

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**20 MAYIS 2015 TARİHLİ İZMİR'DEKİ KONVEKTİF YAĞIŞA BAĞLI SEL
HADİSESİNİN WRF NUMERİK MODELİ İLE SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Öykü CAN

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yurdanur ÜNAL

ŞUBAT 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**20 MAYIS 2015 TARİHLİ İZMİR'DEKİ KONVEKTİF YAĞIŞA BAĞLI SEL
HADİSESİNİN WRF NUMERİK MODELİ İLE SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Öykü CAN
(511171012)**

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yurdanur ÜNAL

ŞUBAT 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 511171012 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Öykü CAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “20 MAYIS 2015 TARİHLİ İZMİR’DEKİ KONVEKTİF YAĞIŞA BAĞLI SEL HADİSESİNİN WRF NUMERİK MODELİ İLE SİMÜLASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Yurdanur ÜNAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Şükran Sibel MENTEŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Meral DEMİRTAŞ
Samsun Üniversitesi

Teslim Tarihi : 26 Ocak 2021
Savunma Tarihi : 22 Şubat 2021





Sevdiklerime,



ÖNSÖZ

Sadece tezimi yazma sürecinde değil, aynı zamanda tüm yüksek lisans hayatım boyunca yardımları ile sabrını eksik etmeyen ve bana her zaman yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Yurdanur ÜNAL başta olmak üzere; Arş. Gör. Dr. Yasemin EZBER ve Doç. Dr. Barış ÖNOL hocalarıma yardımları için çok teşekkür ederim.

Ayrıca tez yazma sürecimde yardımlarını hiç eksik etmeyen başta Deniz DİREN, Onur Hakan DOĞAN, Sabri MUTLU, Yağız YILMAZ'a ve Oğuzhan ŞİMŞİR'e; sevgilerini asla eksik etmeyen aileme teşekkürü borç bilirim.

Ocak 2021

Öykü CAN
(Meteoroloji Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
2. AÇIKLAMALAR VE YÖNTEM	7
2.1 Konvektif Bulutlar ve Etkileri	7
2.2 Atmosferik Dinamiklerin Hesaplanması	8
2.2.1 Eulerian ve Lagrangian eksen takımları	9
2.2.2 Süreklilik denklemi	9
2.2.3 Termodinamiğin birinci yasası	10
2.2.4 Navier-Stokes denklemleri	10
2.3 Sayısal Hava Tahmini ve WRF	11
2.3.1 ARW dinamik çözücüsü	13
2.3.2 WRF modelinde ayrıştırma	13
2.3.2.1 Zamansal ayrıştırma	14
2.3.2.2 Uzamsal ayrıştırma	15
2.3.3 Başlangıç koşulları	16
2.3.4 Sınır koşulları	17
2.3.5 Yuvalama (nesting)	18
2.3.6 Dört boyutlu veri asimilasyonu (nudging)	19
2.3.7 Fiziksel parametrisasyon	19
2.3.7.1 Mikrofizik	20
2.3.7.2 Kümüls	21
2.3.7.3 Yüzey tabakası	21
2.3.7.4 Arazi yüzeyi	21
2.3.7.5 Atmosferik sınır tabakası	22
2.3.7.6 Atmosferik radyasyon	22
3. SİMÜLASYON BÖLGESİ	25
3.1 Topoğrafya ve Arazi Kullanımı	25
3.1.1 WRF model alanları	26
4. KONVEKTİF YAĞIŞ HADİSESİNİN ANALİZİ	29
4.1 Sinoptik Kartlar, Skew-T Log-P Diyagramı ve METAR	31
4.2 Radar ve Yıldırım Görselleri	39
5. VERİ	43
6. WRF-ARW HASSASİYET ANALİZİ TASARIMI	45

7. WRF-ARW SİMÜLASYON SONUÇLARI	49
7.1 Yağış.....	49
7.2 Bağıl Nemin Düşey Kesiti.....	66
7.3 Sütundaki Yağışa Geçebilir Su.....	69
7.4 Yerden 2 Metre Yükseklikteki Sıcaklık	70
7.5 850 hPa Jeopotansiyel Yükseklik Seviyesi	70
7.6 Kararsızlık İndeksleri	71
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	77
EKLER	85
ÖZGEÇMİŞ.....	137



KISALTMALAR

ARW	: Advanced Research WRF
CAPE	: Convective Available Potential Energy
CORINE	: Coordination of Information on the Environment
ECMWF	: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ERA	: ECMWF Reanaliz
EUMETSAT	: European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
GCM	: General Circulation Model
GFS	: Global Forecast System
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NCAR	: USA National Center for Atmospheric Research
NMM	: Nonhydrostatic Mesoscale Model
NOAA	: USA National oceanic and Atmospheric Administration
RRTM	: Rapid Radiative Transfer Model
RRTMG	: Rapid Radiative Transfer Model (GCM Applications)
SWEAT	: Severe Weather Threat
YSU	: Yonsei University
WPS	: The WRF Preprocessing System
WRF	: The Weather Research and Forecasting



SEMBOLLER

$^{\circ}\text{C}$	: Derece Celcius
C_p	: Sabit basınçtaki özgül ısı kapasitesi
C_v	: Sabit hacimdeki özgül ısı kapasitesi
dam	: Dekametre
$\vec{F}$	: Viskoz kuvvet
G	: Dünyanın kütle çekim kuvveti
K	: Kelvin
kg	: Kilogram
M	: Dünyanın kütlesi
M_{hava}	: Havanın kütlesi
P_a	: Paskal
P_{ref}	: Referans basıncı
p	: Basınç
R_d	: Kuru havanın gaz sabiti
T	: Sıcaklık
t	: Zaman
TSİ	: Türkiye saati ile
UTC	: Eş Güdümlü Evrensel Zaman
u,v,w	: Rüzgar hızı bileşenleri
z	: Geometrik yükseklik
η	: Eta yükseklik seviyesi
ρ	: Yoğunluk
Φ	: Enlem derecesi
Ω	: Dünyanın açısal hızı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1: İzmir - Adnan Menderes Havalimanı 20 Mayıs 2015 tarihli METAR Raporu (Euroweather, 2019).....	38
Çizelge 6.1: Örnek sınıflandırma yöntemi	45





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1:	Ege Postası haberi 20 Mayıs 2015 tarihli haber. İzmir Körfezi'ndeki sağanak yağış (Ege Postası, 2015).....	4
Şekil 2.1:	WRF Yazılım Altyapısı Şeması (Skamarock ve diğ., 2019).....	13
Şekil 2.2:	Düşeyde ve yatayda Arakawa C ızgara sistemi ve sistem içerisindeki değişkenlerin kullanıldığı konumlar (Skamarock ve diğ., 2019).....	15
Şekil 2.3:	Gerçek verilere dayalı yapılan benzetimler için yanıl sınır koşulları: Belirlenmiş lokasyon ve yumuşatma bölgeleri (Skamarock ve diğ., 2019).	17
Şekil 2.4:	Çeşitli şekillerde tasarlanmış WRF model alanları. (a) iç içe geçmiş alanlardan oluşan model alanı tasarımı. (b) birbiri ile aynı jenerasyonda olan iki alana sahip model tasarımı. (c) birbiri üzerine binmiş iki alana sahip model tasarımı. (d) 2 ile 3 birbirinden bağımsız, 4 ise onların alt kümesi olan model tasarımı. (c) ile (d) tasarımları kusurlu tasarımlardır ve modelin çalışmasına izin verilmez (Skamarock ve diğ., 2019)	18
Şekil 3.1:	Yunanistan, Ege Denizi ve Batı Türkiye'yi kapsayan topoğrafya haritası. Kırmızı ile işaretlenmiş yer İzmir olmaktadır (Google, 2021).	25
Şekil 3.2:	İzmir ilinin arazi kullanım haritası. Bordo olan bölgeler şehirleşmeyi ifade ederken, yeşil alanlar ormanları temsil etmektedir (İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı Nazım Plan Şube Müdürlüğü, 2012).	26
Şekil 3.3:	Yataydaki çözünürlükleri 9 km, 3 km ve 1 km olan model alan tasarımı görseli. Ana çerçeve 9km yatay çözünürlüklü alanı belirtirken, d02 olan alan 3 km yatay çözünürlüklü ve d03 olan alan ise 1 km yatay çözünürlüklü alanı ifade etmektedir	27
Şekil 3.4:	Yataydaki çözünürlükleri 9 km, 3 km, 1 km ve 500 m olan model alan tasarımı görseli. Ana çerçeve 9km yatay çözünürlüklü alanı belirtirken, d02 olan alan 3 km yatay çözünürlüklü, d03 olan alan 1 km ve d04 olan alan ise 500 m yatay çözünürlüklü alanı ifade etmektedir.....	27
Şekil 4.1:	İzmir'de incelenen Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait meteorolojik gözlem istasyonlarının konumları (Google, 2021)	29
Şekil 4.2:	Seçilen MGM istasyonları (MGM, 2020c) için 19.05.2015 00 TSİ ile 22.05.2015 00 TSİ tarihleri arasındaki saatlik yağış dağılımları. Lejantta sırayla İzmir Bölge, Konak/Pasaport, Bornova, Bayraklı, Karşıyaka ve Konak MGM istasyonları verilmiştir.....	30
Şekil 4.3:	19 Mayıs 2015 00.00 UTC ile 21 Mayıs 2015 00.00 UTC tarihleri arasındaki 850 hPa seviyesi jeopotansiyel yükseklik [dam] ve sıcaklık [°C] kartları (Wetter3, 2021). 00.00 ile 12.00 UTC saatleri için alınmıştır. Eğriler jeopotansiyel yükseklikleri belirtirken, renklendirilmiş alanlar sıcaklığa karşılık gelmektedir	31
Şekil 4.4:	19 Mayıs 2015 00.00 UTC ile 21 Mayıs 2015 00.00 UTC tarihleri arasındaki yüzey basınç [hPa], 700 hPa seviyesi için düşey hareketlilik	

	[hPa/h] kartları (Wetter3, 2021). 00.00 ile 12.00 UTC saatleri için alınmıştır. Beyaz eğriler yüzey basıncını, renkli alanlar düşey hareketliliği temsil etmektedir	32
Şekil 4.5:	19 Mayıs 2015 00.00 UTC ile 21 Mayıs 2015 00.00 UTC tarihleri arasındaki 500 hPa seviyesi jeopotansiyel yükseklik [dam] ve sıcaklık [°C] kartları (Wetter3, 2021). 00.00 ile 12.00 UTC saatleri için alınmıştır. Eğriler jeopotansiyel yükseklikleri belirtirken, renklendirilmiş alanlar sıcaklığa karşılık gelmektedir	33
Şekil 4.6:	19 Mayıs 2015 00.00 UTC ile 21 Mayıs 2015 00.00 UTC tarihleri arasındaki 300 hPa seviyesi jeopotansiyel yükseklik [dam], rüzgar [knot] ve yatay diverjans [s-1] kartları (Wetter3, 2021). 00.00 ile 12.00 UTC saatleri için alınmıştır. Siyah eğriler jeopotansiyel yükseklikleri, beyaz eğriler yataydaki diverjans ve konverjans oluşumunu belirtirken; renklendirilmiş alanlar rüzgara karşılık gelmektedir	34
Şekil 4.7:	19 Mayıs 2015 00.00 UTC ile 21 Mayıs 2015 00.00 UTC tarihleri arasındaki 500 hPa seviyesi jeopotansiyel yükseklik [dam], mutlak vortisiti adveksiyonu [s-2] kartları (Wetter3, 2021). 00.00 ile 12.00 UTC saatleri için alınmıştır. Siyah eğriler jeopotansiyel yükseklikleri, renklendirilen alanlar mutlak vortisiti adveksiyonunu ifade etmektedir	35
Şekil 4.8:	20 Mayıs 2015 00.00 UTC, 06.00 UTC, 12.00 UTC ve 18.00 UTC tarihleri için Lifted İndeksi [K] ile CAPE [J/kg] değerlerini gösteren haritalar (Wetter3, 2021). Lifted İndeksi beyaz eğriler, CAPE renklendirilmiş alan olarak belirtilmiştir	36
Şekil 4.9:	Wyoming Üniversitesi Atmosferik Bilimler Departmanı'ndan elde edilen ravinzonde verilerinin, 20 Mayıs 2015 12.00 UTC için Skew-T Log-P diyagramı	37
Şekil 4.10:	İzmir ve çevre illeri gösteren MGM'ne ait 20 Mayıs 2015 tarihili radar reflektivite görselleri 11.30 UTC'den (14.30 TSİ) 15.30 UTC (18.30 TSİ) saatine kadar radar olan yansıtma değerleri ile onlardan türetilen yağış miktarını belirtmektedir. Renk ölçeğine bakıldığında sarı rengin üzerindeki yüksek yansıtma değerlerine sahiplerdir ve 20 mm/saat değerinden daha şiddetli olan yağışa karşılık gelmektedir (MGM, 2020b)..	39
Şekil 4.11:	Ege ve Marmara Bölgesi'ni gösteren MGM'ne ait 20 Mayıs 2015 tarihli radar reflektivite görselleri. 11.30 UTC'den (14.30 TSİ) 15.30 UTC (18.30 TSİ) saatine kadar olan yansıtma değerleri ile onlardan türetilen yağış miktarını belirtmektedir. Renk ölçeğine bakıldığında sarı rengin üzerindeki yüksek yansıtma değerlerine sahiplerdir ve 39 mm/saat değerinden daha şiddetli olan yağışa karşılık gelmektedir (MGM, 2020b)	40
Şekil 4.12:	20 Mayıs 2015 tarihi için yıldırım gözlem verileri. Yıldırım değerleri noktasal olarak gösterilmiştir ve her renk ayrı bir zaman dilimine karşılık gelmektedir (Thunderstorm24, 2020).	41
Şekil 5.1 :	İzmir Körfezi'ne ait CORINE ve MODIS uydu verileri ile WRF-ARW için hazırlanmış arazi yüzeyi kullanım görselleri	44
Şekil 6.1 :	Çalışmada kullanılan benzetimlerin içerikleri ve adları	46
Şekil 7.1:	WRF-ARW modeli ile yapılan benzetimlerin 20 Mayıs 2015 tarihi için mm/gün cinsinden toplam yağmur sonuçları karşılaştırılması. Her	

	benzetimin üstünde adlandırılması, en sağda ise yağış miktarlarını gösteren renk ölçeği belirtilmiştir	50
Şekil 7.2:	ERA5 ve ERA-Interim girdi verileri için deniz yüzeyi, GFS girdi verileri için yüzey sıcaklıkları görselleri. ERA5 ile ERA-Interim benzer sıcaklık değerlerine sahipken, GFS daha sıcak deniz yüzeyi değerine sahiptir..	52
Şekil 7.3:	İzmir Körfezi'nde kullanılan MGM istasyonların konumları ve alansal kaymaların etkisini azaltabilmek amacıyla seçilen bölge pembe çerçeve içerisinde belirtilmiştir (Google, 2021).	58
Şekil 7.4:	20 Mayıs 2015 00.00 TSİ -22 Mayıs 2015 00.00 TSİ tarih aralığı için seçilen bölge içerisinde üretilen, saatlik en yüksek yağış değerleri ile şekil 7.3'te belirtilen MGM meteoroloji istasyonlarından (MGM, 2020c) gelen saatlik yağış verilerinin karşılaştırılması. Kesikli çizgilerle ifade edilen sonuçlar istasyonlardan gelen bilgileri ifade ederken, kesikli olmayan çizgiler benzetim sonuçları olmaktadır. Daha kolay anlaşılabilmesi için, en yüksek yağış değerleri 5 mm/saat değerinin altında kalan benzetim sonuçları gri renk ile belirtilmiştir. Mavi eğri GFS ve CORINE, kırmızı eğri GFS ve kontrol deneyi kurulumu, yeşil olan eğri ise GFS ve "grid nudging" yapılmış olan benzetimleri belirtmektedir.....	59
Şekil 7.5:	Gerçekleştirilen benzetimlerden elde edilen şekil 7.4'teki sonuçlar için saatlik en yüksek yağış değerleri	60
Şekil 7.6:	20 Mayıs 2015 00.00 TSİ -22 Mayıs 2015 00.00 TSİ tarih aralığı için seçilen bölge içerisinde üretilen, saatlik en yüksek yağış değerleri ile şekil 7.3'te belirtilen MGM meteoroloji istasyonlarından (MGM, 2020c) gelen saatlik yağış verilerinin karşılaştırılması. Kesikli çizgilerle ifade edilen sonuçlar istasyonlardan gelen bilgileri ifade ederken, kesikli olmayan çizgiler benzetim sonuçları olmaktadır. Daha kolay anlaşılabilmesi için, en yüksek yağış değerleri 5 mm/saat değerinin altında kalan benzetim sonuçları gri renk ile belirtilmiştir. Mavi eğri GFS ve CORINE, kırmızı eğri GFS ve kontrol deneyi kurulumu, yeşil olan eğri ise GFS ve "grid nudging" yapılmış olan benzetimleri belirtmektedir	62
Şekil 7.7:	1G30CY1 benzetiminin 20 Mayıs 2015 12.00 TSİ ile 20 Mayıs 2015 18.00 TSİ tarihleri arasındaki [mm] cinsinden saatlik yağış değerlerine ait görselleri. Gün içerisinde daha öncesinde ve sonrasında yağış üretilmediği için görselleri eklenmemiştir.....	63
Şekil 7.8:	1G30MV1 benzetiminin 20 Mayıs 2015 12.00 TSİ ile 20 Mayıs 2015 23.00 TSİ tarihleri arasındaki [mm] cinsinden saatlik yağış değerlerine ait görselleri. Gün içerisinde daha öncesinde yağış üretilmediği için görselleri eklenmemiştir..	64
Şekil 7.9:	1G30MY1 benzetiminin 20 Mayıs 2015 10.00 TSİ ile 20 Mayıs 2015 22.00 TSİ tarihleri arasındaki [mm] cinsinden saatlik yağış değerlerine ait görselleri. Gün içerisinde daha öncesinde yağış üretilmediği için görselleri eklenmemiştir	65
Şekil 7.10:	Düşey kesit alınırken seçilen doğrultunun gösterimi (Google, 2021) ..	67
Şekil 7.11:	20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için, GFS girdi verileri ile üretilen bağıl nemin ve sıcaklığın yer seviyesinden 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine kadar olan düşey kesit görselleri. Kahverengi alanlar karaya denk gelmektedir	68

