinden Mühendis Erdem ERDİ'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

[1] http://web.boun.edu.tr/meteoroloji/sis.php, Son Kontrol: 19.10.2013.

[2] http://www.theweatherprediction.com/fog/, Son Kontrol: 20.10.2013.

[3] http://www.mgm.gov.tr, Son Kontrol: 20.10.2013.

[4] http://www.eumetsat.int/, Son Kontrol: 21.10.2013.

[5] http://www.haberler.com, Son Kontrol: 22.10.2013

[6] https://www.aa.com.tr, Son Kontrol: 22.10.2013

YÜKSEK FREKANSLI (HF) DENİZ RADARLARI ve TÜRKİYE KIYILARINDA KULLANIMI

Cem DALGÜN
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Deniz Meteorolojisi Şube Müdürlüğü
Ankara
cdalgun@mgm.gov.tr

ÖZET

HF Deniz Radarlarının genel yapısı, kullanım alanları ve Türkiye kıyıları için kullanımına yönelik olan bu çalışmanın temel amacı, ülkemizin denizlere yönelik bilgi eksikliğinin giderilmesi konusunda yeni ve farklı gözlem sistemlerinden yararlanılması ve bunun algısının artırılmasıdır.

Çalışmanın ilk kısmında HF Deniz Radarlarının genel çalışma prensipleri, kullanım alanları, oşinografik ve meteorolojik uygulamaları incelenmiştir.

Sonraki bölümde ise HF Deniz Radarlarının Türkiye kıyılarında kullanımyla ilgili MGM'de Tübitak ile başlatılan proje ile halen yürütülmekte olan "İstanbul Boğazı Karadeniz Çıkışı İki adet HF Deniz Radarı Kurulumu" projesinin geldiği son aşama anlatılmıştır.

Sonuç olarak, dünyada operasyonel meteoroloji konusunda HF Deniz Radarlarından birkaç ülke dışında çok fazla yararlanılmasa da ülkemizde test amaçlı olarak başlatılan bu çalışmadan elde edilecek alansal bazdaki akıntı, dalga ve rüzgar bilgileri hem denizlerimize ait bilgi eksikliğini bir ölçüde giderecek hem de özellikle akıntı bilgisi birçok kurumun ve üniversitelerin kullanımına sunulacaktır.

Anahtar Kelime — HF Deniz Radarı

1. GİRİŞ

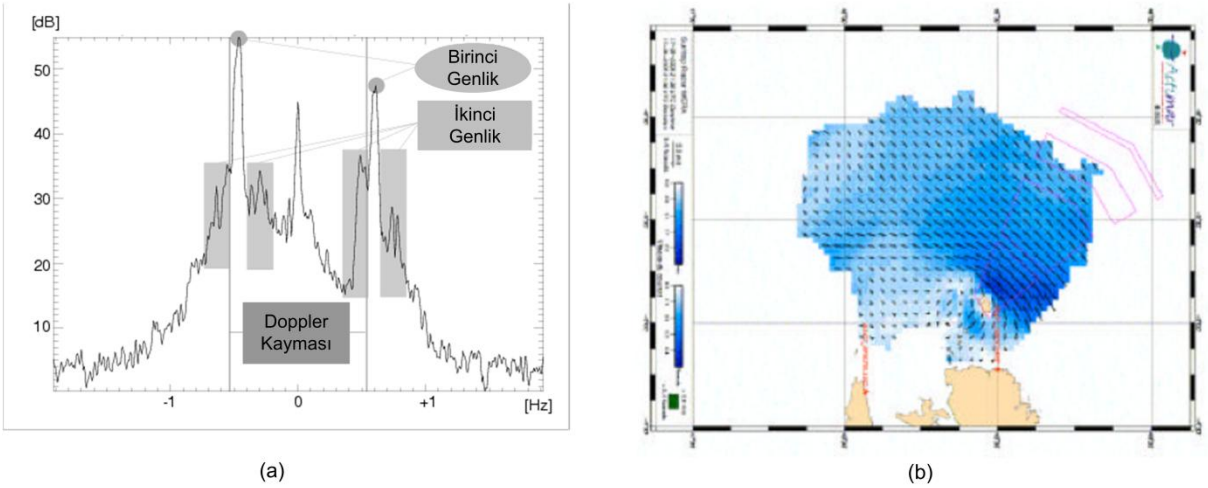
Deniz meteorolojisi deniz çevresindeki atmosfer ve deniz sınırları içerisinde meydana gelen doğal olaylar ile derin denizler, sahil kesimi, sahilden uzak sınırlar içinde kalan sulardaki insane faaliyetlerinin gereksinimi olan bilimsel ve işletme amaçlı deniz meteorolojik bilgi talepleriyle ilgilenir. Ülke güvenliğini sağlayan Deniz Kuvvetlerinin yanı sıra, sürekli büyüyen deniz ticaret filosu ile balıkçılık, deniz ve yat turizmi, kıyıda ve kıyıdan uzakta yapılan su altı maden ve petrol araştırmaları deniz meteorolojisi tahmin ve verilerine ihtiyaç duyar. Bu nedenle sektörün deniz meteorolojik bilgi ihtiyacı çeşitli ölçüm sistemleri ve modellerle karşılanır. Meteorolojik ve oşinografik şamandıralar, platformlar, gönüllü gözlem gemilerinden yapılan ölçümler ile kıyılardan yapılan ölçümler (fenerlerde ve sahil meteoroloji istasyonlarında) deniz meteorolojik gözlem ihtiyacını karşılamaya yönelik önemli sistemlerdir. Tüm bunlara ilave olarak denizlerde geniş bir alanda grid noktası bazında ölçüm yapılabilmesine olanak tanıyan HF Deniz Radarları son dönemde birçok ülke ve özel kuruluş tarafından kullanılmaktadır. Dünyada operasyonel meteoroloji konusunda yaygın bir kullanımı olmamakla beraber özellikle akıntı bilgisi; arama kurtarma, deniz kirliliğinin yayılımı, deniz yüzeyindeki petrol tabakasının tespiti gibi konularda fayda sağlamaktadır.

2. HF DENİZ RADARLARI

Deniz durumunun bilinmesi ve ileriye yönelik tahmini için denizlere ait ölçüm bilgileri (akıntı, dalga, rüzgar) 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) yüzey dalga radarıdır (*İng.* High Frequency Surface Wave Radar). HF Yüzey Dalga Radarları deniz üzerinde ufuk ötesine kadar ölçme yapabilen radarlardır. Yaklaşık 40 yıldır deniz yüzeyindeki akıntıların ve dalga yüksekliğinin (deniz durumunun) ölçülmesi için geliştirilerek Amerika, Almanya, İngiltere, Fransa, Çin, Avustralya Japonya, Kanada tarafından sahada kullanılmaya devam edilmektedir. Deniz şamandırası gibi ölçme sistemlerinden farklı olarak tek bir noktaya ait ölçüm değil binlerce kilometre karelik alanların ölçümlerini harita olarak verebilmektedir. HF Deniz Radarları, elektromanyetik dalganın deniz yüzeyine tutunarak yüzey dalgası biçiminde yayılması ve geri

saçılması prensibine dayanan sistemlerdir. Böylece, elektromanyetik dalgalar yüzeyde kılavuzlanarak ufuk menzilinin ötesine taşınabilir. Örneğin, yüzey dalgalı bir HF radar ile 7 MHz taşıyıcı frekansında 200 km menzilde geri yansıma ölçümleri yapılabilmektedir. Bu yolla, ufuk ötesinden alınan sinyallerde deniz yüzeyi ile ilgili bilgiler algılanabilmektedir. Böylece, HF Radar teknolojisinin gelişmesi ile deniz ve okyanuslarda deniz meteorolojik parametrelerin tahmini yapılabilmektedir. Radar, kıyıya yerleştirildiği noktadan deniz yüzeyine elektromanyetik dalga yayar ve geri saçılan dalgaları bir anten dizisiyle toplar. Dizi anten sisteminden elde edilen geri saçılım sinyallerinden Doppler izgeleri elde edilir ve bu izgeler sistem yazılımı tarafından işlenerek deniz meteorolojik parametrelere dönüştürülür. Radarın ölçeceği ve yayınlanabilir ürün diye tanımlanacak olan deniz meteorolojik parametreler "akıntı hızı ve yönü", "dalga yüksekliği ve yönü" ve "deniz üstü rüzgâr hızı ve yönü" ölçüm değerleridir.

Şekil 4'de örnek bir Doppler izgesi ve Bragg geri saçılımlarının işlenmesiyle elde edilen örnek bir akıntı hız ve yön haritası gösterilmiştir.



Şekil 4. (a) Birinci ve ikinci derece Bragg saçılımlarını gösteren Doppler izgesi (b) Bragg saçılımlarının işlenmesi ile elde edilen akıntı hız ve yön haritası

Deniz meteorolojik parametrelerin ölçülmesi amacıyla sahile konuşlandırılmış bir HF radar ile aşağıdaki ölçümler yapılabilmektedir:

- Yüzey akıntı hızları ölçümü ve akıntı yönünün kestirimi
- Dalga yüksekliği kestirimi

- Baskın dalga periyodu ve yönünün kestirimi
- Yönsüz ve yönlü dalga spektrumu
- Deniz yüzeyi rüzgar hızı ve yönü kestirimi

Yüzey dalgalı HF radar ile deniz meteorolojik parametrelerinin kestirimin dışında hedef takibi ve küçük botların tespiti de yapılabilmektedir.

Bu amacın dışında HF radardan birçok denizcilik uygulamasında yararlanılmaktadır. Bunlar;

- Arama & Kurtarma
- Kaçakçılık, korsan gemilerin tespiti
- Kaçak balıkçılığın önlenmesi
- Gemi trafiği kontrolü
- Deniz yüzeyindeki petrol kirlilikleri ve yayılmasının tespiti
- Ufuk ötesi gözetim

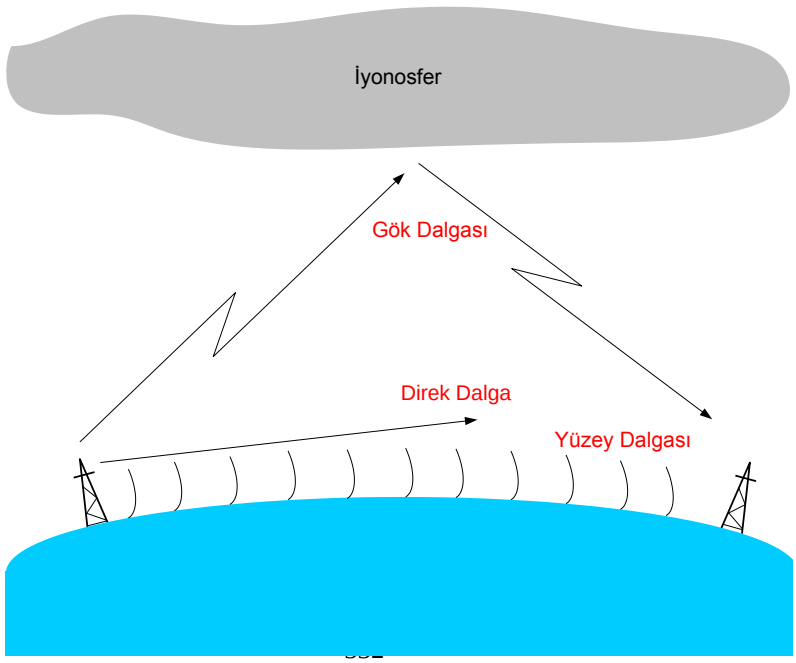
2.1. HF Yayılımı

2.1.1. Yer Dalgası Yayılımı

Yer dalgası yer yüzeyine tutunup ilerlediğinden yer eğriliğini izler ve dikey polarizasyonlu dalgalardır. Yüzeyin elektriksel iletkenliği, anten yüksekliği, polarizasyon, çalışma frekansı, yüzey yapısı yer dalgasının yayılımını etkiler. Ayrıca yer dalgasının yayılımı gün ve mevsime göre de değişebilir. En bilinen kullanım alanı ufuk ötesi gözetimdir.

2.1.2. Gök Dalgası Yayılımı

HF'in gök dalgası şeklinde yayılmasında İyonosfer taşıyıcı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2. HF Yayılımı

2.2. HF Deniz Radarı Sistemleri

Dünya üzerinde iki tip HF Deniz radarı sisteminin kullanımı yaygındır. Birinci tipte tek bir saha çalışmasında iki anten kullanılmaktadır. Alıcı ve verici antenler. Kullanımı kolay daha az alana ihtiyaç vardır. Bu sistem özellikle akıntı ölçümü için idealdir. En önemli avantajı az yer kaplaması ve daha ucuz olmasıdır. Teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 1 : Tekli Anten Tipli HF Radarın Teknik Özellikleri

Özellik	Sistem Modeli		
	Standart	Yüksek Çözünürlük	Uzun Menzil
	Değer	Değer	Değer
Çalışma Frekansı (MHz)	11.5-14 veya 24-27	24-27 veya 40-44	4.3-5.4
Menzil (km)	Kıyıboyu : 20-60 Kıyıdan Uzakta : 20-75	Kıyıboyu : 15-30 Kıyıdan Uzakta : 15-20	Kıyıboyu : 100-220 Kıyıdan Uzakta : 140-220
Çözünürlük (km)	0.5-3	0.2-0.5	3-12
Güç (W)	40	40	40
Verici Anten Sayısı	1	1	1
Verici Anten Boyu (m)	4.8 (11-14 MHz) 2.4 (24-27 MHz)	4.8 (11-14 MHz) 2.4 (24-27 MHz)	4.8 (11-14 MHz) 2.4 (24-27 MHz)
Alıcı Anten Sayısı	1	1	1

Diğer tipte verici anten sayısı genellikle 4, alıcı anten sayısı ise 8, 12 ya da 16 olmaktadır. Bu antenlerle ışın taraması yapılarak, elde edilen sinyallerin işlenmesi ve spektrum analiziyle

oşinografik sonuçlar elde edilmektedir. Bunlar deniz yüzey akıntısı, dalga yüksekliği ve yönüdür. Rüzgar hızı ve yönü ise hesaplamayla elde edilir. Tek sahaya kurulum yapıldığında dalga ve akıntı bilgisi alınırken, iki sahaya kurulum yapıldığında yön bilgisi de alınabilmektedir. Anten sayısı arttıkça elde edilen dalga ölçümlerinin doğruluğu artıyor. Diğerine göre daha pahalı ama dalga ve rüzgar ölçümünde daha tutarlı. Dezavantajı yerleşim yeri bakımından çok alan kaplamasıdır.

Çoklu anten tipli HF radarların teknik özellikleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: Çoklu Anten Tipli HF Radarın Teknik Özellikleri

Özellik	**Değer**
Çalışma Frekansı (MHz)	5-50 MHz
Menzil (km)	20-200
Güç (W)	4x7
Verici Anten Sayısı	Genellikle 4
Verici Anten Boyu (m)	2
Verici Anten Ağırlığı (kg)	2.5
Verici Anten Bant Genişliği	± 500 kHz, SWR < 2:1
Alıcı Anten Sayısı	Yön bulmada kare şeklinde dizili 4 adet Hüzme oluşturmada düz sıralı 8-16 arası
Alıcı Gürültü Seviyesi	-166 dBm, 1 Hz bant genişliğinde
Alıcı Sistem Ağırlığı (kg)	22
ADC çözünürlüğü	16-bit
ADC Maksimum Örnekleme Oranı	200 ksps
Çalışma Aralığı	50 MHz: akıntılar için 40 km dalgalar için 20 km 30 MHz: akıntılar için 60 km dalgalar için 30 km 15 MHz: akıntılar için 100 km dalgalar için 50 km 8 MHz: akıntılar için 200 km dalgalar için 90 km
Azimut Çözünürlüğü	Yön bulma: < 2 derece (4 anten) Hüzme oluşturma: ± 3 derece (16 anten)

3. HF DENİZ RADARLARININ TÜRKİYE KIYILARINDA KULLANIMI

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 2008 yılında Tübitak'ın başlattığı HF Deniz Radarı projesini desteklemiş ve proje sonucu ortaya çıkacak ürünün müşteri kuruluşu olmuştur. MGM 2012 yılı içerisinde "İstanbul Boğazı Karadeniz Çıkışı 2 adet HF Deniz Radarı Sistemi" kurulumu çalışmalarına başlamış Kasım 2013 itibariyle kurulumun sonuçlanması beklenmektedir.