Şekil 7.12:	20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ için GFS girdi verileri ile üretilen benzetimlerin sütun boyunca yağışa geçebilir su miktarı görselleri	69
Şekil 7.13:	20 Mayıs 2015 12.00 TSİ ile 17.00 TSİ tarih aralığı için, 1E30CY1, 1EI30CY1 ve 1G30CY1 benzetimlerine ait CAPE indeksi görselleri	72
Şekil A.1:	20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen bağıl nemin ve sıcaklığın yer seviyesinden 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine kadar olan düşey kesit görselleri	87
Şekil A.2:	20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen bağıl nemin ve sıcaklığın yer seviyesinden 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine kadar olan düşey kesit görselleri	92
Şekil A.3:	20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin sütun boyunca yağışa geçebilir su miktarı görselleri	97
Şekil A.4:	20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin sütun boyunca yağışa geçebilir su miktarı görselleri	100
Şekil A.5:	20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller	103
Şekil A.6:	20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin yüzey sıcaklıkları görselleri	107
Şekil A.7:	20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için GFS girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller	112
Şekil A.8:	20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliklerini, sıcaklık ve rüzgar değerlerini ifade eden görseller. Jeopotansiyel yükseklikler, konturlar ile ifade edilmiştir	113
Şekil A.9:	20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliklerini, sıcaklık ve rüzgar değerlerini ifade eden görseller. Jeopotansiyel yükseklikler, konturlar ile ifade edilmiştir	117
Şekil A.10:	20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için GFS girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliklerini, sıcaklık ve rüzgar değerlerini ifade eden görseller. Jeopotansiyel yükseklikler, konturlar ile ifade edilmiştir	122
Şekil A.11:	20 Mayıs 2015 06.00 ile 21.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliğindeki bağıl nemi ifade eden görseller. Haritalardaki değerler saatlik sonuçlara karşılık gelmekte olup her üç saatte bir çizdirilmiştir	123
Şekil A.12:	20 Mayıs 2015 06.00 ile 21.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliğindeki bağıl nemi ifade eden görseller. Haritalardaki değerler saatlik sonuçlara karşılık gelmekte olup her üç saatte bir çizdirilmiştir	127
Şekil A.13:	20 Mayıs 2015 06.00 ile 21.00 TSİ tarih aralığı için GFS girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliğindeki bağıl nemi ifade eden görseller. Haritalardaki değerler saatlik sonuçlara karşılık gelmekte olup her üç saatte bir çizdirilmiştir	132

- Şekil A.14:** 20 Mayıs 2015 12.00 TSİ ile 17.00 TSİ tarih aralığı için, 1E30CY1, 1EI30CY1 ve 1G30CY1 benzetimlerine ait Total Totals indeksi görselleri **133**
- Şekil A.15:** 20 Mayıs 2015 12.00 TSİ ile 17.00 TSİ tarih aralığı için, 1E30CY1, 1EI30CY1 ve 1G30CY1 benzetimlerine ait SWEAT indeksi görselleri **134**
- Şekil A.16:** 20 Mayıs 2015 12.00 TSİ ile 17.00 TSİ tarih aralığı için, 1E30CY1, 1EI30CY1 ve 1G30CY1 benzetimlerine ait K indeksi görselleri..... **135**





20 MAYIS 2015 TARİHLİ İZMİR'DEKİ KONVEKTİF YAĞIŞA BAĞLI SEL HADİSESİNİN WRF NUMERİK MODELİ İLE SİMÜLASYONU

ÖZET

Sağanak yağışlara bağlı gerçekleşen sel baskınları, daha önceden tahmin edilememesindeki zorluğu sebebiyle küresel anlamda zarara sebep olmaktadır. 1995-2015 yılları içerisinde gerçekleşen doğal afet oranlarına bakıldığında, en yüksek zarar veren olayın %43 ile sel-taşkın olduğuna ulaşılabilir (MGM, 2016a). Avrupa Çevre Ajansı'ndan elde edilen bilgiye göre, sadece 2000-2018 yılları içerisinde belirlenebilen maddi zarar 25 milyar avro kadar iken, onun yanı sıra çok fazla insan zarar görmüştür. Türkiye gibi Akdeniz ülkeleri siklonlarla çok sık karşılaşmaları sebebiyle, bahsedilen şekilde gerçekleşen sel baskınlarının fazlasıyla gözlemlendiği yerlerdir. Özellikle şehirleşmenin yoğun olarak yaşandığı bölgelerde, artan nüfus ile beraber değişen çevre şekilleri ve yüzey örtüsü, yağışın yeryüzü tarafından emilme miktarında azalışına sebep olmaktadır (Doocy ve diğ., 2013). Bu sebeple, olayın öngörülmesi hem can hem de mal kaybını en aza indirecektir. Ancak başlangıç koşullarının kusursuz olarak belirlenememesi durumu sebebiyle yapılan hesaplamalardaki hatalar, sonuçlarda daha belirgin ve büyük sorunlara evrilmektedir (Lorenz, 1996).

Bu çalışmada, hem çevreye çok zarar veren bir olay olması hem de öngörülebilmesindeki zorluğu sebebiyle, kısa sürede gerçekleşen şiddetli yağışa bağlı İzmir Körfezi'ndeki 20 Mayıs 2015 tarihinde olan sel olayı incelenmiştir. 15.00 TSİ ile 16.00 TSİ arasında yağış gözlemlenen olayda, en fazla körfezin doğusu olan Bornova civarındaki bölge etkilenmiştir. İlerleyen zamanlarda yağış daha kuzeye geçerek Bayraklı civarında yağışa sebep olmuştur. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) 20 Mayıs 2015 tarihi için gelen bilgilere göre (MGM, 2020c), meteoroloji gözlem istasyonlarında günlük toplam yağış; Bornova için 67,8 mm, Konak için 37,6 mm, Bayraklı için 15,6 mm, Buca için 4,6 mm ve Karşıyaka için 0,7 mm olmuştur. MGM radar yansıtma görselleri, sinoptik haritalar ve yine MGM yağış değerleri karşılaştırıldığında; 20 Mayıs 2015 tarihinde, 14.00 TSİ ve 15.00 TSİ'de bulutların geliştiği, 16.00 TSİ gibi tamamen Bornova üzerine konumlandığına ulaşılabilir. Yağış, 17.00 TSİ civarında Bornova'dan Bayraklı ile Karşıyaka istasyonlarına, ardından ise daha kuzeydoğuda kalan Aliağa üzerine doğru ilerlemiştir.

Özellikle 15.00 ile 16.00 TSİ arasında etkili yağışa sebep olan 20 Mayıs 2015 tarihinde gerçekleşen sistemin tahminlenmesinde WRF-ARW modeli kullanılmış ve çeşitli kurulum değişiklikleri yapılarak 39 farklı benzetim çıktısı elde edilmiştir. Merkezinde İzmir Körfezi'ni içeren alanlardan oluşan model bölgesi kullanılan çalışmada; ERA5, ERA-Interim, GFS olmak üzere üç farklı atmosferik girdi verisi kullanılmıştır. Topoğrafik bilgi çözünürlüğünün benzetimler üzerindeki etkisi anlaşılması için CORINE ve MODIS uydu verilerinden elde edilen topoğrafya verileri denenmiş, yatay çözünürlük etkisinin çözümlenebilmesi için 0,5 km × 0,5 km ve 1 km × 1 km olmak üzere iki farklı alansal kurulumu uygulanmıştır. Ayrıca fiziksel parametrisasyonlarda

yapılan değişiklikler de bulunmaktadır. Mikrofizik şemaları içerisinde “Thompson Graupel”, “Morrison 2-Moment” ile “WDM 6-Class”; uzun dalga boylu radyasyon şemaları içerisinde “RRTM” ile “RRTMG”; kısa dalga boylu radyasyon şemaları içerisinde “Goddard Kısa Dalga” ile “RRTMG”; atmosferik sınır tabakası şemaları içerisinde “YSU” ile “Mellor-Yamada-Janjic TKE”; arazi yüzeyi şemaları içerisinde “Monin-Obukhov Benzerliği” ile “Monin-Obukhov (Janjic Eta) Benzerliği” kullanılırken; yüzey katmanı için “Termal Difüzyon” ile “Noah Yüzey Katmanı Modeli” şemaları denenmiştir. Olay günü öncesinde 1’den 4 güne kadar geri gidilmesinin, yağış üzerindeki etkisinin incelenebilmesi için farklı model yatışma süreleri kullanılmıştır. Ayrıca deniz yüzeyi sıcaklığında yapılan değişiklik ile “grid nudging” yönteminin hesaplama üzerindeki etkisi denenmiştir.

Yapılan benzetimlerin sadece üçü İzmir Körfezi’nde şiddetli yağışa sebep olmuştur. Geri kalan benzetimlerde olay saatleri için 5 mm değerinin üzerinde yağış elde edilememiştir. Elde edilen sonuçlar, GFS girdi verisi ile üretilenler olup ERA-Interim, ERA5 reanaliz verisine göre örüntüsü ve şiddeti bazında daha iyi hesaplama yapmıştır. Ancak, yine de yağış değerleri İzmir Körfezi için çok düşük kalmıştır. Karaburun, Sakız Adası ve Aliğa civarında gerçekleşen yağışlar neredeyse tüm ERA-Interim ile GFS kullanılan benzetimlerde çözümlenebilmiştir; ancak ERA5 bu konuda da başarısız kalmıştır.

Diğer sonuçlar girdi verileri kadar etkili farka sebep olmasa da 1 günlük model yatışma sürelerine sahip benzetimler daha başarılı olurken; hesaplama süresinin uzaması, yağışlarda azalışa nedendir.

1 km × 1 km yatay çözünürlüğe sahip alan için yapılan çözümlemeler, daha yüksek çözünürlüğe sahip olanlara göre yağış örüntüsü açısından daha uyumlu sonuç vermiştir. 0,5 km × 0,5 km olan alanlarda yağış, daha çok Sakız Adası’nda merkezlenmiştir. Böylece İzmir Körfezi’ne ilerleyememiştir.

Deniz yüzeyi sıcaklığındaki +1 °C’lık fark, yağış şiddetinin artmasına ve “grid nudging” yöntemi kullanılmama durumunda yağış örüntüsünün daha uyumlu olmasına sebep iken; CORINE verilerinden üretilen arazi kullanım bilgisi ile yapılan sonuçlar da, hem yağış şiddetinde artışa hem de alansal olarak daha uyumlu olmasında etkili olmuştur.

Fiziksel parametризasyonlarda yapılan değişiklikler içerisinde en uyumlu yağış örüntüsü “WDM 6-Class”; en uyumlu yağış şiddeti “Morrison 2-Moment” mikrofizik şeması ile üretilmiştir. Ayrıca, “RRTMG” radyasyon parametризasyonu ile yapılan benzetimler; “Noah Arazi Yüzeyi Modeli” arazi yüzeyi ile “Mellor-Yamada-Janjic TKE” atmosferik sınır tabakası şemaları; “Monin-Obukhov” yüzey tabakası şeması kullanılarak yapılan hesaplamalar daha iyi sonuç vermiştir.

Özellikle ERA veri setlerine göre daha yüksek deniz yüzeyi sıcaklığına sahip olması sebebiyle belirgin bir yağış farkına sebep olan GFS; hem şiddet hem de örüntü olarak en uyumlu sonucu CORINE topoğrafik bilgisi ile yapılan 1G30CY1 benzetiminde vermiştir. GFS ile yapılan benzetimlerin daha iyi sonuç vermesi, Turunçoğlu’nun 2014’te yaptığı çalışmasında da belirttiğı gibi, Türkiye’de gözlemlenen yağışların deniz yüzeyi sıcaklığından çok fazla etkilenmesi ile açıklanabilir.

İleride yapılacak çalışmalarda başlangıç ve sınır koşullarını oluşturmaları için GFS, arazi kullanımı olarak CORINE kullanılması önerilmektedir. Ayrıca, fiziksel parametризasyonları kendi içlerinde karşılaştırıldığında anlamlı sonuç üretilse de, körfezde gözlemlenen yağış değerlerine yakın bir sonuç üretilmemiştir. Bu sebeple,

GFS verisi, CORINE arazi kullanım verisi ve/veya çalışmada denenmemiş fiziksel parametrizasyon kombinasyonların kullanımı ile daha şiddetli yağış üretilebileceği öngörülmektedir. İzmir Körfezi için yapılan çözümlemelerde “*grid nudging*” yöntemi başarısız olmuştur. Bu sebeple körfez için yapılacak hesaplamalarda önerilmemektedir. ERA5 ve ERA-Interim ile çözümlenen benzetimlerde deniz yüzeyi sıcaklığındaki değişim irdelendiği için GFS ile kullanımında nasıl bir sonuç olacağı bilinmemektedir. Ancak yağış şiddetinde artış olacağı öngörülmektedir.





SIMULATION OF FLOOD DUE TO CONVECTIVE PRECIPITATION IN IZMIR ON 20 MAY 2015 WITH WRF NUMERIC MODEL

SUMMARY

Floods due to rapid heavy rains cause global damage due to the difficulty of unpredictability. When the rates of natural disasters between 1995 and 2015 are considered, it can be reached that the most damaging event was flood with 43% (MGM, 2016a). According to the information obtained from the European Environment Agency (2018), while the financial damage for the years 2000-2018 was about 25 billion Euros, a lot of people were injured besides it. Floods are frequently observed in Mediterranean countries like Turkey, because very often encounter with cyclones. Especially in regions where urbanization is intense, changes in environmental conditions and surface cover with increasing population cause a decrease in the absorption amount of precipitation by the earth (Doocy et al., 2013). For this reason, predicting the flood event will minimize both life and property loss. However, errors in the predictions increase due to the observational inability to determine the true initial conditions and these initial condition errors evolve into larger problems in the results (Lorenz, 1996).

In this study, the flood event in Izmir Bay on May 20, 2015, due to heavy rainfall in a short time, has been investigated, both because it is a very damaging event for the environment and is difficult to predict. In the event, heavy precipitation was observed between 15.00 TSI and 16.00 TSI and the region around Bornova, the east of the bay, was affected the most. Later on, the precipitation moved further north and caused rainfall around Bayraklı. According to the information received from the Turkish State Meteorological Service (MGM) for 20 May 2015 (MGM, 2020c), the total daily precipitation at meteorology observation stations is 67.8 mm in Bornova, 37.6 mm in Konak, 15.6 mm in Bayraklı, 4.6 mm in Buca and It was 0.7 mm in Karşıyaka. When the radar reflectivity visuals from MGM, synoptic maps and rainfall values measured by MGM are compared, it can be seen that the clouds developed at 11.00 UTC (14:00 LT) and 12.00 UTC (15:00 LT) on 20 May 2015, and it is completely located on Bornova at 14.00 UTC (16:00 LT). Rainfall proceeded from Bornova to Bayraklı and Karşıyaka stations around 14.00 UTC, and then towards Aliğa, which is further northeast.

The WRF-ARW model with 39 different simulation outputs were obtained by making various set ups was used in the estimation of the system, which caused effective rainfall between 12.00 UTC and 13.00 UTC, on 20 May 2015. Three different atmospheric input data that are ERA5, ERA-Interim, GFS, were used in the study. All model set ups has domains consisting of areas including the Izmir Bay in its center. In order to understand the effect of topographic information resolution on simulations, topography data obtained from CORINE and MODIS were used, and two different spatial resolution set ups as $0.5\text{ km} \times 0.5\text{ km}$ and $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ were applied to observe the horizontal resolution effect. There are also changes made in physical

parameterizations. Various microphysical schemes (“Thompson Graupel”, “Morrison 2-Moment” and “WDM 6-Class”), long wavelength radiation schemes (“RRTM” and “RRTMG”), short wavelength radiation schemes (“Goddard Short Wave” and “RRTMG”), atmospheric boundary layer schemes (“YSU” and “Mellor-Yamada-Janjic TKE”), land-surface schemes (“Monin-Obukhov Similarity” and “Monin-Obukhov (Janjic Eta) Similarity”) and surface-layer schemes (“Thermal Diffusion” and “Noah Surface Layer Model”) have been tested in simulations. Different spin up values have been used to examine the effect of warm up time of the model from 1 day to 4 days before the event day. In addition, the effects of the nudging method and the sea surface temperature on the simulation of the precipitation intensity and distribution were tested.