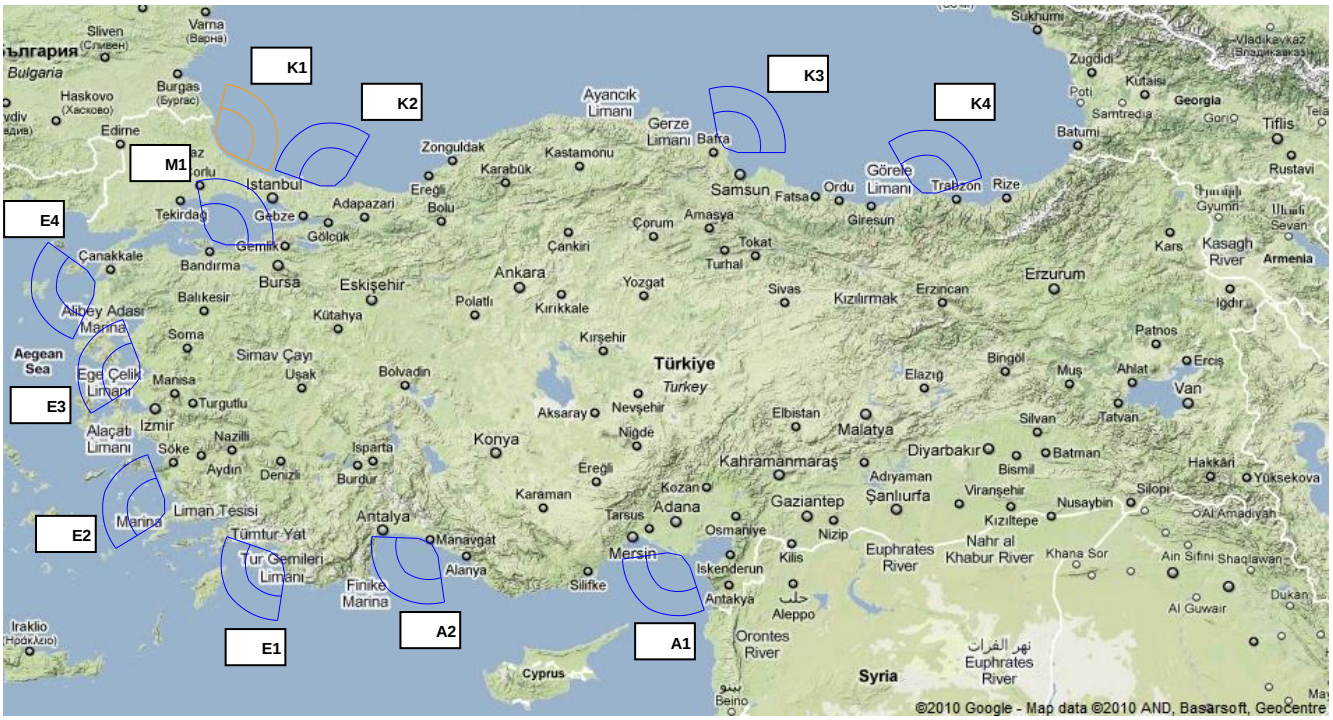
3.1. Tübitak HF-DENRAD Projesi

Bu projede dört elemanlı bir verici anten dizisi ve onaltı elemanlı bir alıcı anten dizisi içeren iki HF-DENRAD Prototipi kullanılacaktır. Bir yerleşkeye dual yapıda kurulacak ve eşzamanlı biçimde çalıştırılacaktır. Alıcı anten dizisi demeti yatayda yaklaşık 100 derecelik bir açıyı tarayacak biçimde elektronik olarak yönlendirilecektir. Her bir sistem, deniz meteorolojik parametrelerin elde edilmesinde kullanılacak olan Doppler izgesinin 0,00416 Hz çözünürlüğe ulaşmasını sağlayacak ölçüde tümleştirme zamanına sahip olacaktır. İki radar sisteminin ortak kaplama alanı içinde deniz meteorolojik parametreler vektörel olarak elde edilirken, ortak olmayan alanlar için parametrelerin radyal bileşenleri elde edilecek ve veriler merkeze çevrimiçi aktarılarak, harita üzerinde gösterilecektir. Menzilde 80 km'ye kadar olan uzaklıkta akıntı vektörleri, 50 km kadar olan uzaklıkta dalga yüksekliği ve rüzgar vektörleri üretilecektir.

HF-DENRAD Prototipinin kurulacağı pilot ölçüm yerleşkesi İğneada açıkları olarak belirlenmiştir. Batı Karadeniz'in sahip olduğu dalga spektrumuna özgü çözümler üzerinde çalışılarak ölçülen deniz meteorolojik parametrelerin doğruluğu arttırılacaktır. HF-DENRAD sistemi ile elde edilen deniz meteorolojik parametreler, bir şamandıranın denizdeki ölçüm alanında üç ayrı noktaya yerleştirilmesi ile elde edilen ölçümlerle doğrulanacaktır. Elde edilen ölçüm sonuçları halen MGM tarafından kullanılmakta olan METU3 Dalga Tahmin Modeli ile de karşılaştırılacaktır.

Bu proje sonunda gerçekleştirilecek olan HF-DENRAD prototipi yeterli süre test edildikten sonra tüm Türkiye kıyılarına yaygınlaştırılacaktı. Ancak Kasım 2011'de TÜBİTAK'ın aldığı bir kararla tüm TARAL projeleri askıya alınınca bu proje de durmak zorunda kaldı.

Şekil 3'de Tübitak projesiyle prototip projenin kurulacağı İğneada HF Deniz Radarı ve daha sonra yaygınlaştırılma aşamasında kurulması planlanan diğer 10 bölgenin yerleri gösterilmiştir.



Şekil 3: Tübitak projesi için öngörülen HF Deniz Radarı kurulum bölgeleri

3.2. İstanbul Boğazı Karadeniz Çıkışı İki Adet HF Deniz Radarı Sistemi Projesi

Tübitakla yapılmakta olan projenin askıya alınmasından sonra Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Türkiye kıyılarında ilk olacak bu çalışmayı kendisi başlatmıştır. İlk aşamada test amaçlı yapılması planlanan bu çalışma için Boğaz trafiğinin en yoğun yerlerden birisi olan olan İstanbul Boğazının Karadeniz çıkışı en uygun yer olarak tespit edilmiştir.

Radarların kurulacağı yerlerin ve radarların temel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla MGM tarafından bir çalışma yapılmış ve bu çalışma doğrultusunda Boğazın her iki yakasında radar kurulacak sahalar belirlenmiştir. Bunlar Tablo 3 ve Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 3: İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışı Anadolu tarafı

Pos.	**Açıklama**	**Sonuç**	
1	Alan Adı	Yirmibir (Area21)	
2	Bölgesi	İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışı Anadolu tarafı	
3	Pozisyon	Boylam:41º13’23’’	Enlem:29º09’55’’
4	Elektriğe olan mesafesi	450 m	
5	Yer yüzeyi durumu	Uçurum	
6	Deniz seviyesinden yükseklik	80 m	

Tablo 4: İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışı Avrupa tarafı

Pos.	**Açıklama**	**Sonuç**	
1	Alan Adı	Golden Beach	
2	Bölgesi	İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışı Avrupa tarafı	
3	Pozisyon	Boylam:41º14’47’’	Enlem:29º05’25’’
4	Elektriğe olan mesafesi	650 m	
5	Yer yüzeyi durumu	Uçurum	
6	Deniz seviyesinden yükseklik	20 m	

Kurulacak bu sistemle radarların kapsama alanı içerisinde akıntı hızı ve yönü, rüzgar hızı ve yönü, dalga yüksekliği ve yönü, dalga spektrumu, bilgileri sağlanacaktır. Boğazın her iki yakasına kurulacak radar sisteminin her birinde 4 verici, 12 alıcı anten bulunmaktadır. Her iki HF radar sistemi bireysel olarak radyal haritalar üretmekle birlikte iki radar sisteminin verileri bir program yardımıyla birleştirilerek kombine haritalar da üretilecektir.

İki radar istasyonunda da 16 MHz frekans bandını kullandığı sistemde teknik özellikler aşağıdaki gibidir.

Minimum çalışma mesafeleri (working range)

- Akıntı : 50 km

- Rüzgar yönü : 30 km
- Dalga yüksekliği : 25 km
- Dalga spektrumu : 15 km

Her bir radar sisteminin doğrulukları (accuracy)

- Radyal akıntı hızı : 2 cm/s (10 dak. entegrasyon zamanı için)
- Akıntı yönü : +/- 10
- Belirgin dalga yüksekliği(Hs) : < 15% (20 dak. entegrasyon zamanı için)
- Ortalama dalga yönü : < 5° (20 dak. entegrasyon zamanı için)
- Ortalama dalga periyodu : < 15%
- Yönsel dalga spektrumu : 0.01 Hz
- Rüzgar yönü : 10° ile 40° arası
- Rüzgar hızı : 2 m/s

Her bir radar sisteminin dalga tespiti için limitleri:

- Minimum belirgin dalga yüksekliği (Hs min) : Hs için 0.4 m, Spektrum için 1m
- Maksimum belirgin dalga yüksekliği (Hs max) : 6.0 m

3.2.1 Verici (Transmitter-TX) ve Anteni

Toplam 4 antenin bulunduğu verici sistem 16,100-16,200 MHz band aralıklarında çalışacak ve izin verilen 100 KHz band için menzil çözünürlüğü (range resolution) en fazla 1500m ve kullanılan grid çözünürlüğü ise en fazla 1800m dir. Verici çıkış gücü toplam minimum 25W tır. Aşağıdaki fotoğrafta Avrupa yakasına kurulumu yapılan HF Deniz Radarının verici antenleri görülmektedir.



Şekil 4: HF Deniz Radarı Avrupa Yakası Verici Antenleri

3.2.2. Alıcı (Receiver-RX) ve Anten Dizisi.

En az 12'li alıcı anten dizisi (linear array) kullanılmaktadır**.** Alıcı antenler dizisi saha konumuna göre doğrusal (linear), bükey (curved) yada rastgele (random) ayarlanabilmektedir. Kurulan sistemde Avrupa yakasında doğrusal, Anadolu yakasında bükey kurulum yapılmıştır. Alıcılar -166 dBm'den (1Hz band genişliği için) daha düşük bir gürültü seviyesine sahiptir.

Alıcı anten dizisi aşağıdaki özellikleri sağlamaktadır

- Açısal görüş alanı : Minimum 90° (+/- 45°)
- Açısal doğruluk : ± 1°
- Işın genişliği :Merkezde: ± 4°, Tipik: ± 6°, Kenarda: ±8°

Aşağıdaki fotoğraflarda sırasıyla Avrupa ve Asya yakaları alıcı anten dizilişi görülmektedir.

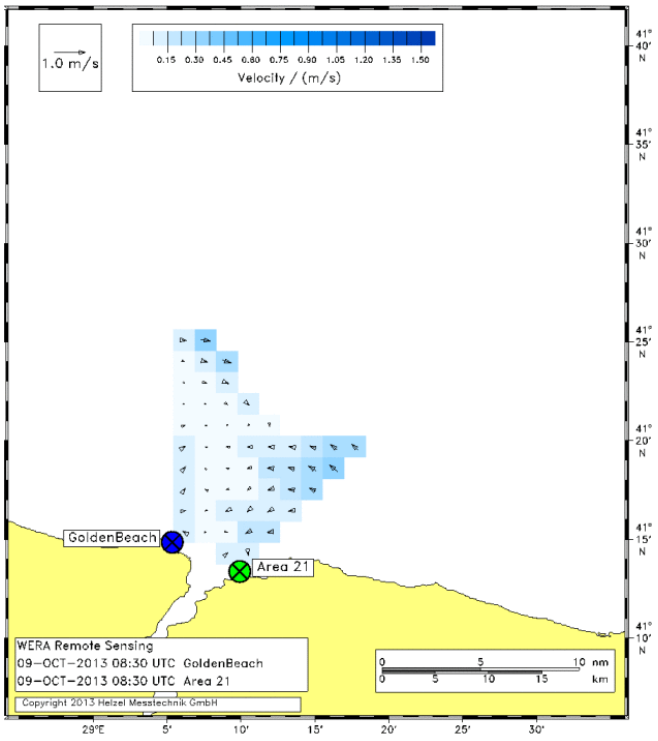


Şekil 5: HF Deniz Radarı Avrupa Yakası Alıcı Antenleri

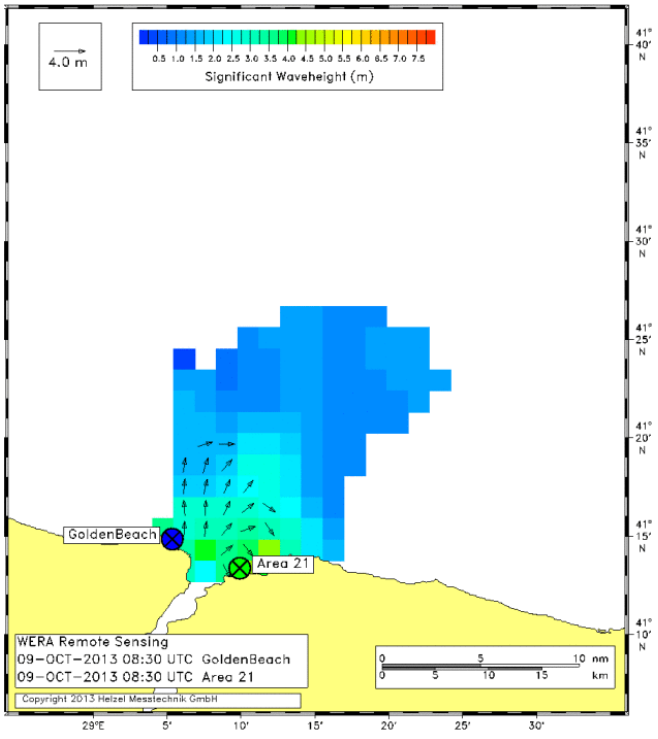


Şekil 6: HF Deniz Radarı Anadolu Yakası Verici Antenleri

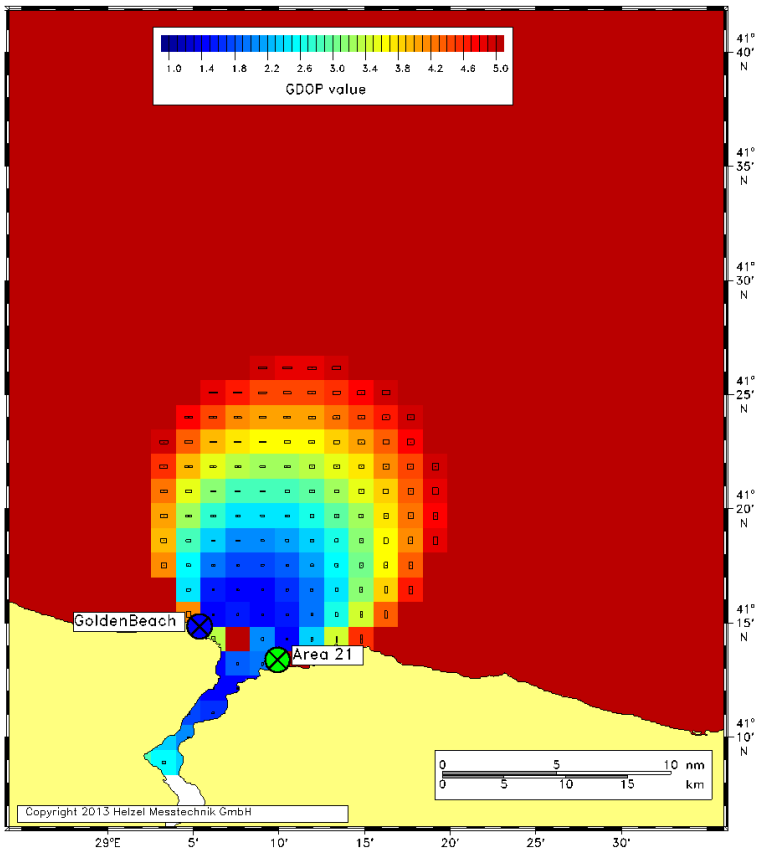
Kurulumu Ekim 2013'te yapılan iki radardan oluşan sistem ilk ürünlerini vermeye başlamıştır.



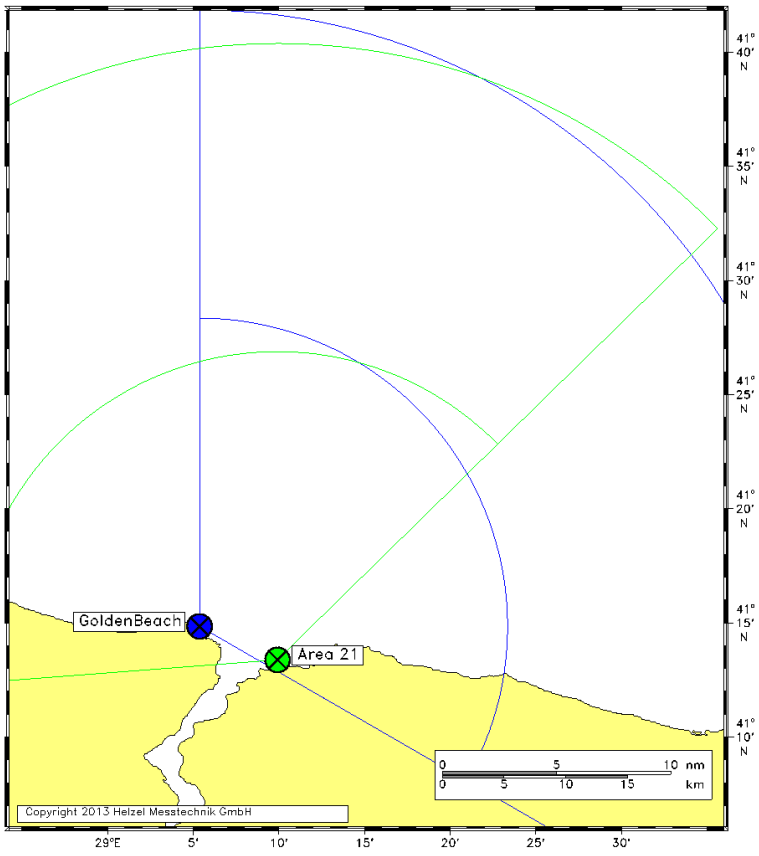
Şekil 7:HF Deniz Radarlarına ait Birleştirilmiş Akıntı Hızı ve Yönü Haritası



Şekil 8:HF Deniz Radarlarına ait Birleştirilmiş Belirgin Dalga Yüksekliği ve Yönü Haritası



Şekil 9: Veri (Sinyal) Kalitesini Gösteren GDOP Haritası



Şekil 10: Her iki radarın kapsama alanı ve kesişme bölgesi

3.3. HF Deniz Radarı Projesinin Yaygın Etkisi

3.3.1. MGM'ye yapacağı katkılar ve sağlayacağı faydalar

a) Bu proje ile gerek HF deniz radarı, gerekse şamandıra ile denizler üzerindeki hava ve deniz koşullarının bilinmesi, daha gelişmiş ve güvenilir deniz raporu ve tahminlerinin hazırlanmasının önünü açacaktır.

b) METU3 ile ECMWF'ten gelen dalga tahmin modeli ürünleri mevcut durumda ülkemiz denizleri için herhangi bir şekilde doğrulama (verification) yapılamadan kullanılmaktadır. HF-DENRAD ile elde edilecek aynı parametrelere ait bilgileri karşılaştırmak mümkün olacaktır.

c) Kuramsal sonuç ve analizler deney ve model verilerinin tutarlılığı konusunda yön gösterecektir.

d) MGM denizlerimizdeki meteorolojik gözlem kabiliyetini arttıracak ve yurtiçindeki diğer kurum ve kuruluşlarla meteorolojik ve oşinografik işbirliği imkanlarını geliştirecektir.

e) Çevresel gözlemlere halkın dikkatini arttıracak ve MGM'nin ve ilgili kuruluşların deniz araştırmaları çalışmalarına destek sağlayacaktır.
f) MGM'nin, Türk karasuları ile çevre denizler üzerindeki rolünün önemi vurgulanmış olacaktır.
g) Ülkemizde de deniz gözlemlerinin operasyonel hale gelmesi, çevresel değerlendirme ve deniz gözlem faaliyetlerine verilen önem adına büyük bir adım atılmasının göstergesi olacaktır.

3.3.2. Diğer Kurumlara yapacağı katkılar ve sağlayacağı faydalar

a) Denizlerin durumuna ilişkin bilgiler elde edilebileceği için Denizcilik Müsteşarlığı, Üniversitelerin Kıyı ve Liman Mühendisliği Bölümleri ile Deniz Bilimleri Fakülteleri, deniz taşımacık şirketleri gibi bir çok kurum bu bilgilerden yararlanabilecektir.
b) HF DENRAD ile gözetim (surveillance) bilgilerine de erişebilmek zaman içinde mümkün olduğu için Deniz Kuvvetleri Komutanlığı da sistem çıktılarından gerektiğinde faydalanabilecektir.
c) Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı (SHOD), Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü (KEGM), Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) Başkanlığı, Afet Koordinasyon Merkezi (AKOM), Sahil Güvenlik Komutanlığı ve ilgili Belediyelere sistemin tanıtımını yapılıp detaylı akıntı ve meteorolojik bilgilerin kullanımı sağlanabilecektir.

3.3.3. Ulusal teknolojik gelişmeye ve bilimsel birikime yapacağı katkılar ve sağlayacağı faydalar

a. Oşinografik araştırmalar
b. Balıkçılık yönetimi
c. İnşaat Mühendisliği
d. Arama, Kurtarma operasyonları
e. Çevre kirliliğinin belirlenmesi
f. Elektromanyetik uygulamalar.

4. SONUÇ

Sonuç olarak, Türkiye kıyılarını gözleyecek şekilde kurulacak olan HF Deniz Radarları sistemi sayesinde, deniz meteorolojik parametrelerin uzaktan ve geniş alanda ölçümü konusunda önemli bilgi ve deneyim elde edilecek, bu veriler dalga tahmin modellerinde kullanılabilecek, HF Deniz radarları sistemi ile elde edilen birikim askeri amaçlı ve/veya sivil amaçlı hedef saptama, arama kurtarma çalışmaları, deniz kirliliğinin takibi gibi uygulamalarda da kullanılabilecektir. Avrupa çapında HF Radarlarla ilgili bir ağ kurulması yönünde çalışmalar sürmektedir ve ülkemizin de bu ağa girme olanağı doğacaktır.

HF deniz radarı çıktılarının operasyonel kullanımına geçilmeden önce şamandıra ve model çıktılarıyla karşılaştırılması ve ondan sonra kullanılması gerekmektedir.

Her ne kadar HF deniz radarının dalga ve rüzgar ölçümleri göz önüne alındığında operasyonel amaçlı kullanılması ilk aşamada mümkün olmasa da, gelecekte bu ölçümleri günlük deniz tahminlerinde kullanılabilecek düzeye getirebilmek ilk hedef olmalıdır. Halen Avustralya ve İspanya'da (özellikle akıntı bilgisi) operasyonel olarak kullanılmaktadır.

Ülkemizin de denizlerle ilgili hem bilgi hem de söz sahibi olacağı bu teknolojiyi ilk aşamada test amaçlı kurup işletmesi ve çıkacak sonuçlara ve gelişmelere bağlı olarak bunu yaygınlaştırmayı amaçlaması düşünülmelidir.

EUMETSAT Verilerinin İşletim Sistemi Bağımsız Yorumlanması ve Görüntülenmesi

Mohammad Shameoni Niaei
Atatürk Üniversitesi
Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM)
Erzurum
atasam@atauni.edu.tr

Yücel Kılıç
Atatürk Üniversitesi
Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM)
Erzurum
atasam@atauni.edu.tr

ÖZET

EUMETSAT uydusundan gelen verileri almak, işlemek ve gerektiğinde görüntülemek hâli hazırda EmutCast yazılımıyla mümkündür; bununla birlikte alınan verilerin boyutu ve söz konusu yazılımın istemci bilgisayarında kullandığı sistem kaynağı göz önüne alındığında pek iyi bir seçim olmadığı görülebilir. Bu bağlamda, Erdem ERDİ'nin geliştirdiği ve Qt framework ile desteklediği TMet pro (verilerin alınması) ve TMet vis (alınan verilerin görüntülenmesi) yazılımlarını kullanmak daha uygun olur. Söz konusu yazılımlar yalnızca MS Windows türevi işletim sistemlerinde çalıştığından, ATASAM ekibi olarak Python ve Qt kullanılarak TMet vis'in işletim sisteminin bağımsız bir sürümünü, Camiryo'yu geliştirdi. Camiryo, TMet'i esas alıp TMet'in bir alt projesi konumundadır.

Anahtar Kelimeler — *TMet; EUMETSAT; Camiryo; DAG Projesi.*

1. GİRİŞ

DAG (Doğu Anadolu Gözlemevi) Projesi[1], 2012 yılında Kalkınma Bakanlığı[2] tarafından desteklenmiş, Türkiye'nin en büyük teleskobuna (4 m sınıfı) sahip olacak, Dünya'nın en yüksek üçüncü gözlemevi yerleşkesinde (Erzurum – Konaklı – Karakaya Tepeleri, 3170 m) kurulumu yapılacak ve uzun yıllar astrofiziğe hizmet verecek uluslararası bir gözlemevini hedefleyen

projedir. Buna benzer bilimsel çalışmalar yapılan merkezlerde veri alımı, paylaşılması, güvenliği ve işlenmesi, sürekliliği gibi konular büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle sistem kaynaklarını iyi kullanan ve güvenliği üst düzeyde tutan yazılımların kullanılması önemlidir. Söz konusu yazılımlar işletim sistemini de kapsadığından, ilk olarak işletim sistemi seçimi yapılmalıdır. Bu aşamada açık kaynak kodlu işletim sistemleri göze çarpmaktadır. Bu tür sistemlerin kodları açık olduğundan sistemin çalışma şekli ve güvenliği en üst düzeyde olup, gerektiğinde çalışma biçimine müdahale edilebilir, bu nedenle GNU/Linux türevi işletim sistemlerinden biri tercih edilmiştir.

DAG gibi büyük gözlemevleri için hava koşulu ve tahmini büyük önem arz etmektedir. Özellikle bulutluluk, nem ve rüzgar hızı gibi değerlerin anlık olarak bilinmesi hayati önem taşımaktadır. Yerel istasyonlar ile anlık hava koşulu bilgisi alınabilirken, ileriye dönük tahmin yapılması güçtür. Bu nedenle uydu teknolojisinden yararlanarak gözlemevinin etkin, güvenli ve aynı kalitede veri üretecek şekilde çalışması için gerekli bilgi edinilebilir. Bu koşullar düşünüldüğünde; DAG'ın, Türkiye'nin kurucu üyesi olduğu EUMETSAT[3] uydu sistemi verilerinden yararlanması kaçınılmaz ve çok önemlidir.

2. ASTRONOMİ VE METEOROLOJİ

Astronomi biliminin uygulama merkezleri olan gözlemevlerinin konumu seçilirken, o yörenin geriye dönük meteoroloji bilgisi değerlendirilen ilk ve en önemli parametredir. Çünkü bu ileride yapılacak gözlemlerin kalitesini belirleyecek en önemli husustur. Bu nedenle gözlemevi seçiminde aşağıdaki temel koşullar dikkate alınır.

2.1 Gözlemevi seçimi koşulları

- Yıl boyunca açık gün sayısı
- Yıl buyunca ortamala rüzgar hızı ve yönü
- Yıl boyunca ortalama nem ve sıcaklık değişimi
- Rakım
- Işık kirliliği
- Alt yapı (yol, su, elektrik, iletişim, vb.)

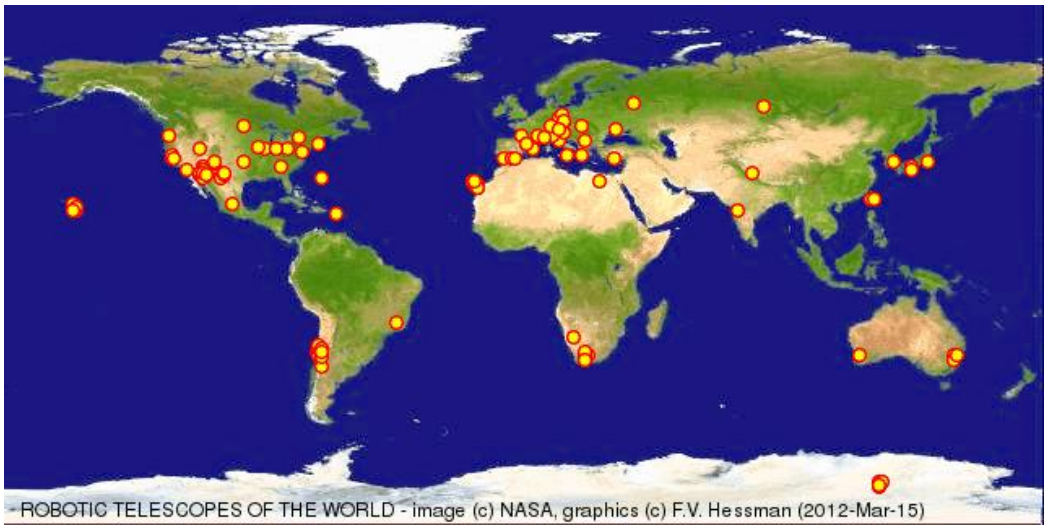
2.2 Hava tahmini

Hava tahmini yapan enstitü ve kurumlar genellikle yerleşik hayatın yoğun olduğu bölgelerin ayrıntılı hava durumu raporlarını yayınlarlar. Buna rağmen, gözlemevleri genellikle yerleşik

hayatın çok uzak olduğu bölgelere inşa edilirler. Bu nedenle, söz konusu kurumların hava tahminleri, gözlemevleri için genellikle yetersiz kalmaktadır. Sonuç olarak; gözlemevleri bulundukları bölgenin hava durumunu, anlık ve ileriye dönük tahmin etmek, bilmek durumundadır. Klasik bir gözlemevinde, yerel olarak hava durumunu ölçen basit bir istasyon bulunur. Temel olarak sıcaklık, rüzgar hızı ve nem bilgisi gözlemsel veriyle beraber kaydedilir.

2.3 Robotik gözlemevleri

İlerleyen teknolojiyle beraber, insandan kaynaklanan hataları en aza indirmek için çeşitli yazılım ve donanımlar kullanılarak robotik gözlemevleri tercih edilmektedir (ROTSE[4], BOOTES[5], MASTER[6] vb). Şekil 1'de dünya üzerinde çalışan robotik teleskop konumları gösterilmektedir.

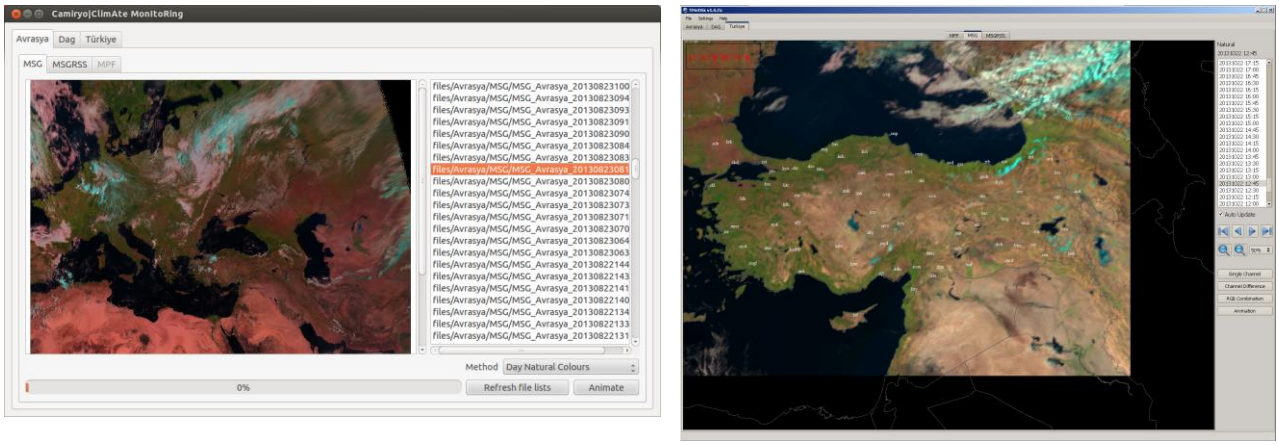


Şekil 1: *Dünya üzerinde robotik teleskopların konumları*

Bu gözlemevleri meteoroloji bilgilerinden yararlanarak astronomik gözlemi başlatma, gerektiğinde ara verme ve sonlandırma işlemlerini otomatik olarak yapmak zorundadırlar. Bu durumda meteorolojik veriler otomatik olarak yorumlanmalıdır. Gözlem yapmakta olan bir teleskop, yağış olasılığı durumunda çevre donanımlarıyla birlikte kendisini korumak için gözlemi durdurmalı ve kubbesini kapatmalıdır. Olası bir kaza pek çok gözlem aracını kullanılmaz hale getirip, büyük maddi hasarlara neden olabilir. Bu hususlar göz önüne alındığında meteoroloji bilgileri, yerel istasyon verileri, uydu verileriyle karşılaştırılıp daha duyarlı sonuçlar elde edilebilir.

3. DAG VE METEOROLOJİ

DAG yerleşkesinde kurulacak olan büyük teleskop ile Atatürk Üniversitesi yerleşkesinde halen aktif olan (50 cm çaplı) ATA50 teleskobu[7-8] robotik olarak çalıştırılacağından meteoroloji bilgisinin, sistematik olarak yorumlanması gerekmektedir. Bunun için DAG yerleşkesine yerel olarak meteorolojik takip yapmak üzere; AWOS (Automated Weather Observing System), Boltwood Cloud Sensor II[9], Davis Vantage Pro 2[10], Seeing Monitor[11], All Sky Camera[12], DIMM (Differential Image Motion Monitor)[13] teleskobu ve SQM (Seeing Quality Meter)[14] gibi anlık atmosferik ve astronomik durumu ve kalitesi tesbiti yapan sistemler kurulmaktadır. Bu bağlamda, ATASAM olarak ileriye dönük atmosferik tahmin yapılabilmesi için, EUMETSAT verilerinin platform bağımsız bir şekilde, analiz edilmesi ve değerlendirilmesi için Camiryo[15] adıyla bir yazılım projesi başlatılmıştır. Bunu için Erdem ERDİ'nin geliştirdiği, TMet projesi[16] temel ve örnek alınmıştır. Daha sonra anlık verilerle, EUMETSAT verileri bir araya getirilip robotik gözlemevinin güvenilir bir şekilde çalışması sağlanacaktır. Şekil 2'de merkezimizde kullanımakta olan Camiryo ve TMet'ten birer görüntü yer almaktadır.



Şekil 2: *Sağda: Camiryo'dan bir ekran görüntüsü. Bu götüntü GNU/Linux dağıtımı olan Ubuntu işletim sisteminden alınmıştır. Solda: TMet Pro'dan bir ekran görüntüsü. Bu görüntü ise Windows iştetim sisteminden alınmıştır.*

Şekil 3'te ekibimiz tarafından robotikleştirilme sürecinde olan ve Erzurum'da üniversite yerleşkesinde bulunan ATA50 teleskobu ve binası görüntülenmiştir:



Şekil 3: *ATA50 Teleskop ve binası*

Şekil 4'te DIMM teleskobunun üzerine kurulacağı DIMM platformu görüntülenmiştir. 7 metrelik bir kule, 3170 m yükseklikteki Karakaya Tepeleri'nin zirvesine 2013 yılında inşa edilmiştir. Bölgenin anlık atmosferik durum bilgisini ve görüş kalitesi ölçümü bu kule üzerinde yapılmaktadır. DIMM deney teleskobu da konumu nedeniyle robotik çalışmak zorundadır.



Şekil 4: *DAG - DIMM deney kulesi*

Söz konusu kulenin üzerinde şu an AWOS, radyolink ve güvenlik kameraları bulunmaktadır. Birkaç hafta içerisinde ise Boltwood CSII, Seeing Monitor, All Sky Camera, Davis, SQM gibi sistemler ve DIMM teleskobu kurulacaktır. Şekil 5'te de merkezimizde çalışan ve EUMETSAT verilerinin alınmasında kullanılan 1 m'lik çanak anten görülmektedir.



Şekil 5: *DAG – EUMETSAT çanak anteni*

3.1 Camiryo’nun hedefi

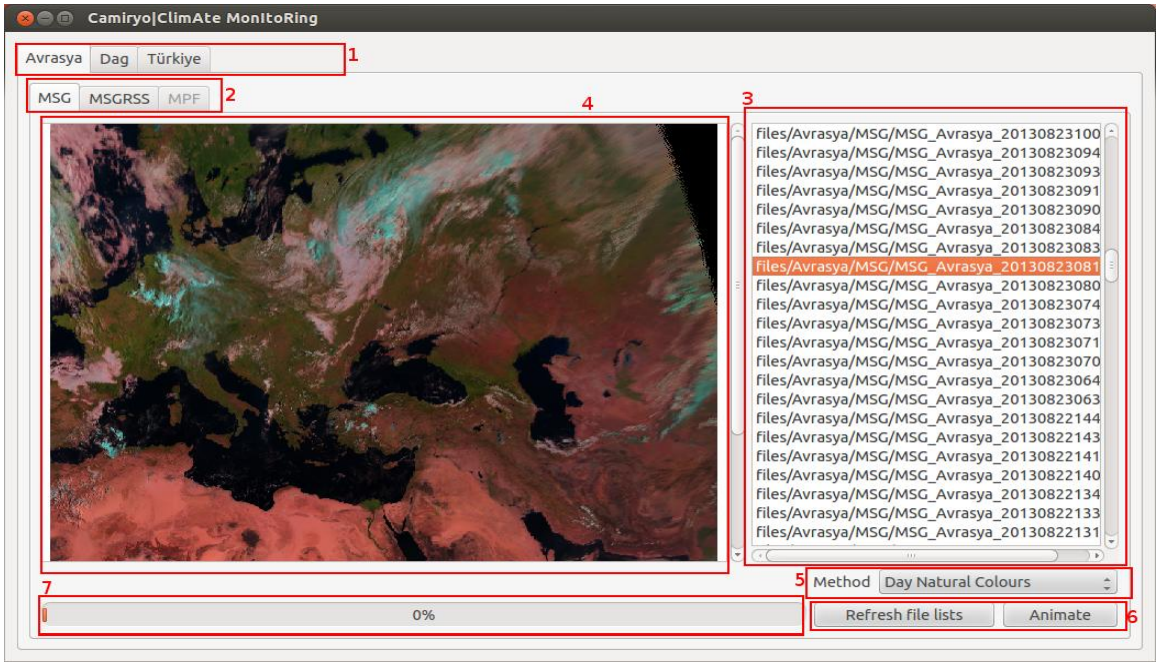
Camiryo'nun olması istenen durum aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- EUMETSAT'tan verilerin alınması ve depolanması
- Alınan verilerin değerlendirilmesi
- Gerektiğinde teleskoba ve çevre donanımına kapatma/açma sinyallerinin gönderilmesi
- İstendiğinde belirli bir konumun istenilen tarihte atmosfer koşullarının görüntülenmesi veya değerlerinin gösterilmesi

3.2 Camiryo’nun şimdiki yetenekleri

- TMet’in üretmiş olduğu HDF5 dosyalarından RGB (Day Natural Colors, Night Microphysical, Day Solar vd.) görüntü elde etmek
- İstenilen zaman aralığını canlandırmak

3.3 Camiryo ve bileşenleri



Şekil 6: *Camiryo yazılımının araçları*

1) TMet ayar ekranından seçilmiş olan bölgeler.
2) TMet ayar ekranından seçilmiş olan uydular.
3) Dosya listesi.
4) Görüntüleyici.
5) Görüntüleme metodu ayarı.
6) Animasyon ve dosya listesi yenileme butonları.
7) Animasyon süreç çubuğu.