Only three of the simulations produced heavy rainfall in Izmir Bay area. In the remaining simulations, precipitation over 5 mm could not be obtained for the event hours. The results obtained by using GFS and ERA-Interim data as initial and boundary conditions show better estimates on the basis of precipitation distribution and intensity compared to ERA5 reanalysis data. However, precipitation amounts during the convective precipitation hour remained very low on Izmir Bay. Precipitation occurring around Karaburun, Chios and Aliğa could be analyzed in almost all ERA-Interim and GFS simulations; however, ERA5 failed in this regard as well.

Although other results do not make a difference as effectively as input data, simulations with 1-day spin up value are more successful. Besides, the prolongation of the calculation period is the reason for the decrease on both precipitation area and intensity.

Analyzes made for the area with a horizontal resolution of $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ gave more consistent results in terms of precipitation pattern than those with higher resolution. In $0.5 \text{ km} \times 0.5 \text{ km}$ areas, precipitation was mostly observed in Chios. Thus, it did not pass through to the Izmir Bay. Also, that made the precipitation intensity on Aliğa region to decrease.

Both 1°C warmer sea surface temperature and grid nudging method increase the precipitation amount. Also, the results using WRF-ARW with land use distribution obtained from the CORINE data were effective in both the increase in the precipitation intensity and the precipitation pattern.

Among the changes made in physical parameterizations, the most compatible precipitation pattern was simulated by WRF-ARW with “WDM 6-Class” and the most harmonious precipitation intensity was produced by the “Morrison 2-Moment” microphysical scheme. In addition, simulations with “RRTMG” radiation parameterization, “Noah Land Surface Model” land surface parametrization, “Mellor-Yamada-Janjic TKE” atmospheric boundary layer parametrization and “Monin-Obukhov” surface layer scheme gave better results than other schemes.

GFS, which causes a significant difference in precipitation, especially due to its higher sea surface temperature compared to ERA data sets, gave the most harmonious result in terms of both intensity and pattern in 1G30CY1 simulation. That was made with the CORINE land use data. As stated in the Turunçoğlu’s study in 2014, the most of all precipitations are observed in Turkey explained by the influence of the sea surface

temperature. Our results also indicate that WRF-ARW driven by GFS initial and boundary conditions with relatively higher sea surface temperatures compared to the others captures convective precipitation better than the other simulations.

In future studies, it is recommended to use GFS as input and CORINE as landuse data. In addition, although the physical parameterizations produced significant results in their comparisons, they were insufficient due to the low amount of precipitation in the bay. For this reason, it is predicted that higher precipitation values can be obtained from either untested physical parametrization combinations in the study and ERA-Interim or using same parametrizations with GFS and CORINE data. The grid nudging method did not make significant improvement in the estimations of the convective precipitation event for Izmir Bay. For this reason, it is not recommended to be used in a region such as Izmir. Since the increase in sea surface temperature causes an increase in precipitation values when used with ERA data, it is unknown what effect it will have when used with GFS. However, it is predicted that there will be an increase in precipitation severity.





1. GİRİŞ

Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz Bölgesi'nde, siklon gözlemlenme sıklığının yüksek olması sebebiyle, çok miktarda şiddetli yağış ve onlara bağlı sel olmaktadır. Bu da, bölge ikliminin büyük ölçüde şekillenmesini sağlamaktadır (Lionello ve diğ., 2006). Tüm dünya için, bu durumun öngörülememesi, önemli bir sorun teşkil etmektedir. 1995-2015 döneminde, dünya çapında gerçekleşen en büyük ve çevresine en fazla zarar veren doğal olay %43 ile sel-taşkın olarak bildirilirken; buna bağlı gerçekleşen ekonomik zararın 662 milyon dolar kadar olduğu, her yıl 5000 kişiden fazla insanın can kaybına uğradığı belirtilmiştir (MGM, 2016a; WMO, 2020). Ayrıca bu dönem içerisinde, dünya çapında 2.3 milyar insanı etkilemesi yönünden sel, çevreye çok fazla zarar veren doğal afetlerden biri olmuştur (MGM, 2016a). 2019 yılında Afrika'da gerçekleşen seller nedeniyle, çok fazla insan ölürken; sadece Güney Sudan'da 1 milyon kişi, Somali'de ise 300 bin kişi etkilenmiştir (WHO, 2019). Avrupa'da, 2000-2018 yılları arasında 100 büyük sel hadisesi görülürken, 700 ölüm ve kayıtlı olarak 25 milyar avro kadar kayba neden olmuştur; Romanya'nın batısı, Fransa'nın güneydoğusu gibi kimi bölge bu durumdan daha fazla etkilenmiştir (Avrupa Çevre Ajansı, 2018). Afet Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) tarafından 1988 yılında yürürlüğe sokulan ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından desteklenen EM-DAT (Emergency Events Database) verilerine göre; 1980-1999 yılları arasında 1389, 2000-2019 yılları arasında ise 3254 sel gerçekleşmiştir. Bu durum, tüm sel olaylarının %40'ı olmak üzere en fazla Asya'da, sonra %25 ile Amerika'da, %17 ile Avrupa ve %4 ile Okyanusya'da gözlemlenmektedir (Dutta ve Herath, 2004). Büyük aktivitelerin doğu Akdeniz ve Ege Bölgesi'nde daha çok bahar ve yaz dönemlerinde, Karadeniz Bölgesi'nde ise neredeyse tüm yıl boyunca görünüyor olması (Lionello ve diğ., 2006); özellikle Türkiye gibi bir konuma sahip bölge için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Avrupa Çevre Ajansı'nın 1991-2015 dönemindeki gözlem verilerine göre (2016), Türkiye'yi de içeren Doğu Avrupa bölgesi, Avrupa'da gerçekleşen sel hadiselerinde en çok ölüm gözlenen bölge olmaktadır. Bu dönem içerisinde, Türkiye'de milyon başına 5 ile 10

kişi arası can kaybı gözlemlenmiştir. Ancak; ani olarak gerçekleşen konvektif yağışların ve bunlara bağılı olarak gözlemlenen sel olaylarını öngörülememesinin sebebi, bu olayları numerik olarak hesaplamanın günümüzde bile kolay olmamasıyla ilgilidir. Çünkü gün geçtikçe artan insan nüfusu; çevresindeki yer şekillerini, bitki örtüsünü değiştirerek şehirleşmeyi arttırmış ve özellikle ani sellerin görülme miktarını büyük ölçüde etkiler olmuştur (Doocy ve diğ., 2013).

Günümüzde bilim insanları, numerik hesaplama yapan modeller (WRF vb.) kullanarak şiddetli yağışlara bağılı olarak gerçekleşen sel olaylarını, olay gerçekleşmeden çok öncesinde öngörmeye çalışmaktadır. Bu doğrultuda, kendi bölgeleri için hem farklı modeller kullanmakta hem de kullandıkları modellerini, bölgenin yer şekilleri vb. gibi bir çok etmene göre kalibre etmektedir.

Atmosferin ve iklim sisteminin diğeri bileşenleri ile etkileşimleri sonucunda değişime uğrayan sinoptik sistemler sonucu oluşan sel olayları, şu ana kadar bilinen atmosferik hareketleri tanımlayan denklemlerin gözlem verileri ile ilişkilendirilmesi sonucunda öngörülme çalışılmaktadır. Lorenz'in (1996) belirttiğı gibi, deneysel olarak hesaplanan süreçler ve/veya gözlemlenmesi neredeyse imkansız olan bilgilerin geçmiş dönemdeki durumlarına bakılarak varsayım yapılması gibi durumlar sebebiyle, atmosferik süreçler tam anlamıyla tahmin edilememektedir. Başlangıç koşulları, daha öncesinde bahsedilen sorunlar ile şu anki bilgiler ışığında kurulan denklemler ve süreçler sebebiyle kusursuz oluşturulamamaktadır (Lorenz, 1996). Hesaplama girdi verisi olarak kullanılan gözlem verilerinin denklemler ile çözümlenmesi sonucunda ortaya çıkan hatalar veya sapmalar, yine bu durumla ilişkilidir ve bu, kaos teorisi ile açıklanmaktadır. Oluşan en ufak pertürbasyonların atmosferin kararsız yapısı sebebiyle daha büyük olayları tetiklemesi ve tahminlerin daha hatalı olması durumunu azaltmak için, içlerinde bulundukları anda sahip oldukları en son bilgiler ışığında en az hata payı ile tahminleme yapmaya çalışmaktadırlar. Bu bağlamda, hesaplama gerçekleşen süreçler kadar, bu süreçlerin gerçekleştiğı yeryüzü varsayımı ve alansal çözünürlüğü de önemli bir yer oynamaktadır. Belirlenen ızgara ölçeğinden daha küçük olan süreçler, sayısal hava tahmin modellerinde açıkça çözümlenememektedir. Bundan dolayı, süreçlerin parametreleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, yapılan her varsayım gerçek olaya yakınsama olacağı için içerisinde gerçeklikten sapma da bulunmaktadır. Bunu da en aza indirmek için çeşitli düzeltmeler yapılmaktadır. Ancak Dünya'nın her yerinde tüm koşullar aynı olmadığı için hata payını azaltmaya

yönelik yerel değişiklikler ve düzenlemeler yapılmaktadır. Parametreleştirilen süreçler, her bölge için benzer sonuçlar vermemekte ve özellikle iklimsel değişikliklere bağlı olarak istenilen yer için kalibre edilmektedir. Ortaya çıkan birbirinden hem bir o kadar farklı hem de bir o kadar birbiriyle uyumlu şemalar arasından, süreci en iyi temsil eden hesaplama yöntemi ile sayısal modeller aracılığıyla tahminler yapılmaktadır.

Stergiou ve diğ. (2017), 108 km ile 36 km çözünürlüklere sahip iki alan için çeşitli parametrisasyon değişiklikleri deneyerek yaptıkları Avrupa özelindeki hassasiyet benzetiminde, yağış ve sıcaklık parametreleri üzerinde durmuşlardır. Bunun sonucunda, her şemanın her parametre için iyi sonuç vermediğini ama denedikleri yöntemlerle istenen parametre için düşük hata payına sahip sonuçlar elde edebileceklerini göstermişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada genel olarak, ortalama sıcaklık değerleri İskandinav Bölgeleri'nde ve Yunanistan civarında yüksek, Avrupa'nın orta bölgelerinde ise düşük sonuçlar vermektedir. Yağış parametresi ise özellikle kışın çok fark yaratmazken, yazın İtalya ve Yunanistan civarında yüksek görülmüştür. Ayrıca her şemanın kış ve yaz dönemi için farklı sonuçlar ortaya çıkardığını ve çalışılmak istenen dönemde aktif fiziksel ve dinamik süreçlere göre şemanın seçilmesi gerektiğini vurgulamaktadırlar. Cassola ve diğ. (2015) İtalya'nın kuzeybatısı için mikrofizik parametrisasyonlarını inceledikleri çalışmada ise, yağış parametresinin özellikle mikrofizik şemalarından çok etkilendiğini ve bu bölge için en iyi yağış çıktısını “*P-Lin*”, “*WSM5*”, “*WSM6*” ve “*Thompson*” şemalarının verdiğini söylemektedirler. Ayrıca atmosferik sınır tabakası parametrisasyonlarının incelendiği “WRF model hatalarının mevsimsel bağımlılığı ve Avrupa üzerinde atmosferik sınır tabakası şemaları hassasiyeti” adlı çalışmada (García-Díez ve diğ., 2012), geceleri atmosferin daha kararlı olması sebebiyle daha hassas sonuçların elde edildiği belirtilmiştir. Kışın “*ACM2*” ve “*MYJ*” şemalarının, yazın ise “*YSU*” başta olmak üzere “*ACM2*” ve “*MYJ*” şemalarının daha iyi sonuç verdiğine ulaşmışlardır. Argüeso ve diğ. (2011) iklim üzerine İspanya'nın güneyi için yaptıkları çalışmada; 2 farklı kümülüs, 3 farklı atmosferik sınır tabakası ve 2 farklı mikrofizik şemalarını birbirleriyle eşleyerek deneyler yapmışlardır. Burada, yağış parametresi için Akdeniz'i gören güney ve doğu bölgeleri daha doğru modellenmiş olup en iyi sonucu “*BMJ*” kümülüs şeması, “*ACM2*” atmosferik sınır tabakası şeması ile beraber “*WSM3*” ile “*Thompson*” mikrofizik şemalarının kullanılmasıyla elde etmişlerdir.

Mikrofizik şemalarının ikisi de birbirine yakın derecede anlamlı sonuç çıkarmıştır. Sıcaklık için en iyi sonuçlar “BMJ” şemasının da içinde olduğu deneylerdir. Kış için “YSU”, yaz için “MYJ” atmosferik sınır tabakası şemaları tercih edilebileceğini söylemektedirler.

Daha önceden yapılan çalışmalar ve deneyler doğrultusunda şekillenen bu çalışmada, 20 Mayıs 2015 tarihinde ve 15.00 TSİ ile 16.00 TSİ saatlerinde İzmir’de gerçekleşen sel hadisesi ele alınmıştır (Şekil 1.1). Şiddetli ve kısa süreli yağış sonucu gerçekleşen bu olay, WRF sayısal modellemesi kullanarak hem çeşitli girdi verileri ile hem de parametrizasyonlarda yapılan çeşitli değişikliklerle hesaplanmaya çalışılmış, olayın gerçekleşmesindeki fiziksel süreçler irdelenmiştir. Başlangıç olarak önceden yapılan çalışmalar esas alınmış ancak, benzetimler daha sonrasında sonuçlar doğrultusunda geliştirilmiştir.

HABERLER > İZMİR

20 Mayıs 2015 Çarşamba - 15:00

İzmir'de sağanak ve dolu hayatı felç etti

İzmirliiler, sağanak yağın yağmur ve şiddetli dolu nedeniyle zor anlar yaşadı. Yazlık giysileriyle yağmura yakalananların ise, korunmak için koşmaktan ve kapalı alanlara girmekten başka çareleri kalmadı. Alsancak Kıbrıs Şehitleri Caddesi'ndeki esnaf zor anlar yaşadı.

EGE POSTASI - İZMİR'de sıcak ve nemin etkisiyle Mayıs ayında bunaltıcı günler geçiren vatandaşlar, sağanak halinde yağın yağmur sürprizine yakalandı. İzmirliiler, sağanak halinde yağın yağmur nedeniyle zor anlar yaşadı. Yaklaşık yarım saat süren yağış hayatı olumsuz etkilerken; Alsancak Kıbrıs Şehitleri Caddesi'ndeki esnaf zor anlar yaşadı. Sağanak yağmur nedeniyle bazı iş yerlerini su bastı. Yazlık giysileriyle yağmura yakalananların ise, korunmak için koşmaktan ve kapalı alanlara girmekten başka çareleri kalmadı. İzmir kent merkezinde fırtına büyüklüğünde çok şiddetli fırtına ile gelen dolu hayatı felç etti. Bazı sokaklarda dolu ve yağmur suyu birikti. Körfez'de deniz ulaşımı bir süre aksadı. İtfaiye ve belediye ekipleri alarma geçti. Yarım saat çok şiddetli devam eden dolu daha sonra etkisini kaybetti. Öte yandan öğleden sonra şiddetli poyrazla başlayan sağanak kısa sürede doluya dönüştü. Yarım saat süreyle fırtına büyüklüğünde yağın dolu çatları beyazlattı. Şiddetli dolu yağışı kenti beyaza bürüdü.



Şekil 1.1 : Ege Postası haberi 20 Mayıs 2015 tarihli haber. İzmir Körfezi'ndeki sağanak yağış (Ege Postası, 2015).

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde öncelikle kullanılan yöntem, kurulan çalışma alanı ile bölgenin topoğrafyası irdelenecektir. Ardından, İzmir’de gerçekleşen olayın sinoptik analizi, yapılan benzetimlerde kullanılan parametrizasyonlar ile başlangıç ve sınır koşullarını oluşturan girdi verileri, yapılan hesaplama sonuçları ile gözlem verilerinin kıyaslaması verilecek; sonuçlar ve öneriler kısmı ile bitirilecektir.