Şekil 7'de Camiryo'nun ilk Beta sürümünden küçük bir kod parçası gösterilmektedir.

```
19  #Returns An Array from H5 file ready for use as RGB image layer.
20  def getArray(FileName, Layer, isScale, lowerLimit, upperLimit, gamma):
21      f = h5py.File(str(FileName), 'r')
22      dset = f[str(getCH(str(Layer)))]
23      if isScale:
24          sArray = scale(dset[...], lowerLimit, upperLimit)
25      else:
26          sArray = dset[...]
27
28      sArrayMin = numpy.amin(sArray[...])
29      sArrayMax = numpy.amax(sArray[...])
30      s = 255*(sArray[...]*1.0 - sArrayMin*1.0)/(sArrayMax*1.0 - sArrayMin*1.0)**(1/gamma)
31      return s.astype( numpy.uint8)
```

Şekil 7: *Camiryo'dan bir kod parçası*

4. SONUÇ

Camiryo, TMet'ten esinlenip, platform bağımsız çalışabilen EUMETSAT verilerini yorumlama ve görüntüleme yeteneğine sahip, Kalkınma Bakanlığı destekli DAG projesi kapsamında meteorolojik verileri otomatik olarak yorumlamak amacıyla geliştirilmekte olan özgür bir yazılımdır. Camiryo'ya http://camiryo.tmetproject.org'dan ulaşılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya destek veren, Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne (ATASAM), DAG Projesi'ne (DPT - 2011K120230), Kalkınma Bakanlığı'na ve Erdem Erdi'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

[1] http://www.dag-tr.org, *Doğu Anadolu Gözlemevi*, Son Kontrol: 27.10.2013.

[2] http://www.dpt.gov.tr/kalkinma.portal, Kalkınma Bakanlığı, Son Kontrol: 27.10.2013

[3] http://www.emumetsat.int, EUMETSAT, Son Kontrol: 27.10.2013.

[4] **Akerlof C. W., vd.,** *The Rotse III Robotic Telescope System*, The Publications of the Astronomical Society of the Pacific, (132-140), Chicago, 01/2003.

[5] http://bootes.iaa.es, *Burst Optical Observer and Transient Exploring System (BOOTES)*, Son Kontrol: 27.10.2013.

[6] http://observ.pereplet.ru, *Mobile Astronomical System of the Telescobe-Robots (MASTER)*, Son Kontrol: 27.10.2013.

[7] **Güçsav B.B., Kılıç Y., Shameoni Niaei M.,** *ATA50 TELESCOPE: Software*, Third Workshop on Robotic Autonomous Observatories, Malaga, Spain. 2013.

[8] **Yeşilyaprak C., vd.,** *ATA50 TELESCOPE: Hardware*, Third Workshop on Robotic Autonomous Observatories, Malaga, Spain. 2013.

[9] http://www.cyanogen.com/cloud_main.php, *Boltwood Cloud Sensors II*, Son Kontrol: 27.10.2013.

[10] http://www.davisnet.com, *Davis Vantage Pro 2*, Son Kontrol: 27.10.2013.

[11] https://www.sbig.com/products/cameras/spacialty/seeing-monitor, *Seeing Monitor*, Son Kontrol: 27.10.2013.

[12] http://www.alcor-system.com/us/AllSkyCamera/index.html, *All Sky Camera*, Son Kontrol: 27.10.2013.

[13] **M. Sarazin, F. Roddier**, *The ESO differential image motion monitor*, (294-300), Astronomy and Astrophysics, 1990.

[14] http://www.unihedron.com/projects/darksky, *Sky Quality Meter*, Son Kontrol: 27.10.2013.

[15] http://camiryo.tmetproject.org, *Camiryo*, Son Kontrol: 27.10.2013.

[16] http://www.tmetproject.org, *TMet*, Son Kontrol: 27.10.2013.

METCAP+ : AKTÜEL GÖZLEMLERİN, UYDU VERİLERİNİN, SAF ÜRÜNLERİNİN VE SAYISAL TAHMİN ÜRÜNLERİNİN AYNI EKRANDA İNCELENMESİNİN ÖNEMİ

Kemal DOKUYUCU
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü
Ankara
kdokuyucu@mgm.gov.tr

ÖZET

Hava durumunu gözlemek ve muhtemel değişiklikleri tahmin edebilmek için, değişik meteorolojik bilgiye ve sayısal tahmin ürünlerine sahip olmak kadar, büyük ölçekteki verilerin hava tahmincilerinin istediği şekilde aynı anda analiz etmek ve görüntülemek de önemlidir. Tüm meteoroloji servisleri ve enstitüleri, değişik meteorolojik verileri analiz etmek için farklı yazılımlar kullanmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğünde de yirmi yıldan fazla bir süredir meteorolojik verileri görüntülemek için değişik yazılımlar geliştirilmektedir. Bu yazılımlardan METCAP paketinin son sürümü olan METCAP+ yazılımı değişik kaynaklardan alınan gözlem verilerini (yer gözlemleri, yüksek seviye gözlemleri, gemi rasatları, hava alanı gözlemleri, uçak gözlemleri vs), Uzaktan algılama ürünlerini (MSG uydularının bütün kanallarından alınan veriler, RGB uygulamaları, değişik SAF ürünleri, Radar ürünleri ve şimşek gözlemleri gibi) ve değişik merkezlerce hazırlanan sayısal tahmin ürünlerini aynı veya farklı haritalar üzerinde, değişik projeksiyonlarda görüntülemektedir. Çoklu ekran özelliği kullanıcılara aynı anda değişik ürünleri değişik pencerelerde inceleme imkanı sunmaktadır. Kullanıcıların istemesi durumunda, alınan gözlemler anında kontrol edilerek istenen bölgeler için, istenen parametrelerde daha önceden belirlenen basamak değerleri aşıldığında otomatik uyarı mesajları da hazırlamaktadır. Yazılım sadece istenen ürünleri göstermeyip, ekranda fare hareket ettirildiğinde bulunulan noktaya ait işlenmiş gözlem değerlerini de göstermektedir.

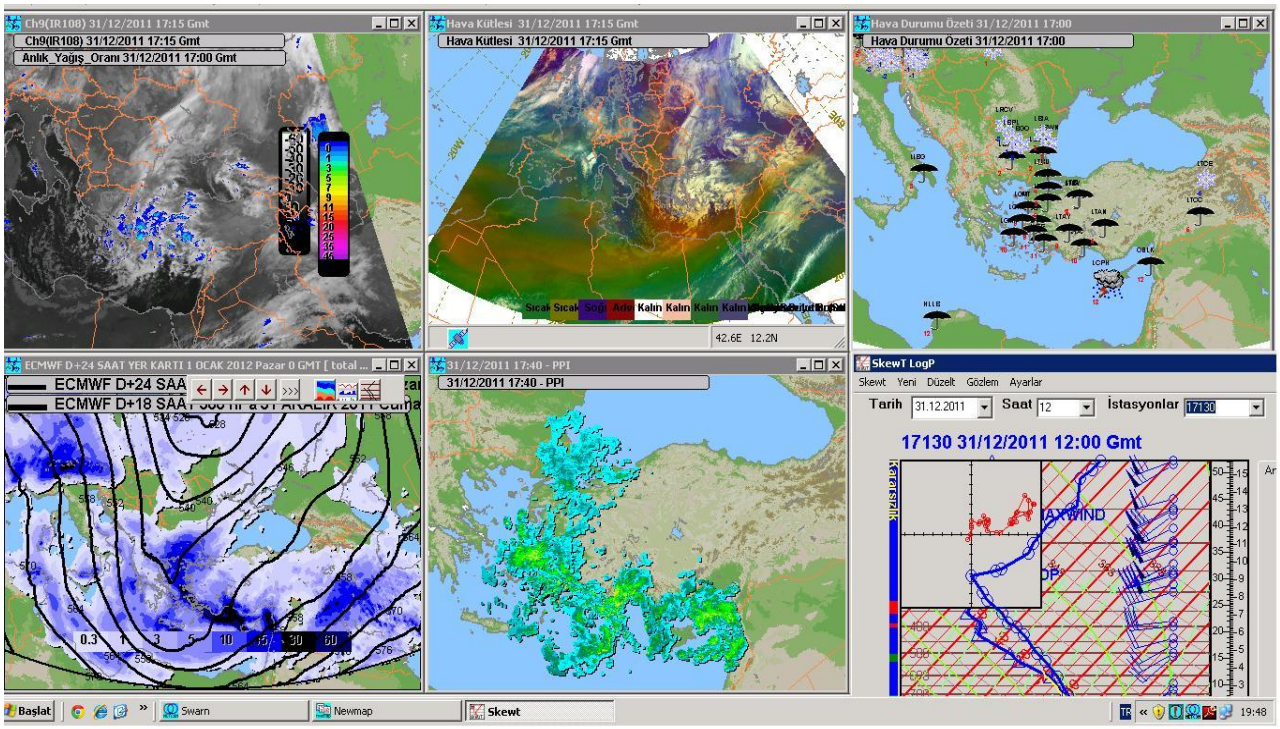
Ayrıca birden fazla pencere ile çalışılıyor ise çalışılan pencerede gelinen nokta, diğer pencerelerde de işaretlenerek değişik parametre değerleri, mesela IR, görünür veya farklı radar parametrelerine ait değerler, gösterilmektedir. Kullanıcılardan alınan olumlu tepkiler bu sürümün eskilerine oranla daha kullanışlı olduğunu göstermektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü ile protokol imzalayan tüm kuruluşlar bu paketi kullanabilirler.

Anahtar Kelimeler — Meteorolojik Görüntüleme yazılımı, MSG Ürünleri, Radr ürünleri, Sayısal Tahmin Ürünleri, Aktüel Gözlemler, Sinoptik, METAR, Temp, Konturlama

1. GİRİŞ

Hava durumunun gözlenmesinde ve tahmin edilmesinde kullanılan veri miktarı ve çeşitliliği, teknolojideki hızlı gelişmeye paralel olarak tahmin edilemeyecek boyutlarda artmıştır. Bu verileri analiz etmek, görüntülemek ve kullanıcılara sunabilmek için Meteoroloji teşkilatlarınca ve ticari firmalarca değişik işletim sistemleri kullanan bilgisayarlarda çalışan birçok yazılım geliştirilmiştir. Örnek olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü ele alındığında, değişik meteorolojik sistemlerin farklı sistemlerde çalıştırılmakta olduğu görülecektir. MSG sistemleri kendi paketlerini kullanırken, Radar sistemleri farklı bilgisayar sistemlerinde verileri analiz etmekte ve Sayısal ürünler WEB ortamında sunulmaktadır. Hava tahmincilerine hava durumlarını yorumlamada ve değerlendirmede zaman kazandırmak için bu karmaşık yapının olabildiğince basitleştirilmesi gerekmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, mümkün olan bütün meteorolojik verileri görüntüleyebilecek bir yazılım geliştirme projesini kendi elemanları ile uzun yıllardan beri yapmaktadır. Projenin bir önceki sürümü olan METCAP 5.2, bölgesel tahmin merkezleri ile havaalanı meteoroloji bürolarında uzun süre kullanılmıştır. Toplanan büyük boyutlu ve değişik yapıdaki verilerin tahmin merkezlerine gönderilmesi, eski sürümlerde bazı sıkıntılara ve yetersizliklere neden olmuştur. Bu sıkıntıların aşılması için METCAP+ yazılımı geliştirilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde de anlatıldığı gibi, yeni paket mevcut verilerin tamamını analiz edecek ve görüntüleyecek yetenektedir. Yazılım GTS, Radar, MSG, SADIS, EUMETCAST ve diğer sistemlerden alınan verileri kullanabildiği gibi istenmesi durumunda değişik internet sitelerinden veri indirebilmektedir. Ürün görünümü tamamen kullanıcı isteklerine göre ayarlanabilmektedir.

2. ANA ÖZELLİKLER

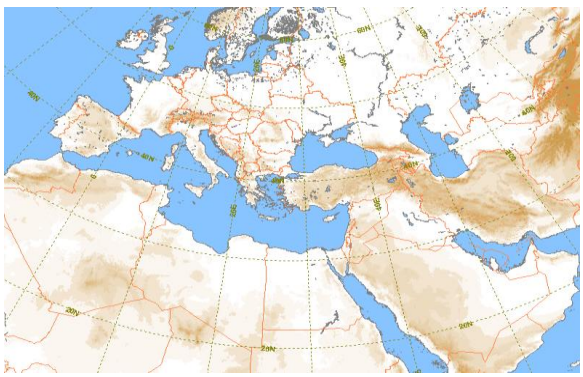


Şekil 1: METCAP+ çok pencereli ekranı

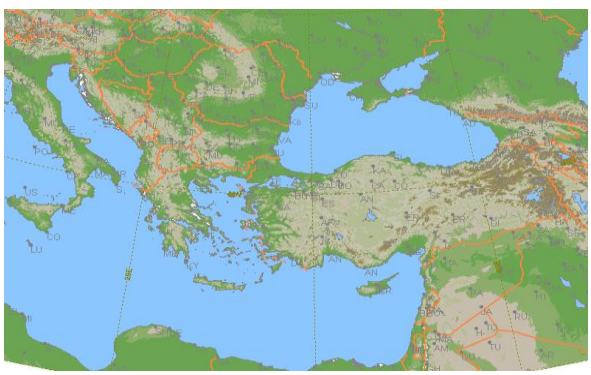
METCAP+ Windows altında çalışan ve C++ dilinde geliştirilmiş bir pakettir. Gelişme süreci devam etmektedir. Kullanıcılardan gelecek yeni istekler doğrultusunda yeni bölümler ilave edilebilir, mevcutlarda düzeltmeler yapılabilir ve kullanılmayan modüller devre dışı bırakılabilir.

2.1 Kullanılan Haritalar

Çalışılacak alanlar kullanıcılar tarafından belirlenebilir. Çalışılacak bölge dünya üzerindeki herhangi bir yer, ülke veya kıta olabilir. Haritanın projeksiyonu, topografyanın renkleri, coğrafi sınırlar, enlem boylam çizgileri ve renkleri değiştirilebilir. Bölge içinde yakınlaştırma veya uzaklaştırma yapılabilir.



Şekil 2 : Polar Stereografik Avrupa, Kuzey Afrika ve Ortadoğu



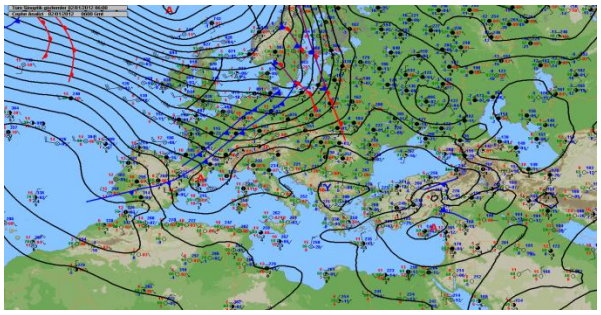
Şekil 3: Merkatör Balkanlar

2.2 Gözlemler

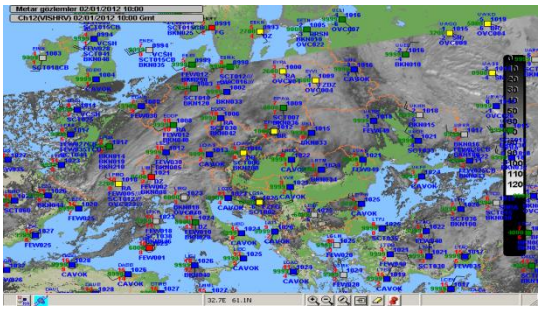
2.2.1 Yer Gözlemleri

Değişik kaynaklardan alınan Sinoptik gözlemler harita üzerine işlenebilir. İşlenen gözlemlerin büyüklüğü, yoğunluğu, parametre renkleri ayarlanabilir. İşlenen tüm sinoptik parametreler için kontur çizdirilebilir. Aynı harita üzerinde birden fazla parametre için kontur oluşturulabilir. İşlenecek gözlemlerde bazı sınırlamalar yapılabilir. Mesela sadece meteorolojik hadise olan gözlemler, sadece sis olan gözlemler veya görüş mesafesi bir kilometrenin altında olan gözlemler işletilebilir. BUFR yapısında alınan veriler de işlenebilmektedir.

Hava alanlarınca hazırlanan METAR rasatları da işlenebilir ve hava durumları değişik şekillerde ve renklerde gösterilebilir. Mesela mavi iyi hava şartları için, kırmızı da kötü hava şartları için kullanılabilir. Pistlerdeki kar durumunu gösteren SnowTam raporları da görüntülenebilir.



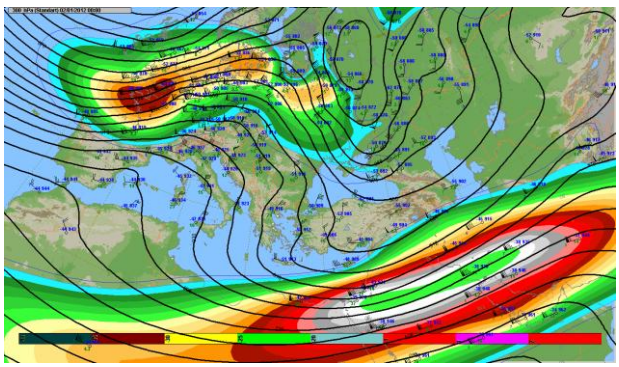
Şekil 4: Sinop Harita 02 Ocak 2012 06:00



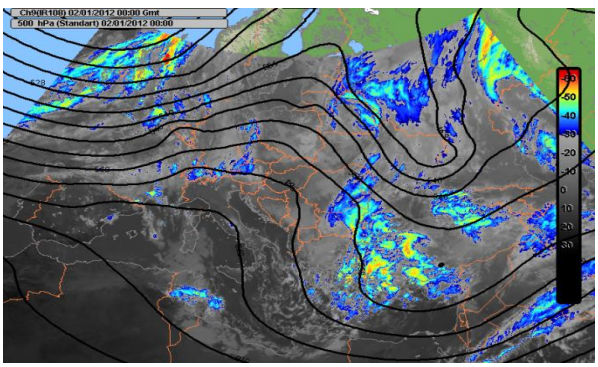
Şekil 5 : Metar ve MSG VisHRV

2.2.2 Yüksek Seviye Gözlemleri

1000 hPa seviyesinde 100 hPa seviyesine kadar bütün standart seviyelere ait kartlar oluşturulabilir. Yazılım metin ve BUFR yapısındaki gözlemleri çözümler. Yükseklik, sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü gibi ölçülen parametrelerin yanı sıra, hesaplanan nem, ıslak hazne sıcaklığı, seviyeler arasındaki kalınlıklar, değişik indeksler (VT, CT, TT, K Indeksi, Sweat, Lifted vs) de hesaplanarak işlenebilir. İşlenen bütün parametreler için konturlama yapılabilir.



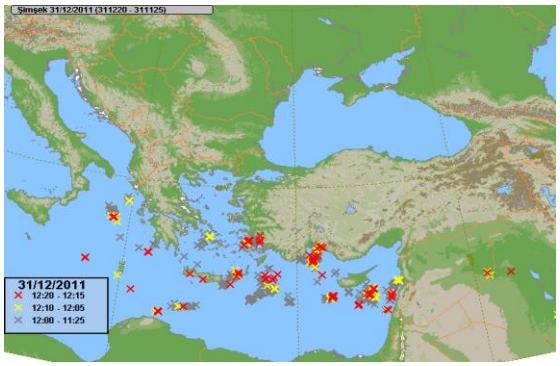
Sekil 6: 300 hPa ve Isoteksler



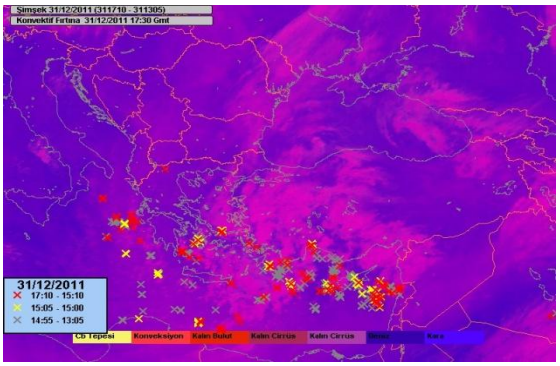
Şekil 7: 500 hPa ve MSG IR10.8

2.2.3 Şimşek Gözlemleri

Şimşek gözlemleri gök gürültülü sağanak yağışlar ve CB bulutları tarafından oluşturulan fırtınalar gibi önemli hava olaylarını takip etmede kullanılabilecek çok faydalı bilgilerdir. METCAP+ değişik zamanlara ait şimşek verilerini görüntüleyebilmektedir. Bu ürünler ile radar ve/veya MSG ürünleri birleştirildiğinde etkili ve kıymetli ürünler elde edilmektedir.



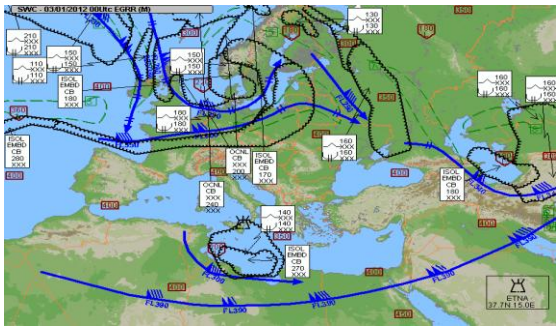
Şekil 8 : 31 Aralık 2011 Saat 11:15 ile 12:20 Utc arasındaki şimşek gözlemleri



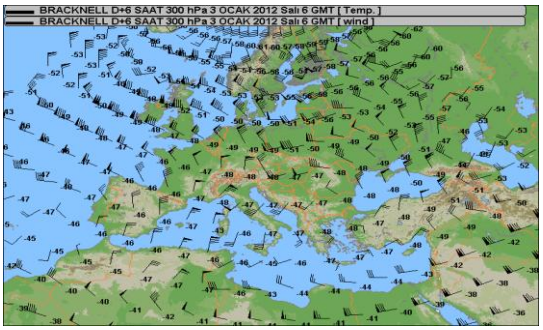
Şekil 9 : Şimşek gözlemleri ve MSG Konvektif RGB ürünü

2.3 Havacılık Ürünleri

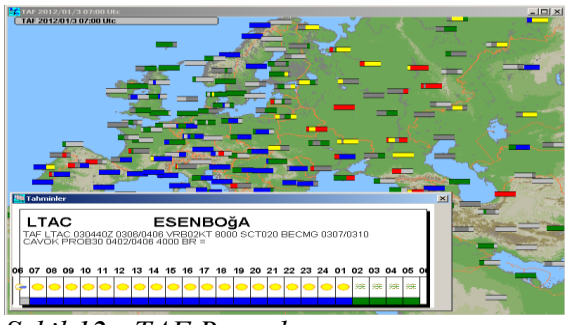
Hergün havacılık amaçlı binlerce bülten ve rapor hazırlanmaktadır. BUFR yapısında olan Önemli Havaolayları Kartı (SWC), GRIB yapısındaki sıcaklık ve rüzgar bilgileri, Volkanik kül raporları, tropikal siklon ve kasırga raporları, uçak raporları, TAF raporları ve METAR gözlemleri bunlardan bazılarıdır. Bu raporların zamanında alınması ve ilgili yerlere ulaştırılması önemlidir. METCAP+ yazılımı havacılıkla ilgili raporları ve uyarıları görüntüler ve uçuş raporları hazırlayabilir.



Şekil 10 : SWC Kartı



Şekil 11 : Rüzgar Sıcaklık Kartı



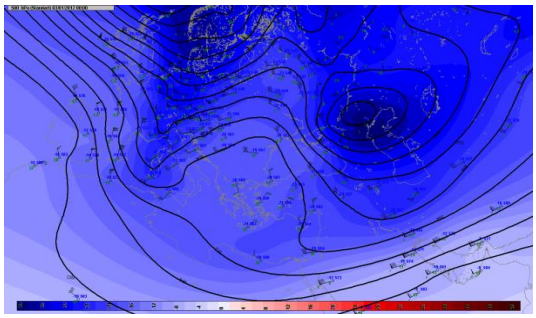
Şekil 12 : TAF Raporları



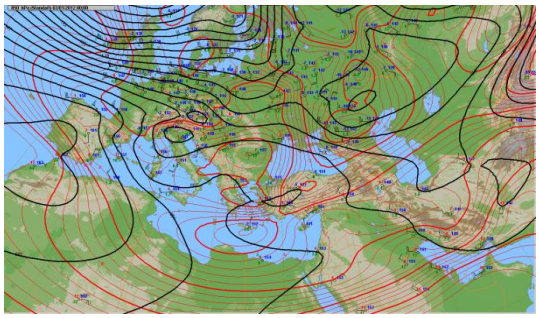
Şekil 13 : Volkanik Kül Raporları

2.4 Konturlama

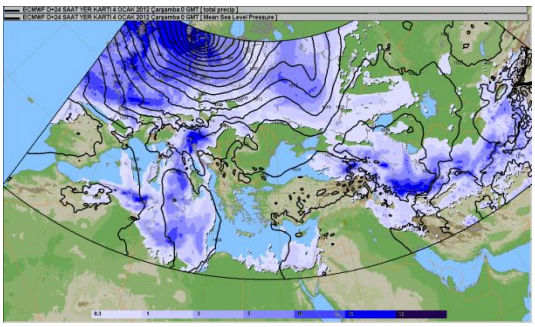
Gözlemlere ait değişik parametrelerin ve sayısal ürünlerin konturlanması son sürümde, önceki sürümlere göre geliştirilmiş ve çeşitliliği artırılmıştır.



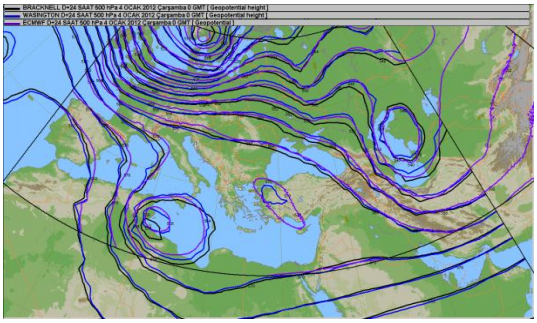
Şekil 14: 500 hPa Sıcaklık ve Yükseklik



Şekil 15: 850 hPa Sıcaklık ve Yükseklik



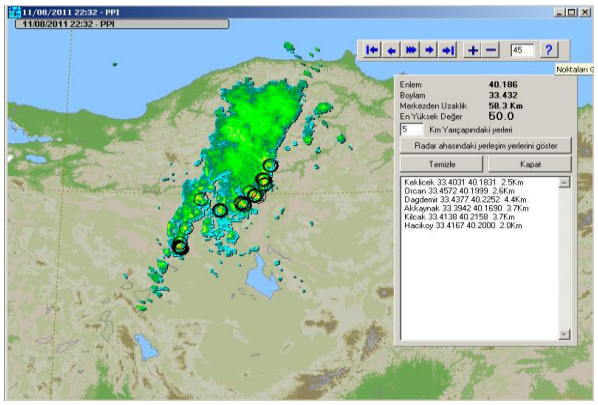
Şekil 16: ECMWF Yağış+MSL



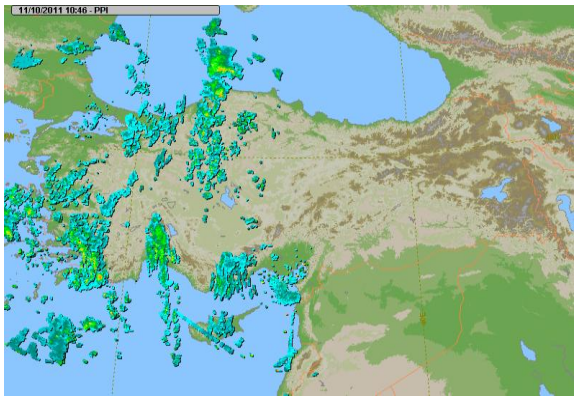
Şekil 17: Değişik merkezlerden 500 Yükseklik

2.5 Radar Ürünleri

Radar istasyonlarından alınan çok sayıdaki radar ürünleri değişik renk seçenekleri kullanılarak gösterilebilir. İstenen noktadaki radar değeri gösterilir, değişik meteorolojik verilerle bu ürünler birlikte gösterilebilir. İstenen zaman aralığı için hareketli görüntüler oluşturulabilir. İstenen değerden büyük alanlar işaretlenebilir.İstenen noktaya en yakın yerleşim yerleri listelenebilir.



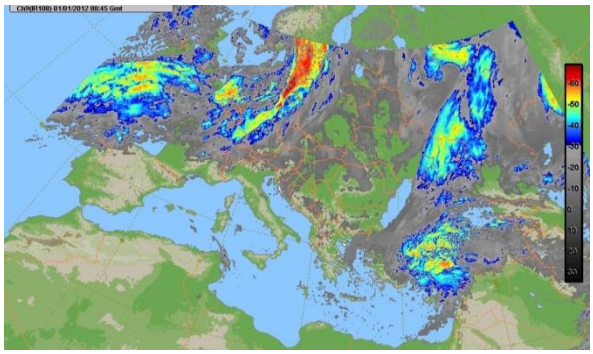
Şekil 18: Ankara Radarı PPI Ürünü
11 Ağustos 2011 22:32 UTC
PPI değeri 45 üzerinde olan yerler



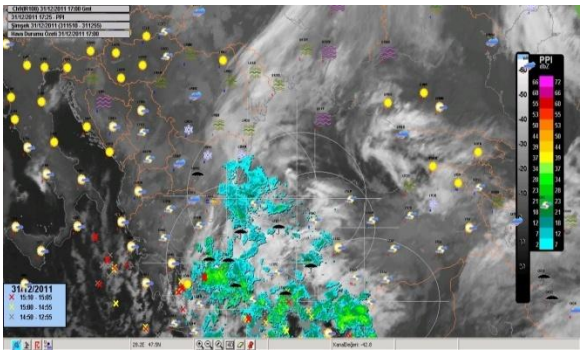
Şekil 19:Türkiye birleşik PPI ürünü
11 Ağustos 2011 22:32 UTC

2.6 MSG Ürünleri

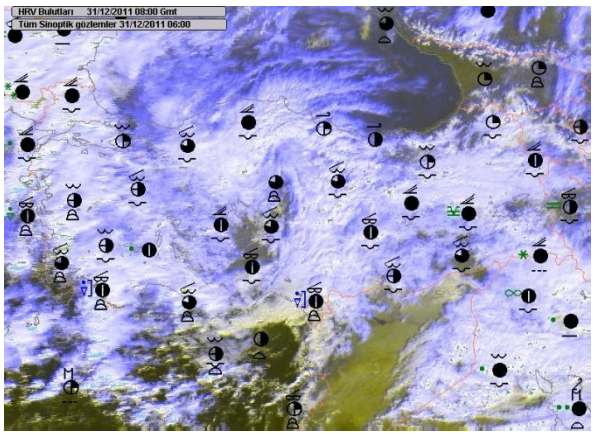
MSG uydularının bütün kanallarından alınan değerler değişik renklerde gösterilir., kanal değerleri kullanılarak oluşturulan RGB ürünleri oluşturulur . EUMETSAT bünyesindeki değişik SAF'larca oluşturulan ve dağıtılan farklı ürünler gösterilir. Gösterim sırasında kullanıcı alt ve üst sınırları belirleyerek istediği şekilde ürünleri ayarlayabilir. İstenen zaman aralığı için hareketli görüntüler oluşturulabilir. Kullanıcılar RGB ürünlerini oluşturabilirler.



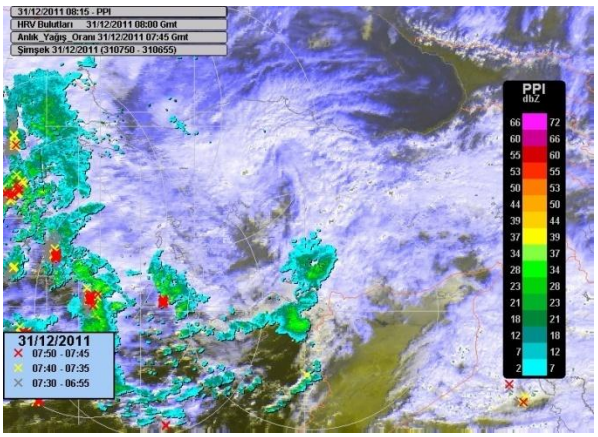
Şekil 20 : IR10.8 01 Ocak 2012 08:45 Utc



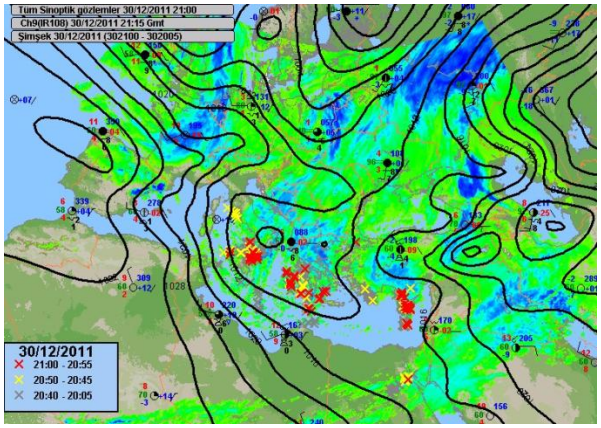
Şekil 21: IR10.8 + Radar PPI+ Gözlemler



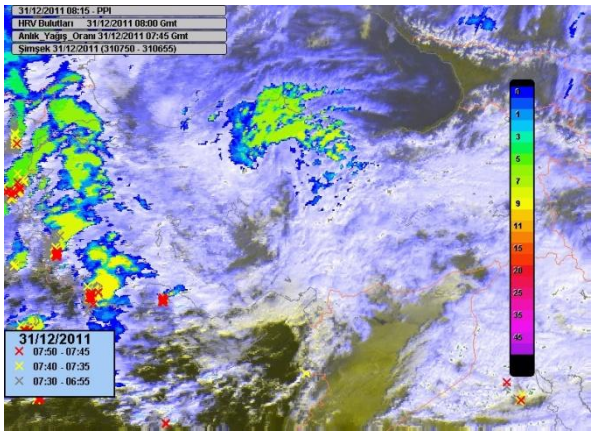
Şekil 22 :HRV8 31 Aralık 2011 08:00 Utc



Şekil 23:HRV + Radar PPI + Şimşekler



Şekil 24 :IR10.8+Şimşek + MSL Kontur
30 Aralık 2011 21:00 Utc



Şekil 25:HRV + Anlık Yağış + Şimşek
31 Aralık 2012 08:00 Utc

3. SONUÇLAR

METCAP+ yazılım paketi, aktüel verilerin ve tahmin ürünlerinin gösterimi konusunda kullanıcılara değişik imkanlar sunan etkili bir yazılımdır. Yaklaşık yıldır Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından kullanılan yazılım paketlerinin en son sürümüdür. Çok değişik ve büyük boyutlu verilerin gösteiminde karşılaşılan bir çok sorunu ve boşluğu gidermiştir. Kullanıcılar tarafından istenecek ilave talepler de bu yazılıma kolayca ilave edilebilecektir. Paketin geliştirilmesi kullanıcılardan talep geldiği sürece devam edecektir.