2. AÇIKLAMALAR VE YÖNTEM

2.1 Konvektif Bulutlar ve Etkileri

Yeryüzü ile su kürenin ısınması sonucu yüzey ve atmosfer arasındaki enerji alışverişleri, havanın ısınmasına ve buna bağlı olarak yükselici hareketlere sebep olmaktadır. Bu duruma, atmosferdeki enerji taşınımı yöntemlerinden olan konveksiyon denir. Ayrıca doğal (bouyant) ve mekanik (forced) olmak üzere iki türü vardır. Yüzer konveksiyon, havanın enerji kazanarak yükselmesine dayanırken; mekanik konveksiyon ise havanın yeryüzü şekillerine bağlı olarak yukarıya doğru itilmesiyle gerçekleşmektedir (Fernando, 2003). Bu şekilde yükselen hava nem açısından doymuş hale gelince, yoğunlaşmaya başlayarak bulut formuna dönüşür. Yoğuşan su damlacıkları, yeterli büyüklüğe gelince yağış olarak yeryüzüne düşer. Bahsedilen süreç göz önüne alındığında; özellikle deniz kenarındaki konumlarda, havanın yükselmesini kolaylaştıracak yükselticilerin ve şiddetli rüzgarların olduğu yerlerde başta olmak üzere, nemle beslenen hava daha hızlı gelişim gösterecektir (Wang, 2013). Bu durumda bulut içerisinde gerçekleşen hareketliliğin şiddetlenmesi, taneciklerin zamanla birbirleriyle çarpışarak daha büyük forma dönüşmeleri ile sürtünmeden kaynaklı olarak elektriklenerek uygun zamanda ve erginlikteyken bulutların yıldırım-şimşek olarak yüklerini boşaltmaları beklenmektedir.

Gelişmiş ve olgunluğa ulaşmış kümülüs kongestus bulutları, zamanla kümülönimbus türüne evrilir; gelişme miktarına ve kaç tane olduğuna bağlı olarak farklı adlarda anılır. Bunlardan kısa sürede gelişip sağanak yağışa sebep olan tek hücre bulutları (single cell), bu türlerin en temel formu olmakla beraber, birden fazla hücrenin yan yana gelmesiyle ve/veya şiddetini arttırmasıyla diğer türlerin adlarıyla anılmaktadır (Houze, 1993). Çoklu hücrelerden, kümülönimbus bulutlarından oluşan sisteme çoklu hücre bulutları (multicell) denilmektedir (Houze, 1993). Çoklu hücre sistemi içerisinde; bir grup bulut nem ile beslenip olgunlaşırken, diğer grup yağış bırakıp dağılma evresine geçmektedir (Houze, 1993). Böylece hem yağışın süresi uzamakta hem de etkisi artmaktadır. Ayrıca çoklu hücre kadar geniş alanı etkileyen ve tek hücre kadar hızlı bir

şekilde gelişine süper hücre denilmektedir (Houze, 1993). Diğer ikisi kadar sık görülme de hem ani hem de şiddetli yağış bırakması sebebiyle etkili bir sistemdir.

Akdeniz kıyılarında gerçekleşen ani ve şiddetli yağışlar, kaydedilen aylık ortalama değerlerini aşabildiği gibi, sel gibi çevresine zarar veren meteorolojik olaylara neden olmaktadır (Altınbilek ve diğ., 1997). Bu durumla ilişkili olarak, deniz yüzeyi sıcaklığı şiddetli yağışların üretilmesinde ve/veya şiddetinin artmasında önemli rol oynamaktadır (Pastor, 2018). Turunçoğlu (2014) yaptığı çalışmada, etrafı denizle çevrili olduğu için Türkiye üzerinde oluşan yağışların deniz yüzeyi sıcaklığından fazlasıyla etkilendiğini ortaya koymuştur.

2.2 Atmosferik Dinamiklerin Hesaplanması

Büyük bir kısmı farklı derişimlere sahip değişik gaz moleküllerinden oluşan ve tüm Dünya'yı çevreleyen atmosfer, Dünya'nın kütle çekim kuvveti sayesinde bütünlüğünü koruyarak hareketliliğini sürdürür. Atmosferdeki bileşenlerin derişimi, rüzgar gibi hareketliliği sağlayan meteorolojik değişkenlerin şiddetindeki ve/veya miktarındaki değişim ancak bir zorlama sayesinde mümkündür. Dünya için bu zorlama, Güneş enerjisi olmaktadır. Atmosferde emilen ve yeryüzü ile hidrosfere kısa dalga boylu ışınlar aracılığıyla iletilen enerji, kürelerdeki akışın başlamasında tetikleyici olarak kullanılmaktadır. Ayrıca akışkanlardaki farklı moleküllere sahip bileşenlerin birbiriyle tepkimeye girmesine katkı sağlarken, moleküllerin faz değiştirmesinde ve bu sayede farklı enerjilere sahip moleküllerin diğer molekülleri etkilemelerinde rol oynamaktadır (Robinson ve Handerson-Sellers, 1999; Kessler, 1969).

Atmosferik süreçlerde korunum yasaları geçerlidir. Bu durumda atmosferdeki hava parsellerinin hareketleri dışarıdan bir etki olmadığı sürece sabit kalacak ancak ve ancak dış etki sayesinde değişime uğrayacaktır (Conservation Law, 2018). Tüm hareketlilik kütle, enerji ve momentum korunumu üzerine üç farklı denklem sistemi ile betimlenir. Hesaplama sürecinde süreklilik denklemleri akışkan bir sistemin kütle korunumunu, termodinamiğin birinci yasası enerji korunumunu ve Navier-Stokes denklemleri Newton'un ikinci yasası gereği sürekli bir akışkanın momentum korunumunu sağlamaktadır (Lynch ve Cassano, 2006).

2.2.1 Eulerian ve Lagrangian eksen takımları

Akışkanlar mekaniğinde sistemin değişkenleri tanımlanırken kullanılan iki farklı kontrol hacmi, “*Eulerian*” ve “*Lagrangian*” yaklaşımlarına aittir. Eulerian yaklaşımında akışkana ait değişkenler, her zaman adımı için sabit bir nokta için zamansal ve uzamsal değerlerin fonksiyonu olarak hesaplanır. Lagrangian yaklaşımında ise her akışkan kendi içinde bağımsızdır ve zamanla takip edilir. Böylece başlangıç koşulları süreci etkilemektedir.

2.2.2 Süreklilik denklemi

Hava kütlesi, diverjansa uğrayarak hacmini genişletebilir veya konverjansa uğrayarak hacmini küçültüp sıkıştırabilir. Atmosferik hesaplamalarda kütlenin korunumlu olması yüzünden yoğunluktaki değişimler, doğrudan değişen hacimle ilişkilidir.

Böylece V kadar küçük hacimli bir noktanın yoğunluğunun (ρ) hacmi ($dx dy dz$) ile çarpılması sonucunda kütlesi (M_{hava}) bulunmakta ve denklem 2.1’deki gibi yazılmaktadır (Lynch ve Cassano, 2006).

$$M_{hava} = \iiint \rho dx dy dz \quad (2.1)$$

Kütlenin belirtilen noktadan daha uzağa taşınması veya nokta üzerine daha fazla kütle gelme durumu olarak ifade edilen adveksiyonun gerçekleşebilmesi için, denklem 2.1’e atmosferik hareketliliğin kaynağı olan rüzgarın tüm yönlerdeki bileşenleri eklenerek denklem 2.2 bulunur (Lynch ve Cassano, 2006).

$$\frac{\partial M_{hava}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint \rho dx dy dz = - \iiint \left(\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right) dx dy dz$$
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \left(u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} \right) + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad (2.2)$$

Akışın hızı ile yoğunluğun çarpımı olan ρu , ρv ve ρw ifadeleri, kütle akıları olarak adlandırılmaktadır. Denklem 2.2’de belirtilen (1) ile (2) birlikte yoğunluk değişiminin Lagrangian oranı, yalnızca (2) hacim içerisine giren veya hacimden çıkan net kütle taşınımını, (3) ise akışın diverjansını vermektedir. Elde edilen denklem aracılığıyla hava parseline kütle korunumu uygulanmaktadır.

2.2.3 Termodinamiğin birinci yasası

T sıcaklığına ve p basıncına sahip bir hava parseline birim kütle kadar ısı verilirse sıcaklıktaki değişim dT ve basınçtaki değişim dp olacaktır. Verilen enerji; ısı iletimi, konveksiyon veya gizli ısı akısı olarak salınacaktır. Böylece ideal gaz denklemi kullanılarak denklem 2.3'teki gibi bir eşitlik elde edilmektedir (Lynch ve Cassano, 2006).

$$p = \rho R_d T$$
$$\Rightarrow p \frac{d\alpha}{dt} + \alpha \frac{dp}{dt} = R_d \frac{dT}{dt} \quad (2.3)$$

Denklem 2.3'te $\alpha = 1/\rho$ olup özgül hacimi ifade etmektedir. Yine aynı denklemde bulunan R_d , kuru havanın gaz sabitidir ve sabit basınçtaki (c_p) ile sabit hacimdeki (c_v) özgül ısı kapasitelerinin farkına eşittir. Bu bilgiler ışığında yapılan düzeltmeler sonucunda denklem 2.4'e ulaşılarak hava parseline termodinamiğin birinci yasası uygulanarak enerji korunumuna uyulmaktadır.

2.2.4 Navier-Stokes denklemleri

Bir parselin zamanla hareket edebilmesi için ivmeye ihtiyacı vardır. Bu da yapılan kabuller ve yasalar sebebiyle basınç gradyan kuvveti ($-1/\rho \nabla p$), viskoz kuvvetler ($\vec{F}$) ve koriolis kuvveti ($(-GM/r^3)\vec{r}$) ile oluşmaktadır (Denklem 2.5) (Lynch ve Cassano, 2006). İki nokta arasındaki basınç farklılığından dolayı oluşan kuvvet, basınç gradyan kuvvetidir ve akışın oluşmasında ana görev üstlenir. Kayma gerilmesi olarak da adlandırılan viskoz kuvveti, iki farklı fazdaki maddenin birbirine sürterek kayması sonucunda hareketin tam tersi yönünde olan kuvvetidir. Koriolis kuvveti Dünya'nın dönüşü sebebiyle oluşan açısal hızın, Dünya üzerindeki akışkanlara etkisidir. Ayrıca, yataydaki bileşeni büyük olmasına rağmen düşeyde de etkisi bulunmaktadır. Denklem 2.4'te tüm kuvvetlerin ivme üzerindeki etkileri açıkça görülmektedir. Onların genel gösterimi denklem 2.5'te verilmiştir.

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + (2\Omega \nu \sin \Phi - 2\Omega \omega \cos \Phi)$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) - (2\Omega u \sin \Phi) \quad (2.4)$$

$$\frac{Dw}{Dt} = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + (2\Omega u \cos \Phi)$$

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{F} - \frac{GM}{r^3} \vec{r} \quad (2.5)$$

Böylece Navier-Stoke denklemleri aracılığıyla momentum korunumu yasasına bağlı kalınarak hava parsellerinin atmosfer içerisindeki hareketliliği hesaplanabilir.

2.3 Sayısal Hava Tahmini ve WRF

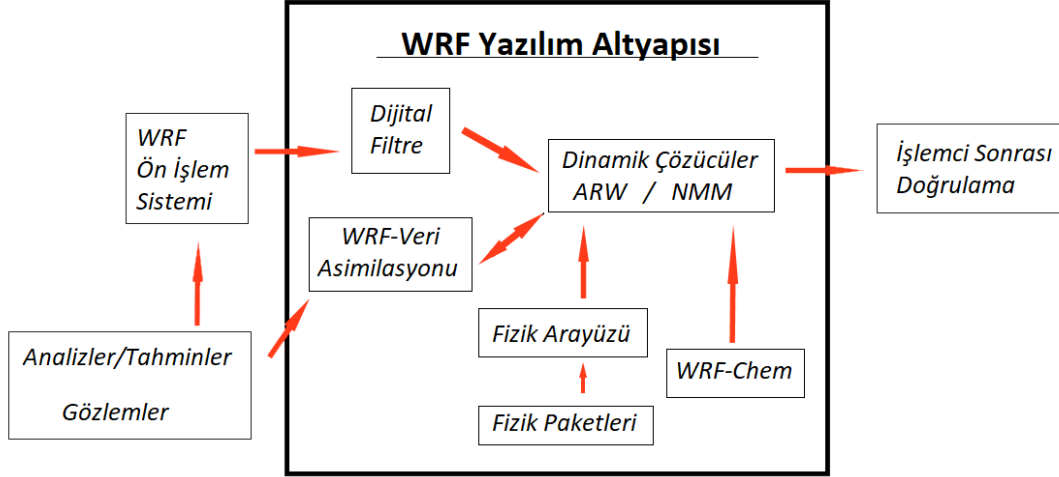
1922 yılında ilk kez sayısal hava tahmini üzerine çalışmalarda bulunan L. F. Richardson, “Weather Prediction by Numerical Process” (sayısal süreçler ile hava tahmini) adlı kitabını yayımlamıştır. Bu çalışmasında, atmosferik hareketlerin yaklaşık olarak diferansiyel denklemler aracılığı ile nasıl temsil edilebileceğini ifade etmiştir. Çok fazla sayıda aritmetik hesaplamaların dahil olduğu yöntemde, atmosferik değişkenlerinin ekstrapolasyon yöntemi ile bir sonraki andaki değişimlerini hesaplamının nasıl olabileceğini göstermiştir (Holton, 2004). Elde ettiği denklemler bağlamında sonuçlar zayıf ilişkili bulunarak yöntem bir süre unutulup gitmiştir. İkinci Dünya Savaşı ve o süreç boyunca gelişen teknoloji ile beraber meteorolojik gelişmeler de gerçekleşmiştir. Bu sayede J. G. Charney tarafından 1948 yılında, Richardson’ın denklemleri düzeltilmeye çalışılmış ve 1950 yılında ilk tutarlı değerler veren atmosferik tahmini yapılarak sayısal hava tahmin modellemesinin temeli oluşturulmuştur (Holton, 2004).

“*The Weather Research and Forecasting*” (Hava Araştırması ve Tahmini), büyük girdap dalgalarından küresel ölçekteki sistemlere kadar hesaplamalar yapabilen, hem atmosferik hem de operasyonel olarak kullanılabilen sayısal bir modeldir. Kısaca WRF

olarak adlandırılan model, bilimsel araştırmaları doğrultusunda kullanıcılar tarafından geliştirilen açık kaynak bir yazılıma sahiptir (Skamarock ve diğ., 2019). 1990 yıllarda ortaya çıkan ve ABD Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi (USA National Center for Atmospheric Research – NCAR), ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (USA National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA), ABD Hava Kuvvetleri, ABD Deniz Araştırma Laboratuvarı, Oklahoma Üniversitesi ve ABD Federal Havacılık İdaresi'nin ortaklığı ile geliştirilen WRF Modeli'nde, başlangıçtan bu yana ilerleme kat edilerek yıllar içerisinde fazlasıyla iyileştirilmiştir (Skamarock ve diğ., 2019).

Fizik ve dinamik seçeneklerinin fazla olması sayesinde kullanıcısının amaçlarına göre kolaylıkla şekillenebilir oluşu sayesinde dünya çapında en çok kullanılan sayısal modellerden biridir. Koşturulmadan önce girdi verilerinin düzenlenerek modelin anlayabileceği şekle gelmesini sağlayan WPS (The WRF Preprocessing System – WRF Ön İşleme Sistemi) diye bir sisteme sahiptir (Şekil 2.1). WRF dışında üretilmiş ızgaralı atmosfer ile topoğrafya verilerini modelin anlayabileceği biçime çevirmektedir. WRF ayrıca ölçüm datası kullanılarak veri asimilasyonu da yapılabilmektedir. WRF'in temelinde var olmayan ama kullanıcı tarafından istenirse eklenebilen bir dizi yeteneği de bulunmaktadır. Genelde bu eklentiler, WRF'in yetemediği ve ilgili konular üzerine daha ayrıntılı hesaplamaların yapılması gerektiği zamanlarda kullanılır. Atmosferdeki kimyasalların birbiri ile etkileşimi, hareketliliği ve bunlara bağlı gerçekteşen sonuçların atmosferdeki düzene etkisini hesaplayabilen WRF-Chem olarak da bilinen atmosferik kimyasal modülü bunlardan biridir (Skamarock ve diğ., 2019). Daha çok yer-atmosfer birleştirmelerine (coupling) dayalı hesaplamalarda kullanılan WRF-Hidro, daha çok su kaynakları ile ilgili çalışmalar için üretilmiştir (Skamarock ve diğ., 2019). Arazi eğimine, yangını tetikleyen ve besleyen yangının türüne, atmosfer şartlarına ve atmosferle yangın arasındaki geri beslemesine bağlı olarak gerçekteşen yangınları incelemeye yarayan modül, WRF-Fire olarak adlandırılmakta; WRF-Solar olarak bilinen modülleri ise daha çok Güneş enerjisi ve onun etkileri üzerine hesaplama yapmaktadır (Skamarock ve diğ., 2019).

Bu tezde de kullanılan “*Advanced Research WRF*” (WRF İleri Araştırmalar modülü – ARW) ile bir diğeri “*Nonhydrostatic Mesoscale Model*” (Hidrostatik Olmayan Orta Ölçekli Model – NMM) olmak üzere iki farklı dinamik çözücüsü bulunmaktadır. Bu çözücüler fiziksel, sayısal ve dinamik şemaları/seçeneklerini, başlangıç rutinlerini ve veri asimilasyonlarını kullanabilmeyi sağlamaktadır.



Şekil 2.1 : WRF Yazılım Altyapısı Şeması (Skamarock ve diğ., 2019).