KAYNAKLAR

[1] **Demirkıran, Suat** *Contouring algorithm for meteorological data*, 1995

[2] **Erdi, Erdem** *Converting HRIT to HDF*, 2011

[3] **WMO,***A GUIDE TO THE CODE FORM FM 92-IX Ext. GRIB,*2003

[4] **WMO,** *Guide to WMO Table Driven Code Forms: FM 94 BUFR andFM 95 CREX* ,2002

[5] **WMO,** *Manual on Codes,*2009

YAĞIŞIN DAĞILIMINDA ŞEHİR ETKİSİ: UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFÎ BİLGİ SİSTEMLERİ YÖNTEMLERİ İLE BİR ARAŞTIRMA ANKARA ÖRNEĞİ

Mesut Demircan
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Ankara
mdemircan@mgm.gov.tr

Prof. Dr. İhsan Çiçek
Ankara Üniversitesi
DTCF, Coğrafya Bölümü
Ankara
Ihsan.cicek@ankara.edu.tr

Murat Arslan
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü
Ankara
marslan@mgm.gov.tr

Volkan C. Darende
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Yazılım ve Donanım Şube Müdürlüğü
Ankara
vdarende@mgm.gov.tr

ÖZET

Bu çalışma ile yağışın, şehir içerisindeki dağılımını etkileyen etmenlerin araştırılmasında günümüz teknolojisinde sıklıkla kullanılan izleme araçlarından Uzaktan Algılama Yöntemi (UAY) araçlarından uydu ve RADAR görüntülerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araçları yardımıyla sayısal altlıklar haline getirilmesi amaçlanmıştır. İkincil olarak; yersel yağış ölçümleri ile uydu ve Radar'dan elde edilen ölçümler arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Son olarak; bu ilişkilerin şehir altlığı üzerinde incelenerek, şehirleşmenin yağışın şehir üzerindeki dağılımını nasıl etkilediğini ortaya koymak amaçlanmıştır.

Bu çalışma sonuçları; başta şehir plancıları tarafından şehirlerin doğru geliştirilmesinde ve planlanması için, ayrıca günümüzde iklim ilişkili ve özellikle yağışa bağlı doğasal afetleri azaltma – önleme çalışmalarında bir girdi olacağı ön görülmektedir. Ayrıca yüz yılımızın sorunu haline gelen iklim değişikliği ile mücadele kapsamında; önleme – azaltma – uyum üçlemesi ile yapılan çalışmalarda da etkin analiz yöntemleri için de bir altlık oluşturacaktır.

Çalışma için 2010 yılı içindeki 18 Şubat, 6 Haziran, 7 Haziran, 28 Ekim ve 16 Aralık tarihlerinde meydana gelen yağış hadisesi Ankara için incelenmiştir. 6 Haziran 2010 tarihi için sinoptik durum, sayısal tahmin modelleri çıktıları, yersel gözlemler ve Radar PPI verileri elde edilmiş olup, ECMWF modeli çıktısı, Radar PPI verileri ve yersel gözlemler CBS ortamında haritalanmış ve analiz edilmiştir. 18 Şubat, 7 Haziran, 28 Ekim ve 16 Aralık tarihleri ise sayısal model çıktıları ve Radar PPI volüme çıktı haritaları ile analiz edilmiştir.

Yapılan örnekleme analizlerde yağış bölgelerinin cephe sisteminin hareketine göre ilerlediği özellikle Ankara'nın doğusunda yoğunlaşmadığı görülmüştür. Örnekleme tarihlerindeki yağışı getiren sistemlerle birlikte Atmosferik Toz Tahmin Sistemi çıktılarındaki görülen toz taşınımı dikkat çekicidir. Yağışların oluşumunda yağışa neden olan sistemlerin, şehrin topografik yapısının ve Sahra Çölünden taşınan tozların daha etkin olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler — Uzaktan Algılama Yöntemi, Radar, Sayısal Model, Coğrafi Bilgi Sistemleri

EFFECT OF URBANIZATION ON RAINFALL DISTRIBUTION: INVESTIGATION BY REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS METHODS

ANKARA EXAMPLE

ABSTRACT

In this study, it is intended to investigate factors that is affecting distribution of rainfall within the city and Geographic Information Systems (GIS) tools are used to make digital layer from products of satellite and Radar which are today's commonly used monitoring tools in Remote Sensing Method (RSM). Secondarily; it is intended to determine the relationship between surface rainfall measurements and remote sensing measurements which are obtained from satellite and radar. Finally; it is aimed to determine how urbanization is affected the distribution of rainfall over the city by examining these relationships on city base.

It is proposed that results of this study can be primarily an input for city planners for correctly improving and planning of cities and also for reduction - prevention studies against to natural disasters which are related to the climate and especially depending on rainfall. Furthermore, it can be provided a base within the scope of coping studies which are made with the trilogy of prevention, mitigation and adaptation against to climate change that has become a problem in our century.

For the study, precipitation events which are occurred in Ankara are examined on February 18, June 6, June 7, October 28 and December 16 in the year 2010. For the date of June 6 in 2010, synoptic situation, output of numerical prediction models, surface observations and Radar PPI data have been obtained and ECMWF model outputs, Radar PPI data and surface

observations have been mapped in the GIS and analyzed. For February 18, June 7, October 28 and December 16, numerical model and Radar PPI volume output maps have been analyzed.

In the sample analysis it is observed that rainfall zones have moved according to the movement of the frontal system and they are not concentrated especially in the east parts of Ankara. In sampling dates, it is interesting to consider that the dust transportation along with frontal systems which are brings rainfall is observed in Atmospheric Dust Forecasting System maps. It is thought that the systems which are cause precipitation, topographical structure of the city and dust transportation from the Saharan Desert have been more effective in the formation of precipitation.

It is thought that this study can be a base and roadmap for these and similar types of studies in respect of revealed by the methodology in data sources, data access and arranging data.

Key Words — Remote Sensing Method, Radar, Numerical Model, Geographical Information Systems

1. GİRİŞ

Nüfus artışına bağlı olarak giderek artan şehirleşme, şehir ve yakın çevresindeki meteorolojik koşullar ile iklim üzerinde önemli değişikliklere sebep olmaktadır. Şehirlerde ısıtma, trafik, sanayi sebebiyle artan enerji tüketimi, asfalt, beton gibi yapay örtüler, yüksek binaların ve bunlar arasında kalan caddelerin oluşturduğu şehir kanyonları, azalan yeşil alanlar, iklim farklılaşmalarına neden olmaktadır (Çiçek,İ., 2004).

Chadler (1965) şehirlerin yağış üzerindeki olası etkisini artan yüzey engebeliliği nedeniyle oluşan mekanik türbülans, şehir ısı adasından kaynaklanan ek hissedilebilir ısı ve şehir havasındaki yoğunlaşma çekirdeklerinin fazlalığı olmak üzere üç ana başlık altında toplamıştır. Benzer bulgular Büyükşehir Meteoroloji Deneyi (Metropolitan Meteorological Experiment, METROMEX) projesi kapsamında yapılan çalışmalarda da saptanmıştır (Changnon vd., 1976). Şehir klimatolojisi üzerine yapılan en ayrıntılı araştırmalardan biri olan METROMEX projesi kapsamında yapılan çalışmalarda, St. Louis'de, şehir etkisinin yaz yağışlarında, şiddetli sağanak yağışlarda (>25 mm), oraj ve dolu yağışlarında istatistiksel olarak anlamlı artışlar gösterdiği saptanmıştır (Changnon vd.,1976). METROMEX verilerinin analizi sonucunda sağanak yağışların şehir merkezinde özellikle rüzgâr altı alanlarda yoğunlaştığı ortaya çıkmıştır. Londra'da 1950 yıllarda kurulan 200 civarındaki yağışölçer ve Radar gözlemleri ile şehirlerin konveksiyonel bulutların gelişimi üzerindeki etkisi ve bu bulutların izlediği yol Atkinson (1971) tarafından da tespit edilmiştir. Bu çalışmada da konveksiyonal bulutların şehir merkezinde hızla

geliştiği ancak konveksiyonal yağışların Londra'nın daha çok doğu kesimlerinde düştüğü belirlenmiştir.

İklim değişimi birçok atmosfer bileşeninin karşılıklı etkileşimi sonucunda meydana gelmektedir (KARAKUYU, M., 2002). Bileşenlerden birinde meydana gelen bir değişiklik zamanla diğerine sıçramakta ve bu etki, bir zincirin halkaları gibi, bir süre sonra ekosistemin tüm bileşenlerine yayılmaktadır. İnsanoğlu bu zincirin halkaları ile daha yakından ilişkili olduğu için çok daha önceleri başlayan bu iklim değişimini fark edememiştir. Ancak özellikle son 50 yılda, iklimin diğer yıllara göre anormal olarak değiştiğini gösteren pek çok gösterge ortaya çıkmıştır. Küresel boyutta ortalama hava sıcaklığındaki artışlar, kutuplar ve kara içlerinde yüksek alanlardaki daimi buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, kuraklık, taşkınların ve aşırı yağışların sıklıklarında ve büyüklüklerinde artışların görülmesi bu göstergelerin en önemlileridir.

Son yıllardaki ülkemize ait yağış verileri incelendiğinde, düzensiz bir dağılış görülmektedir. Diğer taraftan yıllar itibariyle günümüze yaklaştıkça taşkınlardan dolayı meydana gelen can ve mal kayıplarında da artışlar gözlenmektedir. Bunun temel sebepleri ise yıllara göre artan nüfus yoğunluğu, yanlış yerleşim ve çarpık yapılaşma olarak gösterilebilir.

Birçok şehir plancısı ve şehir coğrafyacısı yağmur sularının ve yüzey sularının şehir hayatına ve şehir alt yapısına verdiği zararları ve bunlardan korunma yollarını araştırmaktadırlar. Bunun yanında şehir içindeki suyun hareketliliği ve akarsulara nasıl karıştığı şehrin kurulması sırasında dikkat edilecek en önemli faktörlerdir. Şehir çevresindeki akarsu havzası ve kanalizasyon sistemi planlanırken, sağanak yağışların, su baskınlarının ve sellerin olabileceği ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır. Şehir alanında sağanak yağışlardan sonra akım 2,5 kat artarken, buna kanalizasyon sularının da eklenmesiyle akarsuyun akımındaki artış yaklaşık 8 kata ulaşmaktadır.

Birincil amaç; yağışın, şehir içerisindeki dağılımını etkileyen etmenlerin araştırılmasında günümüz teknolojisinde sıklıkla kullanılan izleme araçlarından Uzaktan Algılama Yöntemi (UAY) araçlarından uydu ve Radar görüntülerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araçları yardımıyla sayısal altlıklar haline getirilmesidir. İkincil olarak; bu altlıkların şehir imar planı, şehir topografyası, yersel yağış ölçümleri ile uydu ve Radar'dan elde edilen ölçümler arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Son olarak; bu ilişkilerin şehir altlığı üzerinde incelenerek, şehirleşmenin yağışın şehir üzerindeki dağılımını nasıl etkilediğini ortaya koymak amaçlanmıştır.

Bu çalışma sonuçları; başta şehir plancıları tarafından şehirlerin doğru geliştirilmesinde ve planlanması için, ayrıca günümüzde iklim ilişkili ve özellikle yağışa bağlı doğasal afetleri azaltma – önleme çalışmalarında bir girdi olacağı ön görülmektedir. Ayrıca yüz yılımızın sorunu haline gelen iklim değişikliği ile mücadele kapsamında; önleme – azaltma – uyum üçlemesi ile yapılan çalışmalarda da etkin analiz yöntemleri için de bir altlık oluşturacaktır. Bu çalışma ile birbirinden farklı ölçüm, izleme ve değerlendirme sistemlerinin birlikte kullanılabilmesi için bir örnek çalışma da geliştirilmiş olacaktır.

2. METODOLOJİ

Çalışma bölgesi olarak Ankara ili ve örnek olay için 6 Haziran 2010 tarihi seçilmiştir. Ankara il sınırları içerisindeki ve yapılacak yersel ölçümlerin (YÖ) alansal enterpolasyon haritalarının daha sağlıklı olması için Ankara'yı çevreleyen illerdeki gözlem istasyonlarına ait meteorolojik parametrelerden yağış, sıcaklık, nem verileri saatlik ve aylık olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sistemi (TÜMAS)'nden elde edilmiştir.

Çalışma bölgesi içerisinde yer alan MGM'nin Elmadağ Radarına ait PPI verileri TÜMAS'dan elde edilmiştir. Bu veriler ham formatta olduğu için bu verilerin alfa-sayısal veri (.txt) formatındaki dosyalara dönüştürülmesi için MGM Tahminler Dairesi Başkanlığı Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü personeli Yük. Bilgisayar Müh. Murat Arslan tarafından yazılan bir program kullanılmıştır. Ayrıca text formatındaki dosyaların MS Ofis Excel formatındaki dosyalara dönüştürülmesi için MGM Gözlem Sistemleri Dairesi Başkanlığı Etüd Planlama Şube Müdürlüğü personeli Yük. Ziraat Müh. Volkan C. Darende tarafından bir program yazılmıştır.

Çalışmada kullanılan sinoptik kartlar linkteki siteden elde edilmiştir "http://www.wetterzentrale.de/topkarten/".

Çalışma alanında meydana gelen yağışın sınırlarını ve tahmin modeli sonuçlarının gerçekleşen gözlemler ile ilişkisini incelemek için Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF)'nin tahmin ürünü indirilmiştir. Bu ürünler veri boyutlarının çok büyük olması sebebiyle sayısal grip yada netcdf formatında elde edilebilmektedir. Bu verinin kullanılabilmesi için grip veri formatı MS Ofis Excel formatına dönüştürülmüştür.

Çalışma alanında meydana gelen yağışın oluşumuna etki edecek toz etkileşimini incelemek için Atmosferik Toz Tahmin Sistemi BSC-DREAM8b iki versiyonu (BSC-DREAM8bv2.0 Atmospheric Dust Forecast System) modelinin çıktıları resim olarak indirilerek kullanılmıştır.

Çalışma alanında meydana gelen yağışın kaynağını irdeleyebilmek için Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA)'nın Hava Kaynakları Laboratuvarı tarafından geliştirilmiş Hibrid Tek Parçacık Lagrange Entegre Yörünge Modeli (HYSPLIT - Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) kullanılmıştır. HYSPLIT modeli, "http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php" internet adresinde istasyon koordinatı verilerek geçmiş yörünge (backtrajectory) koşturulmuş ve sonuçlar indirilmiştir.

Çalışma alanı ve seçilen örnek olay için YÖ'den alınan meteorolojik parametreler, Uzaktan Algılama (UA) radar ürünlerinden PPI ürünü, ECMWF'den alınan tahmin, HYSPLIT modelinden eski yörünge sonuçları ArcGIS9.3 ile haritalandırılmıştır.

3. ANALİZLER

3.1 Örnek Çalışma Tarihine Ait Sinoptik Durum ve Tahminler

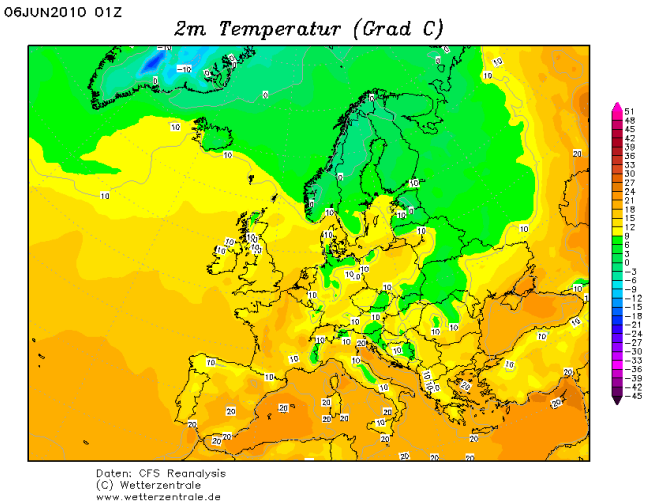
2010 yılı ekstrem hava olayları incelenmiş ve 18 Şubat 2010'da Beypazarı'nda dolu, 6 Haziran 2010'da Güvercinlik, Esenboğa ve Ankara Bölge Müdürlüğü'nde dolu, 7 Haziran 2010'da Polatlı'da yağış ve sel, 28 Ekim 2010'da Ankara Bölge Müdürlüğü'nde yağış ve sel ile 16 Aralık 2010'da Kızılcahamam'da yağış ve sel hadiseleri gözlemlendiği görülmüştür. Çalışma alanı içerisinde üç merkezde birden dolu kayıdı olması ile haziran ayının daha çok kararsızlık yağışların görüldüğü bir ay olması ve kararsızlık yağışların bölgesel etkileri daha iyi göstermesi nedeni 6 Haziran 2010 çalışma tarihi olarak seçilmiştir.

Örnek çalışma tarihi 6 Haziran 2010 tarihindeki atmosferin sinoptik durumu ortaya koymak için "http://www.wetterzentrale.de/topkarten/" internet adresinden indirilen yer 2m sıcaklığı, yağış, 850mb ile yer basıncı ve 500mb bütünleşik kartları incelenmiştir.

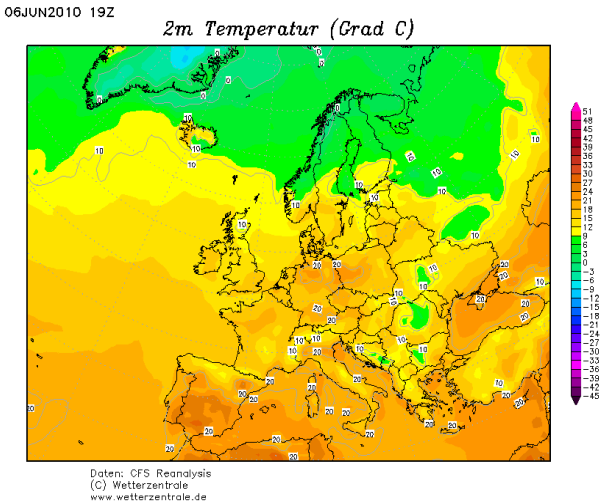
Yer 2m Sıcaklık kartları incelendiğinde;

04:00 (01Z) saatinde Ankara-Konya üzerinde merkezlenen 15-18°C sıcak hava girişi, Ankara'nın batısında Eskişehir-Afyon'a doğru Karadeniz'den 10°C soğuk hava akışı görülmektedir (Şekil 1). 10:00 (07Z) saatinde Ankara-Konya üzerinde merkezlenen sıcak hava

girişi 24-27°C aralığına, Ankara'nın batısında Eskişehir-Afyon'daki soğuk hava ise 18-21°C aralığına yükselmiştir. 16:00 (13Z) saatinde Ankara-Konya üzerinde merkezlenen sıcak hava girişi 30°C'ye yükselmişken, Ankara'nın batısında Eskişehir-Afyon'daki soğuk hava ise 20°C' de kalmıştır (Şekil 3). 22:00 (19Z) saatinde Ankara-Konya üzerinde merkezlenen sıcak hava Konya üzerine doğru geri çekilerek merkezlenmiş ve Konya'da 18-21, Ankara'da 18-21°C aralığına ve Ankara'nın batısında Eskişehir-Afyon'daki soğuk hava ise 9-12°C aralığına gerilemiştir (Şekil 2).