2.3.1 ARW dinamik çözücüsü

Bu çözücü modelin, gerçek koşullar başta olmak üzere idealleştirilmiş koşullar için de atmosfer benzetimlerini hesaplamasına yarayan en temel bileşenidir. Tamamen sıkıştırılabilir denklemlerden oluşan ARW çözücüsü, bölgesel veya küresel olarak hidrostatik denklemleri seçeneği de bulunmakta ama genelde Euler hidrostatik olmayan denklemlerle hesaplama yapmaktadır (Skamarock ve diğ., 2019). İç içe alanlar arasında bir yönlü büyük alandan küçüğe doğru veya iki yönlü bilgi akışı sağlanan modelde, alansal olarak zamanla değişen hareket takibi de mümkündür (Skamarock ve diğ., 2019). Çeşitli mikrofizik, kümülüs, yüzey, atmosferik sınır tabakası ve atmosferik radyasyon parametризasyonları sayesinde modelin fizik koşulları oluşturulup hesaplamının her şema için belirlenen sabitler ve kabuller aracılığıyla ilerlemesi sağlanır. Bu doğrultuda başlangıç koşulları ve sınır koşulları, verilen 3 boyutlu atmosfer verisi aracılığıyla belirlenmektedir.

2.3.2 WRF modelinde ayrıştırma

Daha önceden de bahsedildiği üzere, atmosferik modeller ızgara ölçeklerinden daha küçük ölçekleri açıkça çözümleyemezler. Bu sebeple, olabildiğince hassas bir şekilde yapılabilecek hesaplama yöntemlerine ihtiyaçları vardır. Ancak bölüm 2.1’de bahsedilen denklemler analitik olarak çözümlemesi zor ve sayısal bir hesaplama aracı

için bile karmaşıktır. Bu sebeple atmosferik modellerde, korunum denklemleri ayrıklaştırılarak analitik olarak çözümlenebilir hale getirilir. Böylece, atmosferik süreçler kolayca oluşturularak olabildiğince en az hata ile temsil edilir.

2.3.2.1 Zamansal ayrıştırma

ARW çözücüsü zamansal ayrıştırma yaparken, zamana bölünmüş integral şeması kullanırken; küresel ölçekte olan düşük frekanslı salınımların hesaplanmasında üçüncü dereceden Runge-Kutta (RK3) zaman integrasyon şeması kullanmaktadır (Skamarock ve diğ., 2019). Bunun yanı sıra düşük frekanslılara göre daha kararsız yapıda olan yüksek frekanslı akustik modların sayısal kararlılığını koruyabilmeleri için daha küçük zaman adımları aracılığıyla, ileri-geri zaman integrasyon şeması kullanılarak entegre edilen yatayda yayılmış dalgalar ve akustik zaman adımı kullanılarak düşeyde yayılan dalgalar hesaplanır (Skamarock ve diğ., 2019).

WRF-ARW çözücüsü doğrudan denklemler aracılığıyla hesaplanabilen değişkenler ile Runge-Kutta zamansal çözüm şemasında “öngörücü-düzeltilici” yöntemi kullanılarak hesaplama yapılmaktadır (Skamarock ve diğ., 2019). Girdi ile yapılan tahmin ve yapılan tahminin iyileştirmesine dayalı düzeltme aşaması diye basitçe ifade edebilen bu hesaplama yöntemi, üç aşamadan oluşmaktadır (Skamarock ve diğ., 2019).

Yüksek frekanslı dalgaları daha tutarlı hesaplamaya yaradığı gibi RK3 yönteminden ve onun pertürbasyonlarında üretilen bir yöntem olan zamansal akustik integrasyon, zaman aralığı ne kadar düşük olursa o kadar yüksek tutarlılıkta sonuç üretmekte; Runge-Kutta yöntemi ile birlikte kullanılabilir (Skamarock ve diğ., 2019).

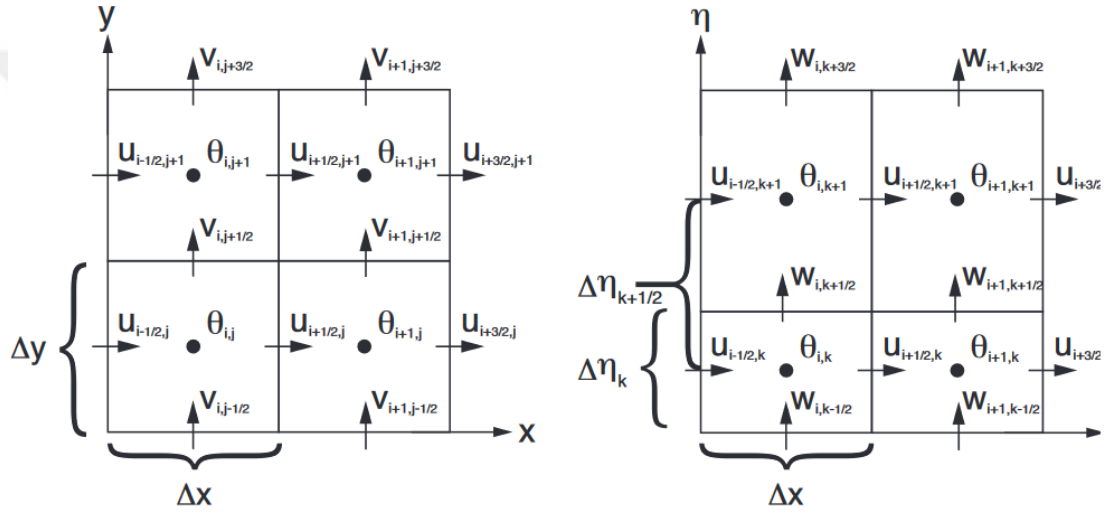
Hidrostatik seçeneği de zamansal akustik integrasyon yöntemine benzer ama bir aşamada ondan ayrıklaşarak, hesaplamalara diyagnostik değişkenleri dahil etmektedir (Skamarock ve diğ., 2019). Bu yöntem model hidrostatik olarak koşturulduğunda kullanılmaktadır.

WRF denklemleri ayrıklaştırırken, diferansiyel denklemlerdeki türevleri uzayda ve zamanda kesikli bir nokta kümesinde sonlu fark yaklaşımları ile hesaplanan sonlu farklar yöntemini kullanmaktadır (Skamarock ve diğ., 2019).

Bir topluluk modeli olan WRF, bilimsel araştırmaları doğrultusunda kullanıcılar tarafından geliştirilen açık kaynak bir yazılıma sahiptir (Skamarock ve diğ., 2019).

2.3.2.2 Uzamsal ayrıştırma

ARW çözücüsü uzamsal ayrıştırmayı Arakawa C ızgara sisteminde gerçekleştirir (Skamarock ve diğ., 2019). Şekil 2.2’de hem yatayda (soldaki) hem de düşeyde (sağdaki) yaptığı çözümleme şeması bulunmakta ve bu ızgara sistemine göre ızgaraların kenarlarında rüzgar bileşenleri, merkezlerinde ise hesaplamalarda kullanılan, atmosferi tanımlayan, ona etki eden veya içerisinde yer alan diğer değişkenler yer almaktadır (Skamarock ve diğ., 2019). Bu durum sayesinde, rüzgar bileşenlerinin bir ızgara için hesaplama yaparken ortalaması alınmakta, geri kalan değişkenler ise tek bir noktadan tüm ızgarayı temsil etmektedir.



Şekil 2.2 : Düşeyde ve yatayda Arakawa C ızgara sistemi ve sistem içerisindeki değişkenlerin kullanıldığı konumlar (Skamarock ve diğ., 2019).

Yatayda kartezyen koordinatlar kullanılması sebebiyle eş uzaklıklara sahip ızgara aralıkları bulunurken düşeyde eta seviyesi kullanılması sebebiyle bu durum söz konusu değildir (Şekil 2.2). Eta seviyeleri belirlenirken topoğrafyanın etkisi de göz önüne alınır. Denklem 2.6’daki gibi hesaplanan eta seviyeleri (η), yeryüzü şekilleri ile basınç değişiminden fazlasıyla etkilenmektedir; yüksekliğe bağlı basınç değişimi (p), geometrik yükseklik (z) ile ona bağlı fonksiyondan oluşan referans basıncı ($P_{ref}(z)$), atmosfer tepesindeki basınç ile yer seviyesindeki basınç değerlerinden üretilmektedir (Eta vertical coordinate, 2012).

$$\eta = \frac{(p - p_T)}{(p_s - p_T)} \frac{(p_{ref}(z_s) - p_T)}{(p_{ref}(0) - p_T)} \quad (2.6)$$

2.3.3 Başlangıç koşulları

Daha önceden, atmosferik modellerle tahmin yaparken en önemli unsurun hesaplama sürecinde gerçek değerden olabildiğince küçük sapmalarla sonuca ulaşabilmek olduğu bahsedilmişti. Bu değeri azaltabilmek için yapılacak yöntemlerden biri başlangıç koşullarını gerçeğe en uygun halde verebilmektir. Başlangıç koşulları, modelin koşturulma anındaki atmosferik koşulları belirtmekte, sınır koşullarından farklı olarak diferansiyel denklemlerin zamansal olarak çözümlenmelerine katkı sağlamaktadır (Simscale, 2020). Bu sayede model atmosferin ilk anda nasıl bir durumda olduğunu öğrenir, gelecekteki zamanları bu sayede hesaplar. WRF-ARW idealize edilmiş benzetimlerde model içinde gömülü olan koşulları kullanırken, gerçek olayların benzetimlerinde ise gözlem verileri ile onlardan türetilen diğer değişkenlerin çeşitli uzamsal ve zamansal çözünürlüklere sahip hale getirilmiş verilere ihtiyaç duymaktadır.

Gerçek olaylardaki atmosferin en doğru simüle edilebilmesi için 3 boyutlu atmosfer, hidrosfer ve toprak verileri ile ihtiyaç doğrultusunda eklenebilen kimyasal değişkenlerin WRF tarafından kullanılabilmesi için ön işleminden geçmesi gerekmektedir. WPS tarafından yürütülen bu süreçte, istenilen yatay çözünürlükte ve zamansal aralıklarda statik topoğrafya ile meteorolojik değişkenleri birleştirilir.

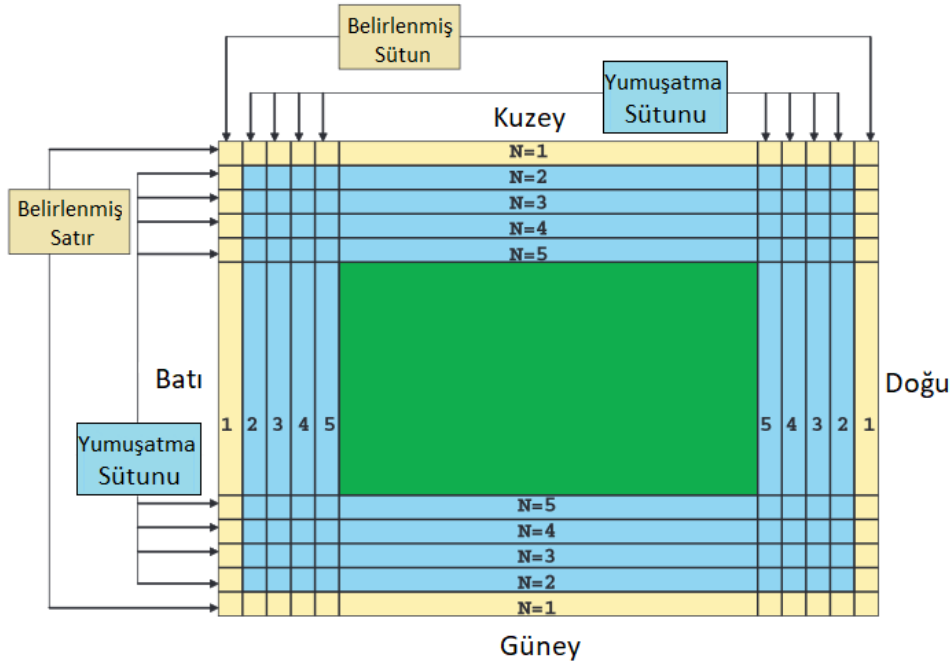
Ancak ARW dinamik çözücüsü ile kullanılabilen ve WRF sürecinin önemli bir elemanı olup WPS ile birleştirilen girdi verilerinin düzeydeki enterpolasyonunun sağlandığı, modelin koşturulmasından önce ara aşama bulunmaktadır. Ayrıca bu süreçte; fiziksel parametrisasyon koşulları, dinamik şemalar gibi başlangıç koşullarını ve daha ilerleyen aşamaları etkileyen değerler ve yöntemler de belirlenir.

Başlangıçta, yer seviyesi ile atmosfer seviyeleri için sıcaklık [K], bağıl nem [kg/kg], momentumun yatay bileşenleri [rüzgar – m/s] gibi 3 boyutlu; deniz suyu veya yüzey sıcaklığı [K], deniz seviyesi basıncı [Pa], toprak nemi [kg/kg] ve sıcaklığı [K] ile toprak türü, kara-deniz maskelemesi gibi 2 boyutlu meteorolojik ve toprak bilgisine ihtiyaç duymaktadır (Skamarock ve diğ., 2019). Ayrıca yine Skamarock ve diğ. (2019) hazırladığı teknik dokümana göre modele albedo, Coriolis parametresi, yüzey yükseltisi, harita ölçek faktörü, harita dönüş açısı, enlem-boylam gibi 2 boyutlu statik bilgilerin de tanımlanması gerekmektedir.

2.3.4 Sınır koşulları

Belirli alanlar içerisinde koşturulan modellerde, hesaplama yapılan bölgenin veya fiziksel durumların sınırlarına gelindiğinde sorun yaşanmaması için son noktalara özel koşullar atanır. Sınır koşulları olarak adlandırılan bu bilgiler, çözümlenen diferansiyel denklemlerde hesaplama hatası olmaması ve/veya hesaplamanın çöküp modeli bozmaması için gereklidir. Koşullar, WRF modelinin kendisi ile gelen ama aynı zamanda kullanıcı tarafından değiştirilebilir fortran dosyalarında tanımlanmaktadır (Skamarock ve diğ., 2019). Başlangıç koşullarından farklı olarak diferansiyel denklemlerin sorunsuz olarak uzamsal çözümleme yapmaları için gereklidir (Simscale, 2020).

Daniels ve diğ. (2016) tarafından da belirttiği gibi, WRF modeli, gerçek zamanlı benzetimleri belirlenmiş (specified) ve yuvalanmış (nested) sınır olmak üzere iki farklı sınır koşulu aracılığıyla koşturulur. Bu iki sınır koşulu, belirlenmiş alan (specified zone) olarak bilinen ve dışarıdan alınan atmosferik bilgilerin doğrudan hesaplamayı etkilediği, zorlamanın olduğu bölge iken, yumuşatma alanı (relaxation zone) yuvalanmış alanlar için zorlama etkisinin görüldüğü bölge olmaktadır (Şekil 2.3) (Daniels ve diğ., 2016).

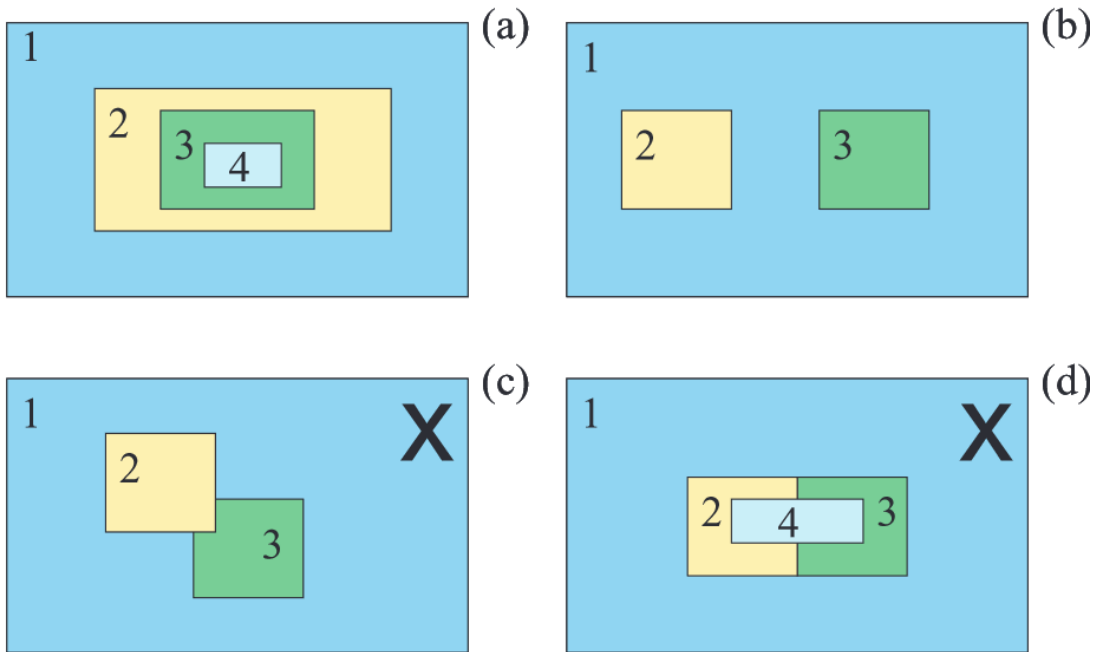


Şekil 2.3 : Gerçek verilere dayalı yapılan benzetimler için yanal sınır koşulları: Belirlenmiş lokasyon ve yumuşatma bölgeleri (Skamarock ve diğ., 2019).