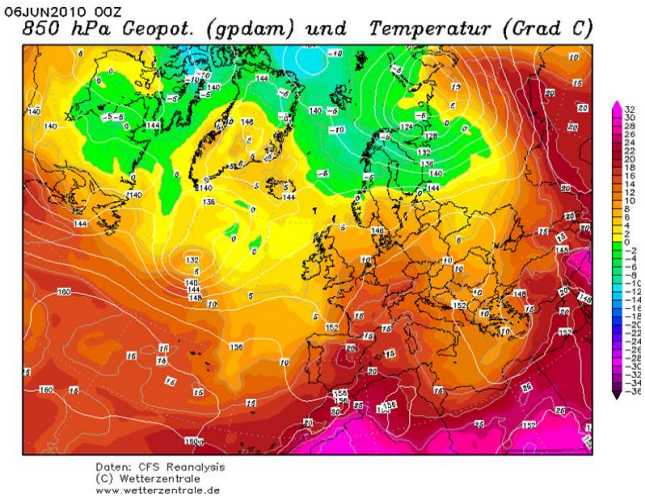


Şekil 1: 04:00 (01Z) 2m sıcaklık dağılımı.

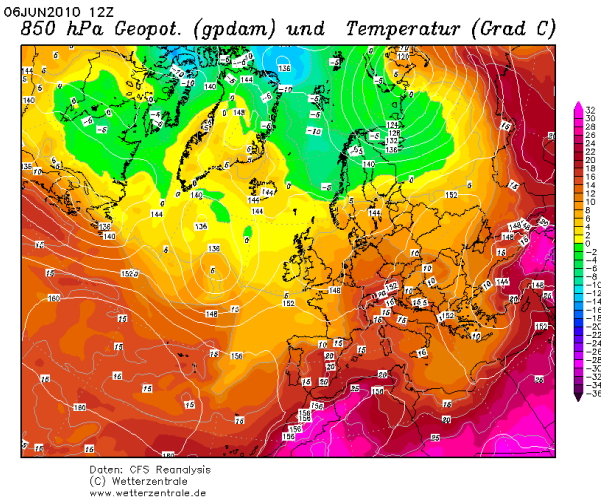


Şekil 2: 22:00 (19Z) 2m sıcaklık dağılımı.

850mb seviyesi yüksekliği ve sıcaklığı incelendiğinde; 03:00 (00Z) 850mb kartında Ege bölgesi üzerinde 1480m yüksekliğinde ve 10°C sıcaklığında bir alçak merkez yer almakta, Kıbrıs, Anamur üzerinden Ankara'ya kadar bir sırt girişi 20°C sıcaklık ile yer almakta ve Ankara'nın doğusunda 12°C Karadeniz'den bir soğuk hava akışı ile alçak merkez uzanmakta ayrıca Güneydoğu Anadolu Bölgesi üzerinden 26°C sıcaklık girişi mevcuttur (Şekil 5). 09:00 (06Z) 850mb kartında 03:00 (00Z)'e göre hava kütlelerinin konuşlanmasında bir değişiklik olmazken sıcaklıklarda 1-2°C artış söz konusudur (Şekil 3). 00Z'te Türkiye'nin doğusundan giren sıcak hava ve alçak basınç Anadolu'nun şeklini alarak Ege'ye kadar uzanmıştır (Şekil 2).

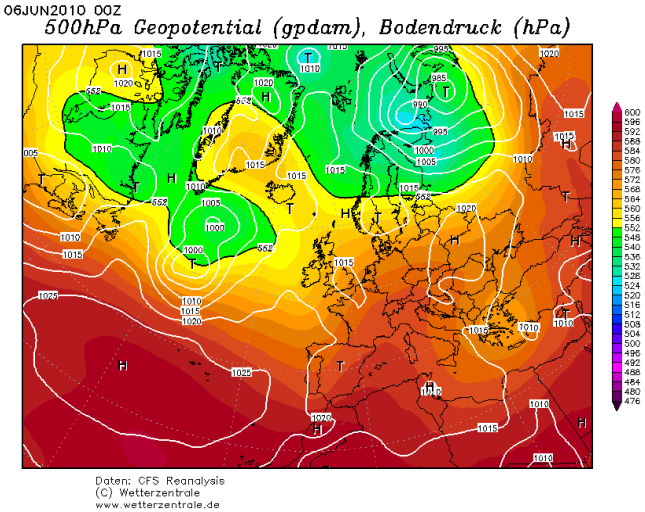


Şekil 3: 03:00 (00Z) 850mb seviyesi yüksekliği ve sıcaklığı.

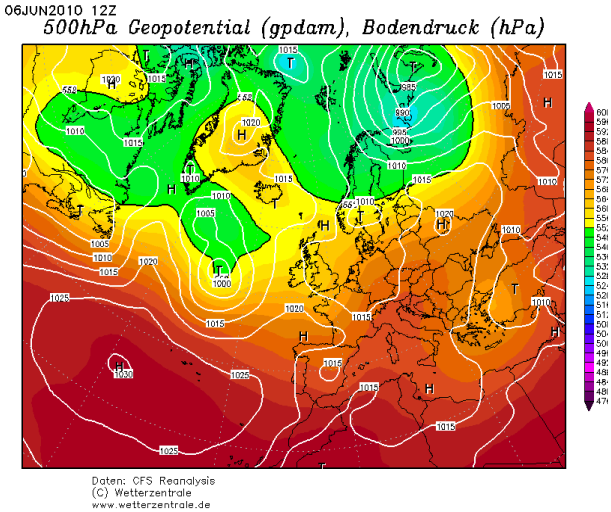


Şekil 4: 15:00 (12Z) 850mb seviyesi yüksekliği ve sıcaklığı.

500mb seviyesi yüksekliği ve birleştirilmiş yer seviyesi basınç haritası incelendiğinde; 03:00 (00Z) Yer basınç eğrilerinde Karadeniz'in batısında Balkanlar üzerinde bir yüksek basınç merkezi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden alçak basınç kuşağı girişi görülmektedir. 500mb'da Ege Denizi üzerinde Baltık Denizi'nden sarkarak merkezlenen alçak basınç, İtalya üzerinden Orta Avrupa'ya ve Doğu Anadolu üzerinden Kafkaslara uzanan bir yüksek basınç girişi mevcuttur (Şekil 5). 15:00 (12Z) Yer basınç eğrilerinde yukarıda bahsedilen yüksek basınç merkezi zayıflamış ve alçak basınç kuşağı Marmara Bölgesi hariç Türkiye'yi kaplamış ama 500mb'da önemli bir değişiklik görülmemektedir (Şekil 6).



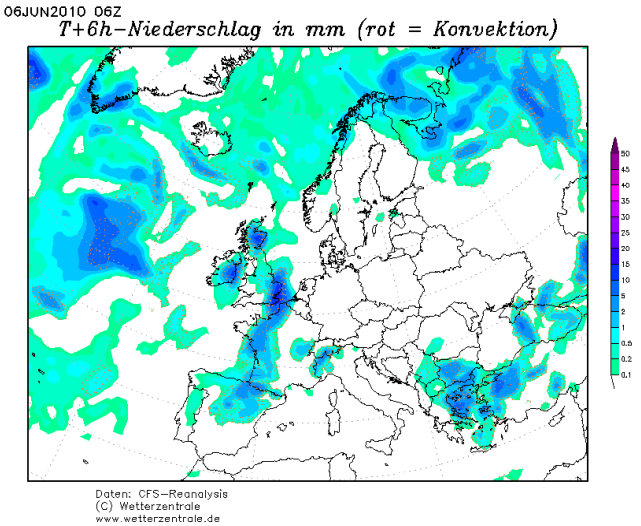
Şekil 5: 03:00(00Z) 500mb seviye yüksekliği ve yer seviyesi basıncı.



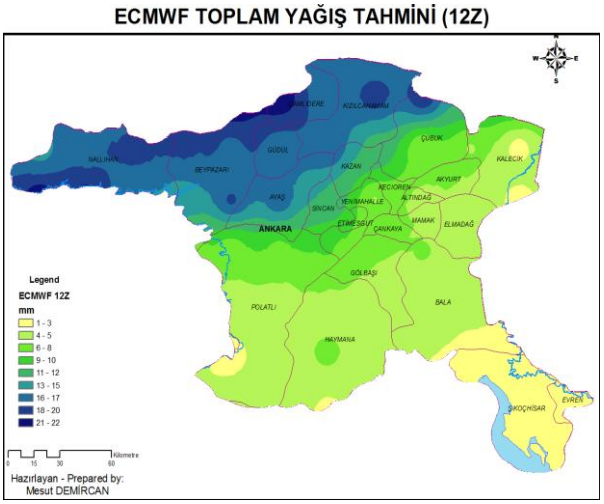
Şekil 6: 15:00(12Z) 500mb seviye yüksekliği ve yer seviyesi basıncı.

CFS Tekrar Analiz Yağış Tahmini incelendiğinde; 09:00 (00+6Z) tahmininde Ege Denizi'nde yağışın merkezlendiği ve Selanik ve Çanakkale arasında ise etkili olacağı görülmektedir. Çalışma bölgesinin ise kuzey ve kuzey batısında yağış beklentisi görülmektedir. 15:00 (06+6Z)

tahmininde Bursa ve çevresinde yağışın etkisinin arttığı ve çalışma bölgesi üzerinde yağış beklentisi görülmektedir (Şekil 7). 06.06.2010 tarihi 15:00 (12Z) ve 21:00 (18Z) için ECMWF tarafından üretilen tahmin Türkiye için indirilerek Birleştirilmiş Veri Görüntüleyici (IDW) aracılığıyla grip formatından MS Ofis Excel formatına dönüştürülüp ArcGIS 9.3 programı ile Ankara için üretilmiştir. Yağış tahminine göre; Ankara'nın kuzey yarısında etkili olacak yağış beklenilmektedir (Şekil 8).

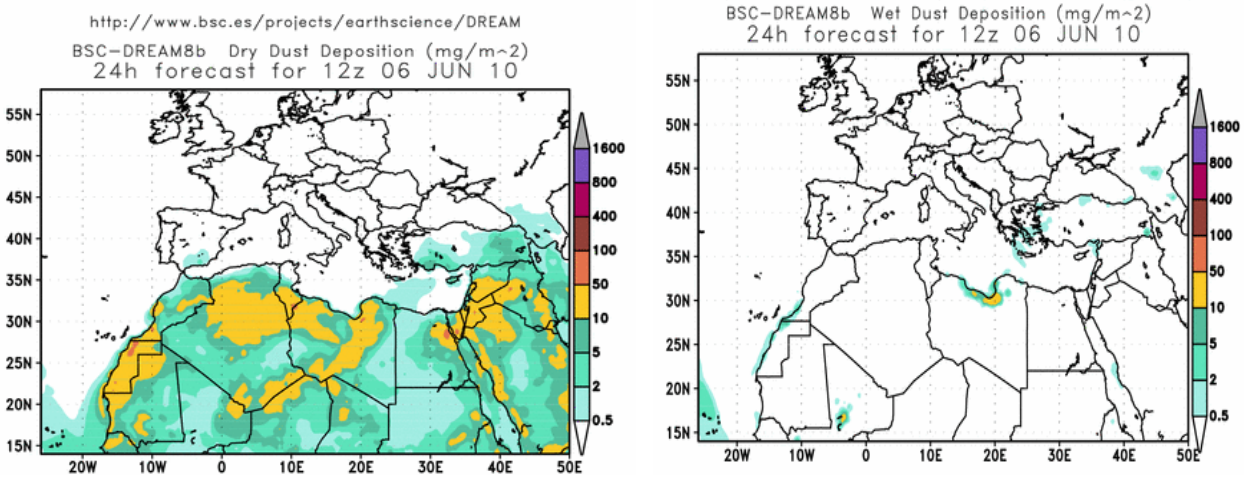


Şekil 7: 15:00 (06+6Z) CFS Tekrar Analiz Yağış Tahmini.



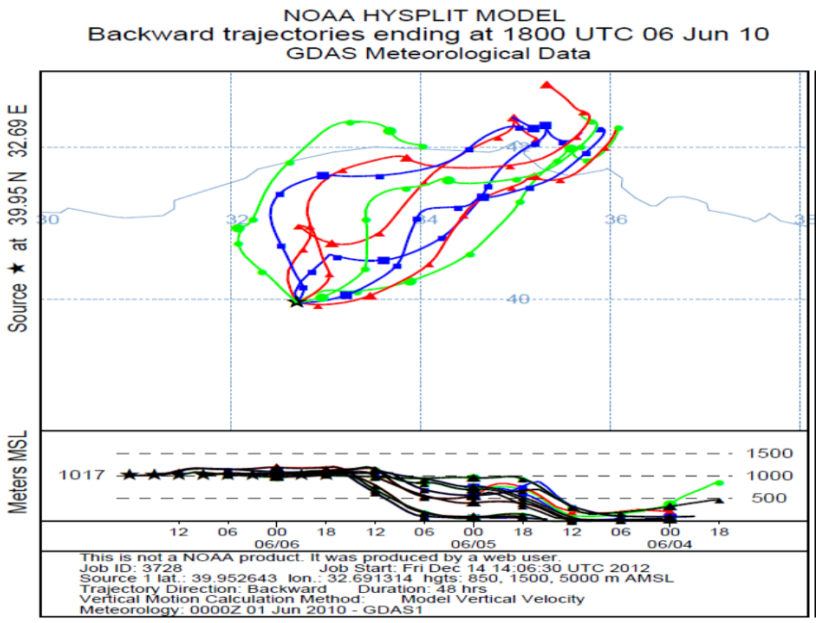
Şekil 8: 15:00 (12Z) için ECMWF tarafından üretilen yağış tahmininden Ankara için üretilen yağış tahmin haritası.

15:00 (12Z) Atmosferik Toz Tahmin Sistemi BSC-DREAM8b2v modelinin kuru toz birikimi çıktısında, Sahra çölünden gelen toz taşınımının Türkiye'nin güneyinden Antalya ve Diyarbakır üzerinden Türkiye girdiği ve yağışla birlikte Ankara üzerine yöneldiği görülmektedir. Islak toz birikimi çıktısında; İzmir, Sinop, Hatay ve Hakkari çevresinde birikim gözükmektedir (Şekil 16).



Şekil 9: 15:00 (12Z) için kuru ve ıslak toz birikimi.

06.06.2010 tarihli için üretilen 21:00 (18Z)'den geriye doğru çalıştırılan HYSPLIT Modeli geçmiş yörünge analizinde belirtilen tarihte Ankara'da yağışa neden olan nem ve aerosollerin Ankara'ya Karadeniz'den geldiği görülmektedir (Şekil 10).

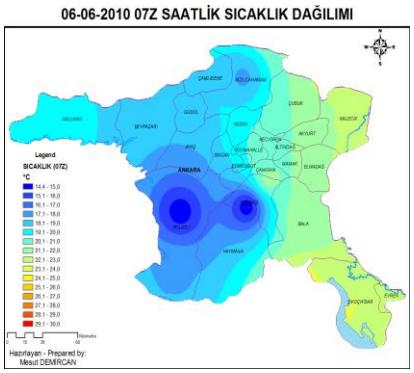


Şekil 10: 15:00 (12Z) için kuru ve ıslak toz birikimi.

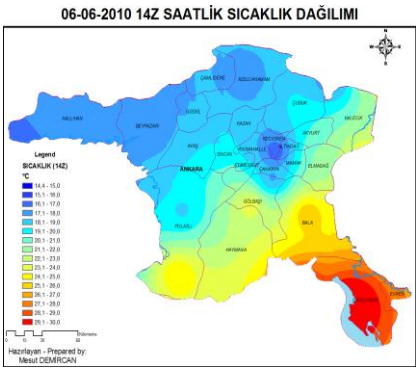
3.2 Örnek Çalışma Tarihin Ait Yersel ve Uzaktan Algılama Gözlemleri

Bu ön analizlerden sonra ilgili tarih çalışma için seçilmiş ve veriler elde edilerek sıcaklık, yağış, nem ve radar PPI ürünleri ArcGIS 9.3 ile üretilerek analiz edilmiştir.

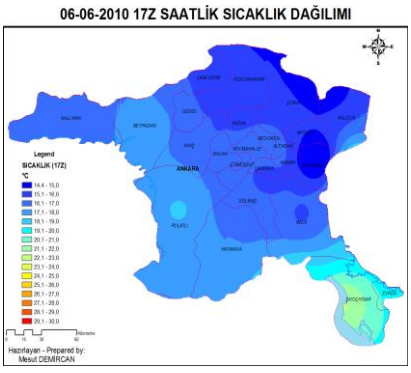
Saatlik sıcaklık analizinde saat 10:00 sıcaklıklarında Ankara'nın batısının daha soğuk olduğu özellikle Polatlı ve Gölbaşı'nın bu saat itibari ile en soğuk bölgesi olduğu görülmektedir (Şekil 11). Saat 17:00 sıcaklıklarında Ankara'nın kuzey doğu – güney batı çizgisinin üzerinin soğuk olduğu özellikle Nallıhan, Beypazarı, Kızılcahamam ve Keçiören'in bu saat itibari ile en soğuk bölgesi olduğu görülmektedir (Şekil 12). Saat 20:00 sıcaklıklarında soğumanın Ankara'nın kuzey doğusuna kaydığı görülmektedir (Şekil 13).



Şekil 11: 10:00 (07Z) sıcaklık haritası.