Bu çalışmada kullanılan ve ana sistemle uyumlu olan ARW dinamik çözücüsü, benzetimlerin oluşması için gerekli sayısal ve dinamik seçenekleri ile başlangıç rutinleri kapsamaktadır.

2.3.5 Yuvalama (nesting)

Yuvalama veya iç içe alansal hesaplama yapmak olarak ifade edilebilen bu yöntem, hesaplama maliyetini veya süresini azaltabilmek amacıyla üretilmiştir. Model tasarımının yapıldığı ana hesaplama alanı, ona bağlı iç alanlara göre daha düşük yatay çözünürlükte koşturulurken içine eklenen alan veya alanlar kademeli olarak yükselen dikey çözünürlüğe sahip olabilir



Şekil 2.4 : Çeşitli şekillerde tasarlanmış WRF model alanları. (a) iç içe geçmiş alanlardan oluşan model alanı tasarımı. (b) birbiri ile aynı jenerasyonda olan iki alana sahip model tasarımı. (c) birbiri üzerine binmiş iki alana sahip model tasarımı. (d) 2 ile 3 birbirinden bağımsız, 4 ise onların alt kümesi olan model tasarımı. (c) ile (d) tasarımları kusurlu tasarımlardır ve modelin çalışmasına izin verilmez (Skamarock ve diğ., 2019).

Yuvalama yönteminde bağımsız tasarlanan alanlar hariç, her alt küme bir öncekinin yatay çözünürlüğünü arttırma oranından farklı miktarda yükselir ancak, önerilen tasarımda bütün yuvalar benzer oranda değiştirilmelidir. Şekil 2.4'te örnek model alanı tasarımları görülmektedir. (a) iç içe ve numara değerleri arttıkça belirli oranlarla birbirlerinden daha yüksek çözünürlükte olmaya başlayan tasarım. (b) 2 ile 3 bölgeleri birbirlerinden bağımsız ve bu bölgelerin sahip olabilecekleri en düşük çözünürlük

değerinin her ikisi için de aynı olan alan tasarımı. (c) bu tasarımda 2 numaralı alan 3 bölgesinin içinde ve ondan daha yüksek çözünürlüklü olması için tasarlanmıştır. Ancak çözüm yöntemi mümkün değildir ancak ve ancak 2 ile 3 alanları birbirilerinden bağımsız olduğu durumlar da çalıştırılabilir. (d) 2 ile 3 birbirilerinden bağımsız alanlar iken 4. bölge hem 2 hem de 3 alanlarının alt kümesidir ve bu çözüm yöntemi yine (c) olayındaki koşulla çalıştırılabilir durumdadır.

Kullanıcının tasarımına kalan yuvalama tekniği, tek yönlü veya iki yönlü olarak çalıştırılabilir. Tek yönlü olanda büyük küme, en iç kümeye kadar bilgi aktarır ve öncelikle ana alanın hesabı yapılır. Bu sayede içerisinde bulunan ve daha yüksek çözünürlüğe sahip yatay çözünürlüğe sahip alana gerekli koşulları aktarır. İki yönlü olduğu zaman hem yuvalanan hem de en büyük küme olan ana model alanı aynı anda hesaplanır ve birbirilerine geri besleme yapmaları sağlanır.

2.3.6 Dört boyutlu veri asimilasyonu (nudging)

Beraber veya ayrı ayrı kullanılabilen; ızgarasal (grid) ile gözlem (observation) olmak üzere iki türü olan bu yöntem, aynı zamanda “*nudging*” olarak da adlandırılmakta ve temelde model sonuçlarını girdi verilerine yaklaştırmaya çalışmaktadır (Skamarock ve diğ., 2019). Atmosferde üç boyutlu grid ve zamansal enterpolasyonlar yaparak çözümleme alanı için sınırlarda, referans ve model verilerinin birbirlerine yakınlştırılmasına dayanan “*grid nudging*”, hem zamansal hem de enlem ve boylamlar etrafında hesaplama yapan “*spektral nudging*” yönteminden daha farklıdır (Skamarock ve diğ., 2019).

2.3.7 Fiziksel parametrizasyon

Tasarlanan atmosferin dengeli olması, kimi zaman daha hızlı, kimi zaman daha etkili hesaplanabilmesi amacıyla yapılan varsayımların ve temelde birbirinden çok farklı olmayan ama amacına göre daha anlamlı sonuç üretebilen şemaların seçilmesine denilmektedir. Atmosferik modellemelerde gözlemlerden uzak sonuçların düzeltilmesi aşamasında en hızlı ve etkili çözümlerden biri olan fiziksel parametrizasyon değişimi, daha önceden de bahsedildiği gibi çeşitli sebeplerden Dünya’nın her yeri için aynı sonucu vermemektedir. Bu sebeple, atmosferik birçok ampirik hesaplama gibi istenilen bölge için uygun şemalar seçilerek model bir çeşit kalibre edilmelidir. Bu doğrultuda mikrofizik, kümülüs veya diğer adıyla konveksiyon, atmosferik sınır tabakası, radyasyon, kısa-uzun dalga boylu radyasyon

gibi birçok parametrizasyon yöntemi bulunmaktadır. Her parametrizasyon türüne ait şema birbiri ile uyumlu olmayabilir. Kimisi üzerine çalışmalar yapılarak olumlu veya olumsuz sonuç verenler bilimsel çalışmalar aracılığıyla kullanıcılara bildirilmiştir. Bazı parametrizasyonlar, ne kadar yüksek hesaplama yeteneğine sahip olunursa olunsun birlikte kullanıldığında anlamlı sonuç vermemektedir. Ayrıca, en ayrıntılı veya kompleks hesaplama yapanlar her zaman en iyi sonucu verecektir diye bir bilgi de bulunmamaktadır. Çünkü modelin çözüm kapasitesi işlemci gücü gibi teknik değerlere bağlı olduğu kadar incelenecek meteorolojik olaya, olayın gerçekleştiği konuma ve hatta mevsime de bağlıdır. Özde birbirilerinden çok farklı olmayan parametrizasyon seçenekleri, ayrıntıya inildiğinde farklılaşmaktadırlar. Lorenz'e yapılan atıfta da bahsedildiği üzere, başlangıçta küçük olan hatalar ilerleyen zamanlarda büyüyerek çok farklı noktalara ilerleyebilmektedir.

2.3.7.1 Mikrofizik

Uzun yıllara dayanan hesaplamalar sonucunda elde edilen mikrofizik şemaları su buharı, bulut oluşumu gibi yağışla ilgili süreçlerin hesaplanmasında rol oynamaktadır. Gerek WRF için özel olarak gerekse daha önceden yapılmış çalışmalara dayanarak, WRF modelinde kullanılabilir halde şemalaştırılmışlardır ve amacına uygun olarak “Thompson”, “Morrison”, “WDM 6-Class” çözümleme şemaları kullanılmıştır.

“Thompson ve Aerosol Farkındalık Thompson-Eidhammer” şeması, 2008’de Thompson ve diğ. tarafından yapılan geliştirilmeler ve eklentiler yeni yaklaşım yöntemi ile elde edilmiştir. Bu şema katı ve sıvı fazdaki yoğunlaşma çekirdeklerinin iklimsel değerlerine bağlı olarak tahmin edilebilmesi, özellikle orta enlemlerdeki aktiviteleri daha iyi çözümleyebilmek amacıyla 2-Moment yöntemi ile kurulmuştur.

“Morrison 2-Moment” şeması, Morrison ve diğ. (2005) tarafından üretilen ve eklemelerle Morrison ve diğ. (2006) tarafından geliştirilen 2-Momentli mikrofizik şemasına bağlı olarak 2008 yılında üretilmiştir (Morrison ve diğ., 2008). Su buharı, bulutu oluşturan su ile buz tanecikleri, yağmur, kar ve Grapuel ile dolu hesaplayabilmekte, konsantrasyonlarını ve karışma oranlarını bildirebilmektedir (Skamarock ve diğ., 2019).

“WDM 6-Class” şeması, diğer iki şema gibi farklı fazlardaki katı ve sıvı yağışları hesaplayabilmekte ancak, “Thompson” şemasından farklı olarak bulut yoğunlaşma

çekirdeklerinin sayısal konsantrasyonunu tahmin edebilmektedir (Lim ve diğ., 2010; Lei ve diğ., 2019).

2.3.7.2 Kümülüs

Kümülüs parametrizasyonu, konvektif ve/veya sığ bulutların etrafında gerçekleşen çözümlenmekte zorlanan yükselici ve inici hareketliliğin hesaplanmasından sorumludur (Skamarock ve diğ., 2019). Bir sütun içerisindeki nem taşınımı ve buna bağlı oluşan tansiyonları hesaplamaya yarayan bu şema, çalışma alanlarında sadece ilkinde Kain-Fritsch şeması kullanılmıştır. Yapılan araştırmalara göre daha yüksek çözünürlükteki ölçeklerde, modeller konveksiyonun çözümlenmesini sağladığı için kümülüs parametrizasyonlarına ihtiyaç duyulmamaktadır (Jeworrek ve diğ., 2019). Bu sebeple bahsedilen şema, 10 km ve ondan daha yüksek çözünürlükteki ölçeklerde kullanıldığı için, bu çalışmada diğer iç alanlarda kümülüs parametrizasyonu kullanılmayarak kapatılmıştır.

“Kain-Fritsch” şeması veya bir başka deyişle yeni Eta, 2004 yılında üretilen şemanın Eta modellerine uyarlanmış halidir. Bu şema, 1990 ve 1993 yıllarındaki “Kain-Fritsch” kümülüs şemalarına göre geliştirilmiştir (Skamarock ve diğ., 2019).

2.3.7.3 Yüzey tabakası

Sürtünme hızı ve pürüzlülük katsayısı gibi özellikle atmosferik sınır tabakasını doğrudan etkileyen değerlerin üretilmesinde rol oynamaktadır (Dudhia, 2014).

Bu çalışmada “Monin Obukhov Benzerliği” ile “Monin Obukhov (Janjic Eta) Benzerliği” çözümleme şemaları kullanılmıştır. 1954’te üretilen Monin-Obukhov çözümleme şemasından geliştirilen Janjic Eta şemasında viskoz alt tabaka parametreleri de bulunmaktadır (Skamarock ve diğ., 2019; Bianco, 2008). Diğerleri için, bu durum söz konusu değildir.

2.3.7.4 Arazi yüzeyi

Arazi yüzeyi, yüzeydeki nem ve enerji akılarını üretebilmek amacıyla radyatif ve yağış zorlaması gibi etkileri kullanan çözümleme şemalarıdır (Skamarock ve diğ., 2019). Atmosferik sınır tabakasında gerçekleşen taşınımlara sebep olan bu akılar, yüzeyin özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. “Termal Difüzyon” ile “Noah Arazi

Yüzeyi Modeli” olarak adlandırılan çözümleme şemaları hesaplamalarda kullanılmıştır.

Toprak katmanının 5 seviye olarak belirlendiği “Termal Difüzyon” çözümleme şemasında, 16 cm derinlikten sonra sıcaklık değerleri sabit olarak kabul edilir (Skamarock ve diğ., 2019).

“*Noah Arazi Yüzeyi Modeli*”, “Termal Difüzyon” şemasından farklı şekilde toprağı daha derin, 4 katmanlı olarak incelemekte; yüzeydeki bitki ve kar örtüsünü var saymaktadır (Skamarock ve diğ., 2019).

2.3.7.5 Atmosferik sınır tabakası

Atmosferdeki alt ızgara ölçeğinde gerçekleşen düşey taşınımlardan sorumludur (Skamarock ve diğ., 2019). Bu çalışmada Arazi Yüzeyi ve Yüzey Tabakası çözümleme şemaları ile doğrudan etkileşim halinde olan atmosferik sınır tabakası şemalarından, “*Yonsei University (YSU)*” ve “*Mellor-Yamada-Janjic (ETA) TKE*” kullanılmıştır.

“YSU” şeması birinci dereceden yerel olmayan bir şemadır (Hu ve diğ., 2013).

“*Mellor-Yamada-Janjic (ETA)*” 1,5 dereceden lokal kapatmalı çözümleme şemasında hesaplamalar türbülanslı kinetik enerjiye bağlı olarak gerçekleşir (Skamarock ve diğ., 2019; Cohen ve diğ., 2015).

2.3.7.6 Atmosferik radyasyon

Dünya üzerindeki hareketliliğe sebep olan başlangıç enerjisi, atmosferdeki aerosollerden doğrudan etkilenen atmosferik radyasyon şemaları ile hesaplanır. Enerjinin atmosfere girmesi, atmosferde dağılması, yer yüzüne ulaşarak absorbe olması ve/veya yansması süreçlerinden sorumludur (Skamarock ve diğ., 2019). Uzun dalga boylu ve kısa dalga boylu radyasyon olmak üzere ikiye ayrılmış olsa da her ikisinde de beraber kullanılan şema türleri de bulunmaktadır. Bu çalışmada Uzun Dalga Boylu Radyasyon için “*Ani Radyatif Transfer Modeli*” (RRTM) ve “*RRTMG*” şemaları kullanılırken; kısa dalga boylu radyasyon için ise “*Goddard*” ve “*RRTMG*” çözümleme şemaları kullanılmıştır.

Uzun dalga boylu radyasyon parametrizasyonlarından olan “*RRTM*” çözümleme şemasında, 16 spektral band bulunmaktadır ve Mlawer ve diğ. (1997) tarafından üretilen “*MM5*” parametrizasyonundan geliştirilmiştir.

“*RRTMG*”, hem uzun hem de kısa dalga boylu radyasyon şemasıdır ve 14 spektral bandı bulunmaktadır (Torrecillas, 2017). “*RRTM*” çözümleme şemasının hızlandırılmış versiyonu olan bu çözümleme şeması, Monte Carlo Bağımsız Sütun Yaklaşımı’nı kullanarak alt ızgara ölçeğinde bulutluluk hesabı yapabilmektedir. (Price ve diğ., 2014; Iacono ve diğ., 2006)

Kısa dalga boylu radyasyon parametrisasyonu için kullanılan diğer çözümleme şeması olan “*Goddard*”, 11 spektral banda sahiptir. (Skamarock ve diğ., 2019).

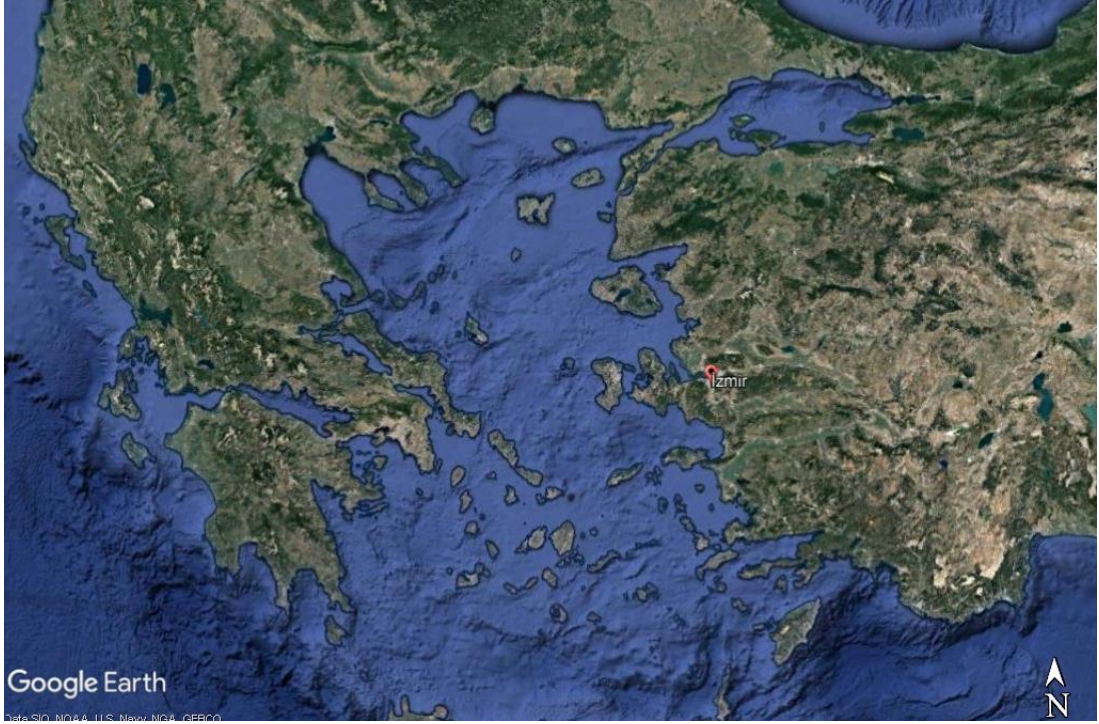




3. SİMÜLASYON BÖLGESİ

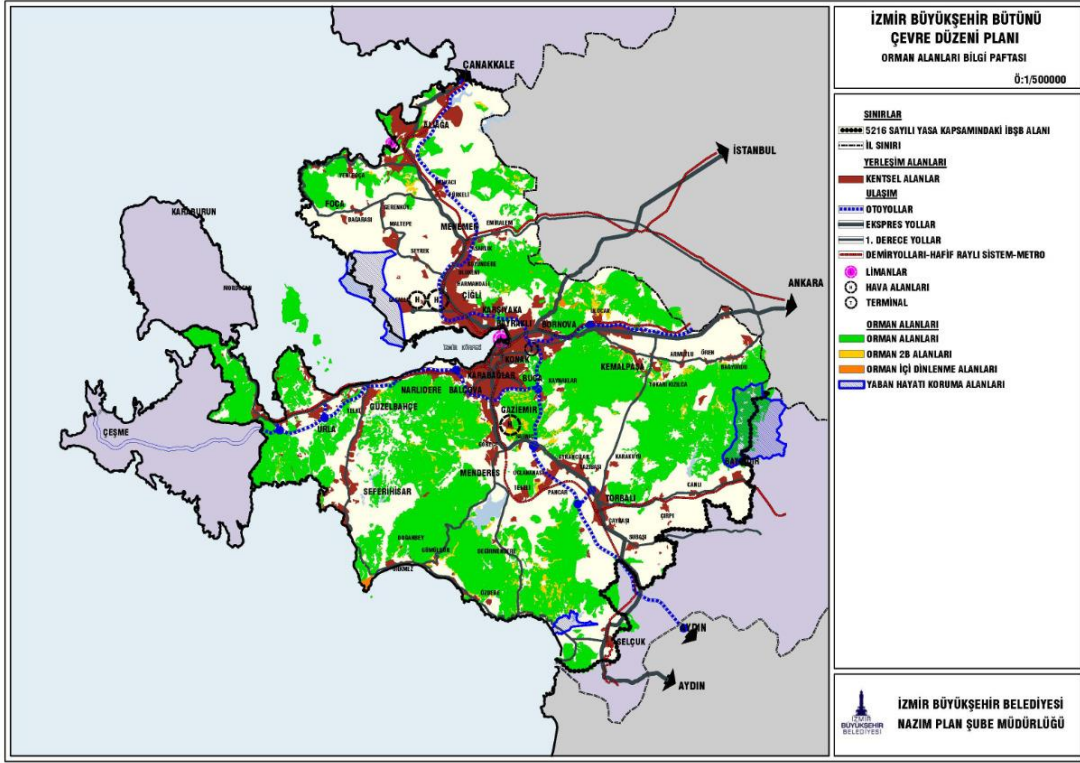
3.1 Topoğrafya ve Arazi Kullanımı

Türkiye'nin batı kıyılarında bulunan İzmir (Şekil 3.1), Ege Denizi ile doğrudan etkileşim halinde olduğu için batıdan taşınan sistemler ve onlarla ilişkili olan batılı rüzgarlardan fazlasıyla etkilenmektedir. Nüfusunun fazla olması ve ilin özellikle kurak ile yarı kurak bölgelerinde şehirleşmenin görülmesi sebebiyle bu bölgeler, daha sulak arazilere göre daha sıcak olmaktadır (Çorumluoğlu ve diğ., 2014).



Şekil 3.1 : Yunanistan, Ege Denizi ve Batı Türkiye'yi kapsayan topoğrafya haritası. Kırmızı ile işaretlenmiş yer İzmir olmaktadır (Google, 2021).

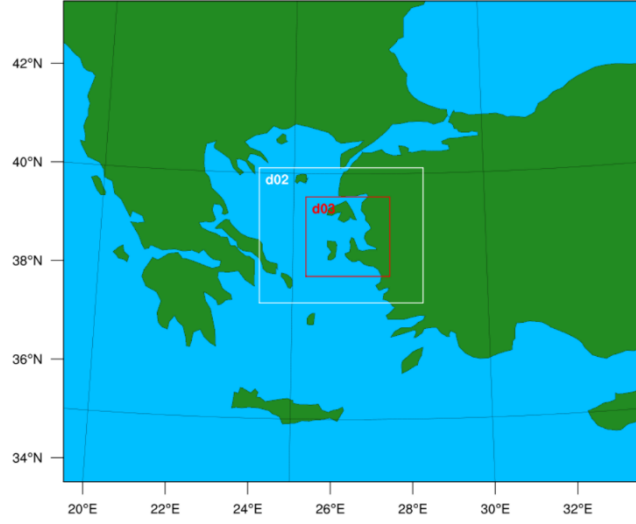
Şekil 3.2'de görülebileceği gibi İzmir'deki şehirleşme körfezin kıyı bölgelerindedir. Zemin örtüsünün değişmesiyle zeminin sıvı emme kapasitesi ve hızı da değişmektedir. Şehir bölgelerinde daha çok asfalt ve beton zemin kullanılması, çeşitli toprak türleri kadar yüksek geçirgenliğe ve poroziteye sahip olamaması yüzünden akışa geçen yağış miktarında artış söz konusudur.



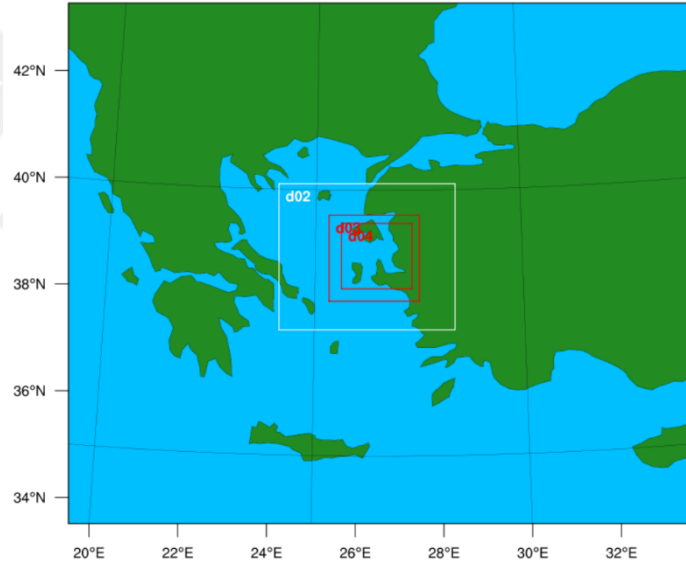
Şekil 3.2 : İzmir ilinin arazi kullanım haritası. Bordo olan bölgeler şehirleşmeyi ifade ederken, yeşil alanlar ormanları temsil etmektedir (İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı Nazım Plan Şube Müdürlüğü, 2012).

3.1.1 WRF model alanları

İzmir’de gerçekleşen şiddetli yağışa bağlı olarak gerçekleşen sel hadisesi için kurulan model alanı şekil 3.3 ile şekil 3.4’te verilmiştir. İlk 3 alan her iki tasarımda da aynı olurken, şekil 3.4’te verilen model alanı tasarımında, diğerlerinden daha yüksek çözünürlüklü bir iç alan daha mevcuttur. Ana alandan başlayarak 9 km, 3 km, 1 km ve 0.5 km şeklinde artan yatay çözünürlükte kurulan model alanlarında, en düşük çözünürlükteki alan başta olmak üzere sırayla 146x122, 123x103, 190x181 ve 297x275 kadar ızgara bulunmaktadır. Deney kurulumunda şekil 3.3’teki kurulumda olduğu gibi üç alan kullanılmıştır.



Şekil 3.3 : Yataydaki çözünürlükleri 9 km, 3 km ve 1 km olan model alan tasarımı görseli. Ana çerçeve 9km yatay çözünürlüklü alanı belirtirken, d02 olan alan 3 km yatay çözünürlüklü ve d03 olan alan ise 1 km yatay çözünürlüklü alanı ifade etmektedir.



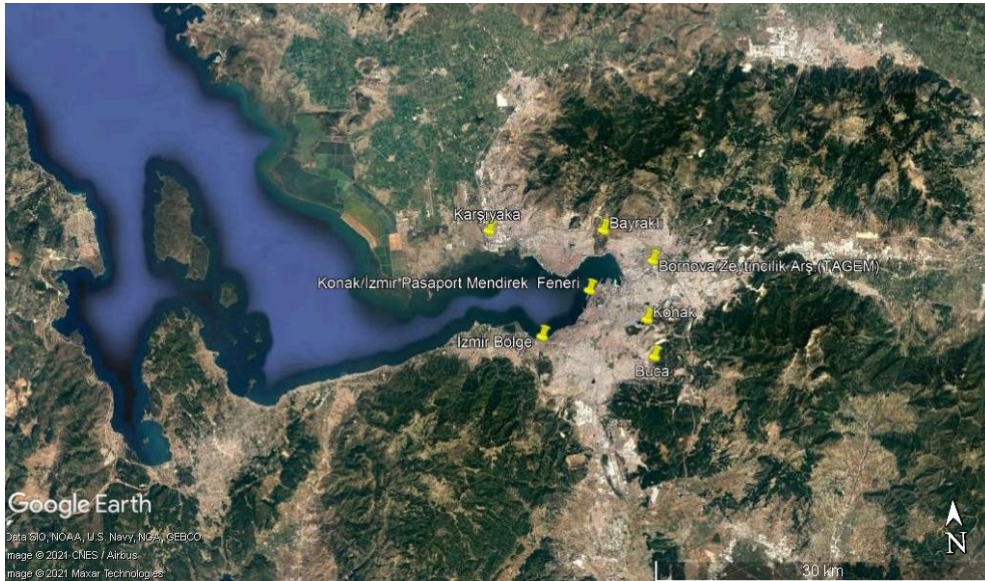
Şekil 3.4 : Yataydaki çözünürlükleri 9 km, 3 km, 1 km ve 500 m olan model alan tasarımı görseli. Ana çerçeve 9km yatay çözünürlüklü alanı belirtirken, d02 olan alan 3 km yatay çözünürlüklü, d03 olan alan 1 km ve d04 olan alan ise 500 m yatay çözünürlüklü alanı ifade etmektedir.



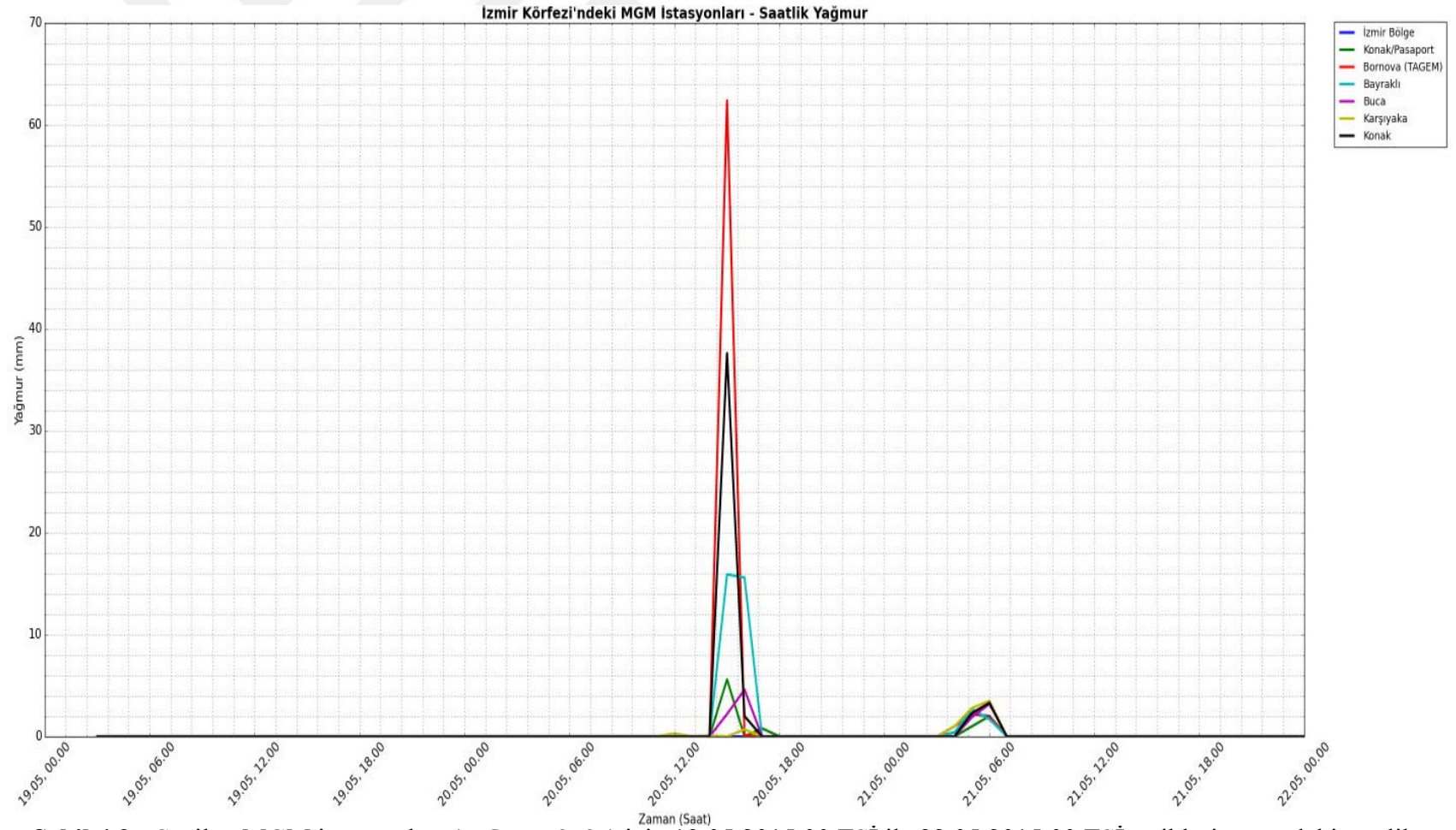
4. KONVEKTİF YAĞIŞ HADİSESİNİN ANALİZİ

MGM'den alınan bilgilere göre (2016b), Türkiye'nin 1981-2010 dönemine göre hesaplanan yıllık normal yağış değeri 574 mm'dir ve 2015 yılı için değer, 574 mm ile ortalamanın biraz üzerinde olup bu değer artmasına; İç Anadolu, Karadeniz, Ege ve Marmara Bölgesi sebeptir. Ege Bölgesi'nin normal 592,2 mm olup yine 2015 yılı için normalin üzerinde bir yağış gözlemlenmiştir (MGM, 2016b). Bu durum sadece İzmir için, 688,6 mm'ye denk gelmektedir ve Mayıs ayı için beklenen aylık toplam yağış miktarı ise 32,9 mm olmaktadır (MGM, 2020a). 20 Mayıs 2015 tarihinde ve 15.00 TSİ ile 16.00 TSİ arasında İzmir'de gerçekleşen bölgesel bir konvektif yağış sonrası, sel gözlemlenmiştir.

İzmir'in Bornova ilçesinde yüksek miktarda yağış meydana gelmiştir. 20 Mayıs 2020 tarihinde, Bornova'da 67,7 mm/saat yağış ile son 64 yıllık Mayıs ayı ortalama toplam yağış değeri 32,9 mm'nin çok üstünde bir değer gözlemlenmiştir (MGM, 2020c). Bununla beraber Konak'a 37,6 mm/saat, Bayraklı'ya 15,6 mm/saat, Buca'ya 4,6 mm/saat ve Karşıyaka'ya 0,7 mm/saat yağış düşmüştür (MGM, 2020c) (Şekil 4.2). Şekil 4.1'de tüm istasyonların konumları verilmiştir.



Şekil 4.1 : İzmir'de incelenen Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait meteorolojik gözlem istasyonlarının konumları (Google, 2021).