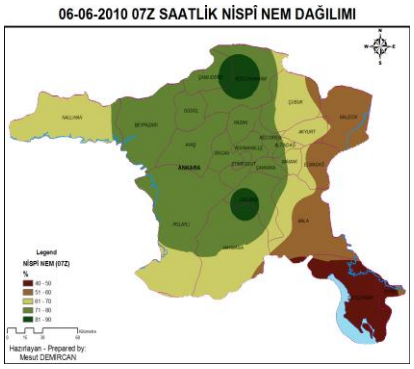


Şekil 12: 17:00 (14Z) sıcaklık haritası.

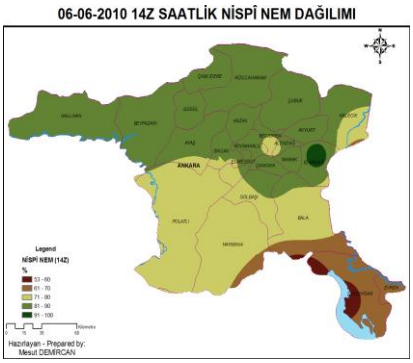


Şekil 13: 20:00 (17Z) sıcaklık haritası.

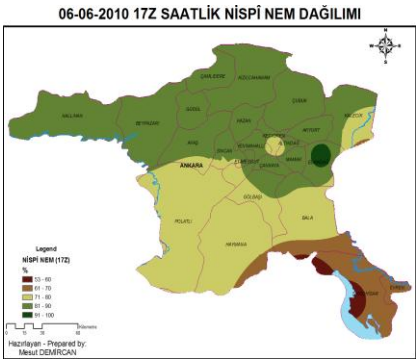
Saatlik nispî nem analizinde saat 10:00 nispî nem durumunda Ankara'nın doğu kesimi hariç nem dağılımının %60 ve üzeri olduğu, özellikle Gölbaşı ve Kızılcahamam'da %80'in üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 14). Saat 10:00 nispî nem durumunda Ankara'nın Şereflikoçhisar ve çevresi hariç nem dağılımının %60 ve üzeri olduğu, özellikle kuzey yarısında %80'in ve Elmadağ'da %90'ın üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 15). Saat 20:00 nispî nem durumunun saat 17 durumu ile aynı olduğu görülmektedir (Şekil 16).



Şekil 14: 10:00 (07Z) nispî nem haritası.



Şekil 15: 17:00 (14Z) nispî nem haritası.

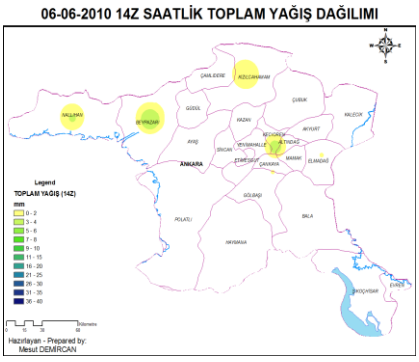


Şekil 16: 20:00 (17Z) nispî nem haritası.

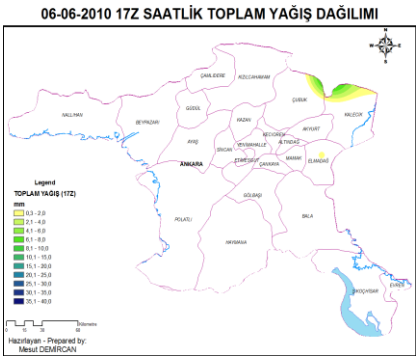
Saatlik yağış analizinde saat 10:00 yağışlarında Polatlı ve Gölbaşı'nda yağış olduğu görülmektedir (Şekil 15). Saat 17:00 yağışlarında Nallıhan, Beypazarı, Keçiören ve Kızılcahamam'da yağış olduğu görülmektedir (Şekil 16). Saat 20:00 yağışlarında Elmadağ ve Ankara'nın kuzeydoğu sınırında yağış olduğu görülmektedir (Şekil 17).



Şekil 15: 10:00 (07Z) toplam yağış haritası.

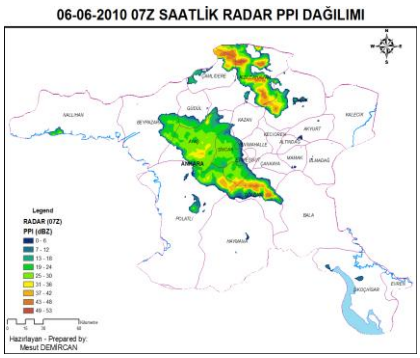


Şekil 16: 17:00 (14Z) toplam yağış haritası.

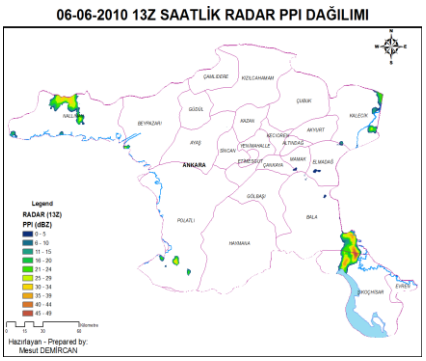


Şekil 17: 20:00 (17Z) toplam yağış haritası.

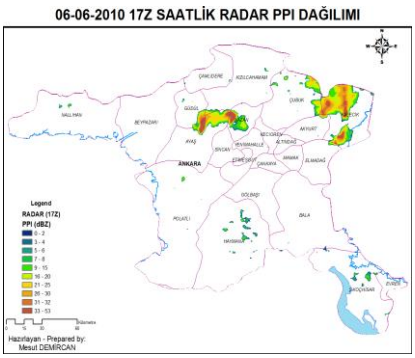
Örnek olay tarihli radar PPI ürünlerinin hazırlanan haritaları incelendiğinde; 10:00 (07Z) PPI dağılımında Kızılcahamam'dan Çubuk'a kuzey batı (KB) – güney doğu (GD) doğrultusunda ve Beypazarı'ndan Bala'ya KB-GD doğrultusunda uzanan bir koridor ile PPI değerleri görülmektedir. Etkinliğin Ayaş'ın güneyinde, Gölbaşı'nın kuzeyinde, Çamlıdere'nin kuzeydoğusunda, Çubuk'un kuzeybatısında ve Kızılcahamam ile kuzeydoğusunda olduğu görülmektedir (Şekil 18). 16:00 (13Z) PPI dağılımında etkinliğin Nallıhan'ın ve Şereflikoçhisar'ın kuzeyinde, Kalecik'in doğusunda ve Polatlı'nın güneyinde mevzi olarak olduğu görülmektedir (Şekil 19). 20:00 (17Z) etkinliğin Güdül, Kazan ve Ayaş'ın arasında, Çubuk'un doğusunda ve Kalecik'in kuzey ile güneyinde olduğu görülmektedir (Şekil 20).



Şekil 18: 10:00 (07Z) Radar PPI haritası.



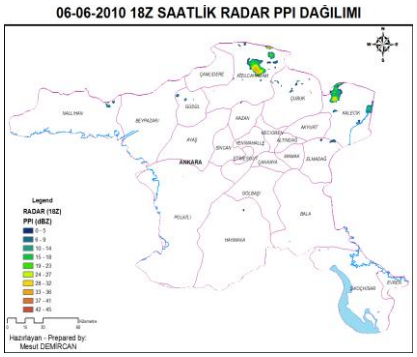
Şekil 19: 16:00 (13Z) Radar PPI haritası.



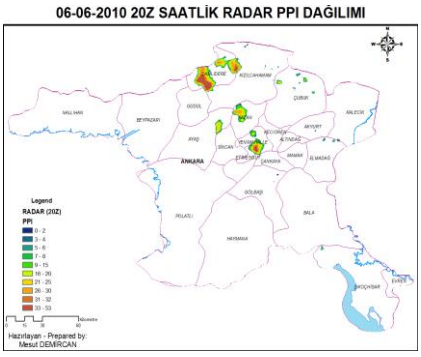
Şekil 20: 20:00 (17Z) Radar PPI haritası.

21:00 (18Z) PPI dağılımında etkinliğin Kızılcahamam'da ve Kalecik'in kuzeybatısında olduğu görülmektedir (Şekil 21). 22:00 (19Z) PPI dağılımında etkinliğin Elmadağ'da, Kalecik ile Akyurt arasında ve Kalecik'in kuzeyinde olduğu görülmektedir. 23:00 (20Z) PPI dağılımında etkinliğin Etimesgut, Yenimahalle, Kazan ve Çamlıdere ile çevresinde olduğu görülmektedir (Şekil 22).

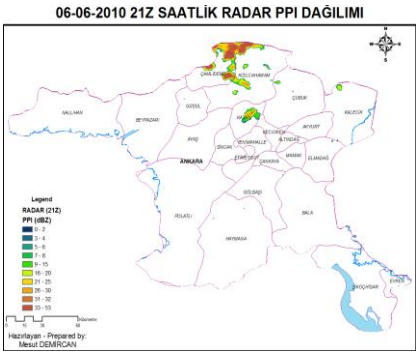
24:00 (21Z) PPI dağılımında etkinliğin Kazan'da, Çamlıdere ve Kızılcahamam arası ile kuzeyinde olduğu görülmektedir (Şekil 23).



Şekil 21: 21:00 (18Z) Radar PPI haritası.

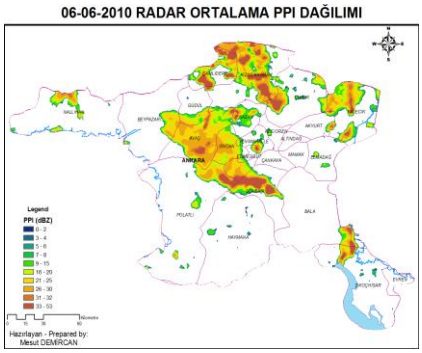


Şekil 22: 23:00 (20Z) Radar PPI haritası.

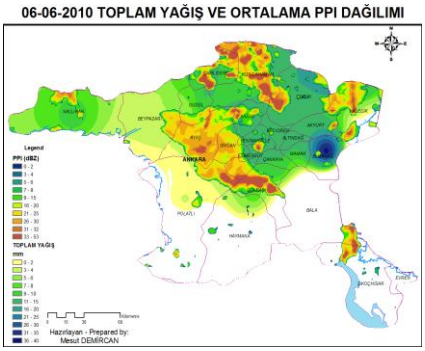


Şekil 23: 24:00 (21Z) Radar PPI haritası.

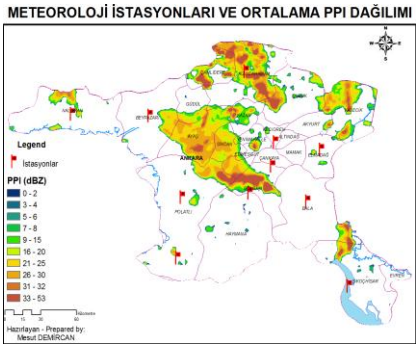
06.06.2010 tarihine ait ortalama PPI dağılımı, günlük toplam yağış ile ortalama PPI ve Meteoroloji istasyonları ile ortalama PPI haritaları (Şekil 24, 25 ve 26).



Şekil 24: Radar ortalama PPI haritası.



Şekil 25: Toplam yağış ve ortalama PPI haritası.



Şekil 26: Meteoroloji istasyonları ve tarihli ortalama PPI haritası.

3.3 Diğer Tarihler için Radar ve Model Çıktıları

18 Şubat 2010 tarihine ait Atmosferik Toz Tahmin Sistemi BSC-DREAM8bv2 çıktısı incelendiğinde Türkiye'nin batısında ve üzerinde batılı rüzgârlar ile Sahra çölünden kaynaklanan toz taşınımı olduğu görülmektedir. HYSPLIT Modeli geçmiş yörünge analizinde ise yağış neminin bölgeye Akdeniz'den Ankara'ya güneybatılı bir akışla taşındığı görülmektedir. Radar PPI ürünleri incelendiğinde Ankara üzerine gelen yağış sistemi ve bulutlar batılı akışlar doğrultusunda hareket etmektedir.

7 Haziran 2010 tarihine ait Atmosferik Toz Tahmin Sistemi BSC-DREAM8bv2 çıktısı incelendiğinde Türkiye'nin batısında kuzeydoğulu, doğusunda ise güneybatılı rüzgâr akışı mevcuttur ve Türkiye'nin güneyinde toz taşınımı görülmektedir. HYSPLIT Modeli geçmiş yörünge analizinde ise yağış neminin bölgeye Karadeniz'den taşındığı görülmektedir. Radar PPI ürünleri incelendiğinde Ankara üzerine gelen yağış sistemi ve bulutlar güneydoğu ve kuzeybatı doğrultusunda hareket etmektedir.

28 Ekim 2010 tarihine ait Atmosferik Toz Tahmin Sistemi BSC-DREAM8bv2 çıktısı incelendiğinde Türkiye'nin batısında Ege Denizi üzerinde bir siklon dönüş ve Akdeniz Bölgesi üzerinden İç Anadolu'ya doğru güneybatılı rüzgâr akışı mevcuttur ve Türkiye'nin batı ve güneyinden Anadolu içlerine doğru toz taşınımı görülmektedir. HYSPLIT Modeli geçmiş yörünge analizinde ise yağış neminin bölgeye Akdeniz'den taşındığı görülmektedir. Radar PPI ürünleri incelendiğinde Ankara üzerine gelen yağış sistemi ve bulutlar güneybatı ve kuzeydoğu doğrultusunda hareket etmektedir.

16 Aralık 2010 tarihine ait Atmosferik Toz Tahmin Sistemi BSC-DREAM8bv2 çıktısı incelendiğinde Türkiye'ye Akdeniz Bölgesi üzerinden İç Anadolu'ya doğru güneybatılı rüzgâr akışı mevcuttur ve Türkiye'nin batı ve güneyinden Anadolu içlerine doğru, özellikle Libya üzerinde aşırı miktarda toz yükü ile toz taşınımı görülmektedir. HYSPLIT Modeli geçmiş yörünge analizinde ise yağış neminin bölgeye Mısır'a kadar uzanan bir yörünge ile Akdeniz üzerinden taşındığı görülmektedir. Radar PPI ürünleri incelendiğinde Ankara üzerine gelen yağış sistemi ve bulutlar güneybatı ve kuzeydoğu doğrultusunda hareket etmektedir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ:

Çalışma için 2010 yılı içindeki 18 Şubat, 6 Haziran, 7 Haziran, 28 Ekim ve 16 Aralık tarihlerinde meydana gelen yağış hadisesi Ankara için incelenmiştir. 6 Haziran 2010 tarihi için sinoptik durum, sayısal tahmin modelleri çıktıları, yersel gözlemler ve Radar PPI verileri elde edilmiş olup, ECMWF modeli çıktısı, Radar PPI verileri ve yersel gözlemler CBS ortamında haritalanmış ve analiz edilmiştir. 18 Şubat, 7 Haziran, 28 Ekim ve 16 Aralık tarihleri ise sayısal model çıktıları ve Radar PPI volüme çıktı haritaları ile analiz edilmiştir.

Yapılan örnekleme analizlerde yağış bölgelerinin cephe sisteminin hareketine göre ilerlediği özellikle Ankara'nın doğusunda yoğunlaşmadığı görülmüştür. Örnekleme tarihlerindeki yağışı getiren sistemlerle birlikte Atmosferik Toz Tahmin Sistemi çıktılarındaki görülen toz taşınımı dikkat çekicidir. Yağışların oluşumunda yağışa neden olan sistemlerin, şehrin topografik yapısının ve Sahra Çölünden taşınan tozların daha etkin olduğu düşünülmektedir.

Bu tür çalışmalardaki olan ve olabilecek zorluklar;

A) Yersel gözlem ağının yetersizliği sebebiyle Ankara'nın ilçeleri ile topografyasına ait meteorolojik gözlemlere ve ekstrem hava olayları ile zararlarının etki alanı ve noktasına ulaşılamaması analizleri zayıflatmıştır. Bu durum CBS ile yapılan interpolasyon haritalarının topografyayı temsilini zayıflatmıştır.

B) Radar verilerindeki zamansal eksiklikler yağış bölge ve şiddetinin gözden kaçırılmasına neden olabilmektedir.

C) Model çıktılarının gridlenmiş ikilik kod sistemi (Gridded Binary "GRIB") veya ağ ortak veri formatı NetCDF ("NetCDF" network Common Data Form) şeklinde elde edilebilmesi ve radar verilerinin de ham olarak ya da GRIB2, hdf5 formatında sunulması MS Windows ortamında ve CBS tabanlı programlarda kullanımını zorlaştırmaktadır.

Çalışmanın daha iyi sonuç vermesi ve geliştirilmesi için birkaç günlük uzun süreli yağış dönemlerinin incelenmesinin, yağışla ilgili yersel ölçüm, radar verisi ve model çıktılarının yağış sonrası hemen derlenmesinin, şehre ait aerosol, toz ve kirletici kaynaklarının incelenmesinin ve bu verilere ait gözlemlerin de toplanmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmanın veri kaynakları, verilere erişim ve verilerin düzenlenmesi konusunda ortaya koyduğu metodolojinin, yapılacak bu ve benzeri türde çalışmalar için bir yol haritası, bir kaynak oluşturabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR:

1. ÇİÇEK, İ., Ankara'da Şehirleşmenin Yağış Üzerine Etkisi, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt: 14, Sayı: 1, Sayfa: 1-17, Elazığ-2004

2. Kadıoğlu, M., Şehirleşmenin Marmara Bölgesindeki Yağışlara Etkisi, Su ve Çevre Sempozyumu, İstanbul, Haziran 1997

3. Cicek. I., and Turkoglu N., Urban effects on Precipitation in Ankara, Atmosfera, 18(3), 173-187, 2005

4. KARAKUYU, M., Şehirleşmenin Küresel İklim Sapmaları Ve Taşkınlar Üzerindeki Etkisi, Marmara Coğrafya Dergisi Sayı:6, Temmuz-2002, İstanbul

5. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) Kurs Notu, Uydu ve Radar Ürünleri, 2009, Ankara

6. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) Kurs Notu, Sayısal Hava Tahmini, 2008, Ankara

7. Stensrud, David J., Parameterization schemes: keys to understanding numerical weather prediction models. Cambridge University Press. p. 56. ISBN 978-0-521-86540-1. Retrieved 2011-02-15.

8. Pielke, Roger A., Mesoscale Meteorological Modeling. Academic Press. pp. 48–49. ISBN 0-12-554766-8, 2002