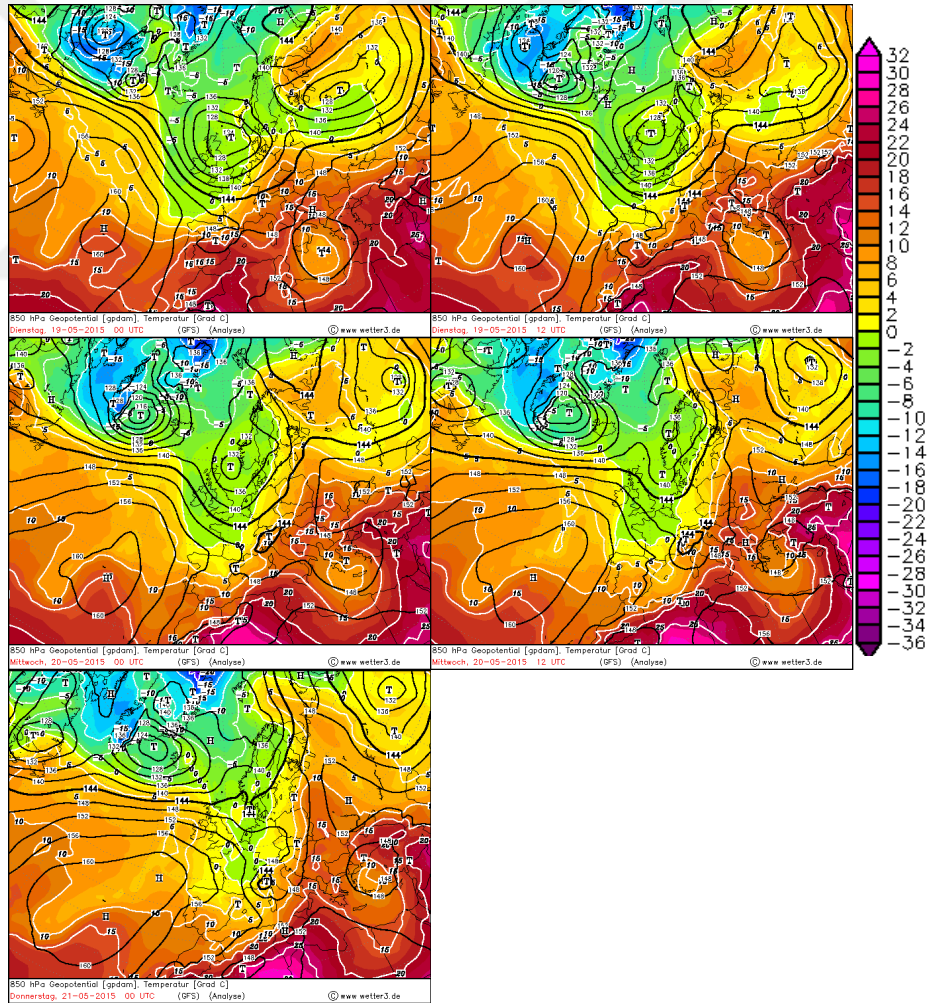


Şekil 4.2 : Seçilen MGM istasyonları (MGM, 2020c) için 19.05.2015 00 TSİ ile 22.05.2015 00 TSİ tarihleri arasındaki saatlik yağış dağılımları. Lejantta sırayla İzmir Bölge, Konak/Pasaport, Bornova, Bayraklı, Karşıyaka ve Konak MGM istasyonları verilmiştir.

Şekil 4.2'deki zamansal grafik irdelendiğinde, yağışın neredeyse tüm konumlar için bir saat kadar yağdığına ulaşılır. Deniz kenarında olan ilçeler daha yüksek yağış alırken, Buca gibi daha iç kesimlerde kalan ilçeler daha düşük şiddette ve geç zamanda gerçekleşmektedir.

4.1 Sinoptik Kartlar, Skew-T Log-P Diyagramı ve METAR

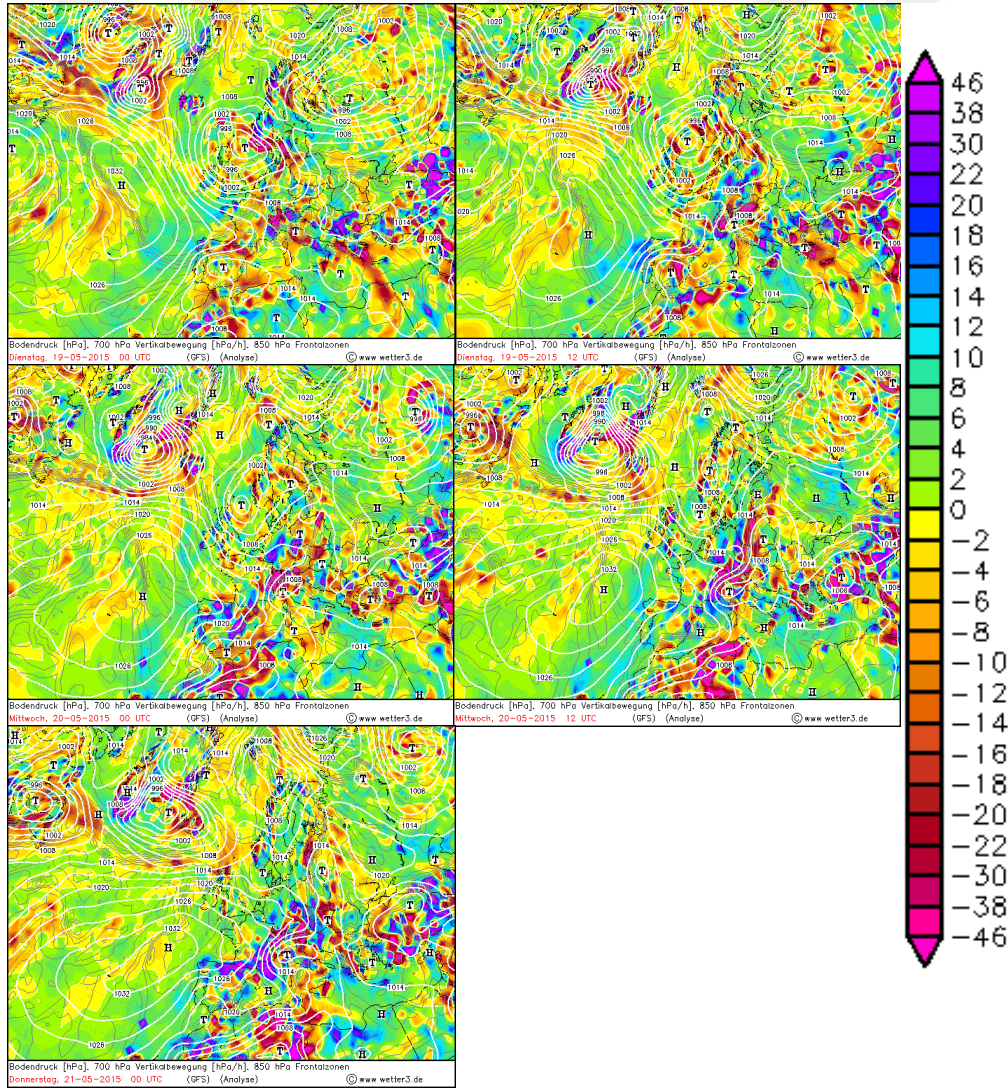
Sinoptik analiz sırasında; Yer seviyesi basıncı, 850-500-300 hPa seviyeleri için jeopotansiyel yükseklik ile sıcaklık, 500 hPa seviyesi için mutlak vortisiti adveksiyonu, 700 hPa seviyesi için düşey hareketlilik ve 300 hPa seviyesi için diverjans alanları incelenmiştir. Ayrıca, 20 Mayıs 2015 12.00 UTC tarihli skew-t log-p diyagramı ve ondan elde edilen kararsızlık indeksleri ile Adnan Menderes Havalimanı'nda hazırlanan 20 Mayıs 2015 tarihli METAR raporu irdelenmiştir.



Şekil 4.3 : 19 Mayıs 2015 00.00 UTC ile 21 Mayıs 2015 00.00 UTC tarihleri arasındaki 850 hPa seviyesi jeopotansiyel yükseklik [dam] ve sıcaklık [°C] kartları (Wetter3, 2021). 00.00 ile 12.00 UTC saatleri için alınmıştır. Eğriler jeopotansiyel yükseklikleri belirtirken, renklendirilmiş alanlar sıcaklığa karşılık gelmektedir.

850 hPa seviyesi jeopotansiyel yüksekliği kartlarında (Şekil 4.3); Avrupa'daki alçak merkezden zamanla koparak, Türkiye'nin batı kıyılarında konumlanan bir alçak merkez bulunmaktadır. Bu merkez; 20 Mayıs 2015 12.00 UTC haritasında, 148 dam jeopotansiyel yükseklik değerinden daha düşük bir değerde olmak üzere, belirgin olarak İzmir üzerinde konumlanmaktadır.

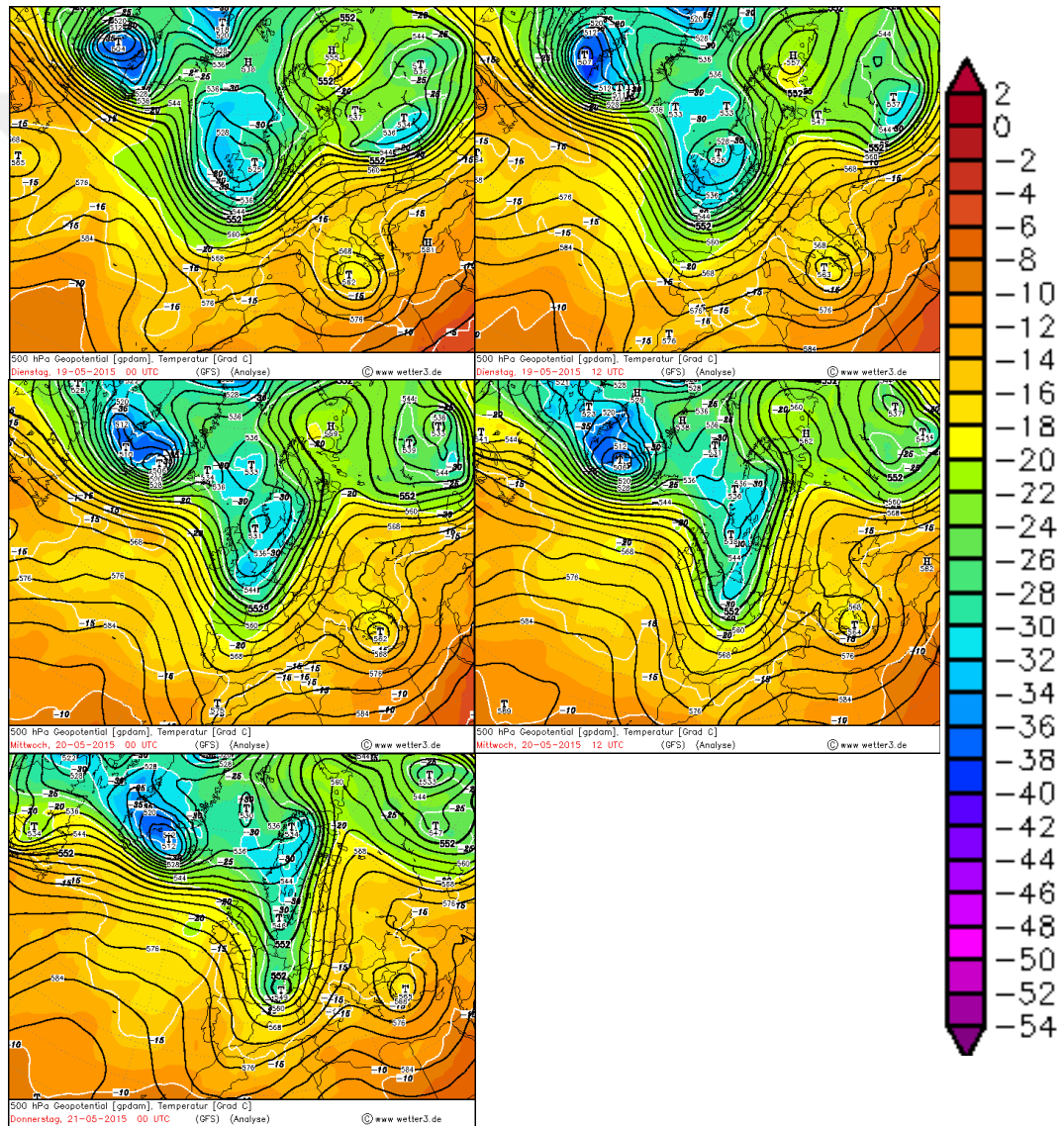
20 Mayıs 2015 12.00 UTC tarihinde yükselici hareketlilik, İzmir başta olmak üzere, Türkiye'nin batı kıyılarını etkilemektedir. 21 Mayıs 2015 00.00 UTC tarihinde düşey hareketlilik İzmir ve çevresi için neredeyse durağan olurken; İzmir'in daha kuzeyi iniçi hareketler hakimdir. (Şekil 4.4). 20 Mayıs 2015 12.00 UTC tarihine doğru benzer bölge için yüzeydeki basınç değeri 1001 hPa ve altına düşmekte; 21 Mayıs 2015 00.00 UTC tarihinde, olay saatinden sonra, yüzey basıncında artış meydana gelmektedir.



Şekil 4.4 : 19 Mayıs 2015 00.00 UTC ile 21 Mayıs 2015 00.00 UTC tarihleri arasındaki yüzey basınç [hPa], 700 hPa seviyesi için düşey hareketlilik [hPa/h] kartları (Wetter3, 2021). 00.00 ile 12.00 UTC saatleri için alınmıştır. Beyaz eğriler yüzey basıncını, renkli alanlar düşey hareketliliği temsil etmektedir.

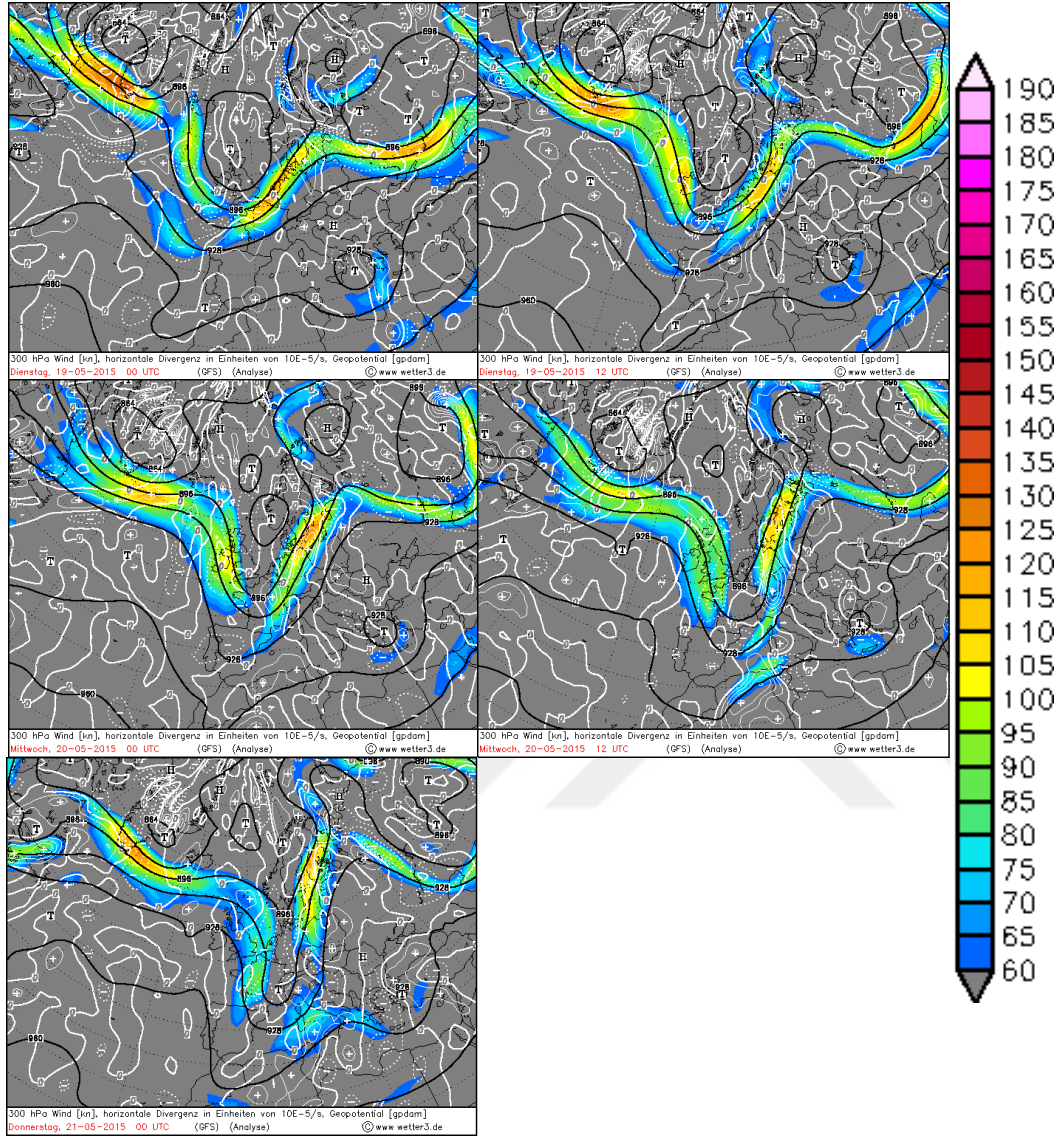
500 hPa seviyesindeki jeopotansiyel yükseklik kartlarında İtalya üzerindeki 562 dam değerinden daha düşük kalınlıkta olan alçak merkez, 20 Mayıs 2015 12:00 UTC tarihinde üzerindeki 562 dam değerinden daha düşük kalınlıkta olan alçak merkez, 20 Mayıs 2015 12.00 UTC tarihinde ve 564 dam kalınlığında Türkiye'nin batı kıyılarında bulunmaktadır (Şekil 4.5).

500 hPa seviyesi, yaklaşık olarak atmosferin ortası olarak sayıldığı için sistemin buraya kadar ulaşması ve aşağı seviyedeki merkezin örüntüsünü takip etmesi, ne kadar bir alçak merkez olduğuna işaret etmektedir. Aynı görsellerdeki sıcaklık değerleri, al-



Şekil 4.5 : 19 Mayıs 2015 00.00 UTC ile 21 Mayıs 2015 00.00 UTC tarihleri arasındaki 500 hPa seviyesi jeopotansiyel yükseklik [dam] ve sıcaklık [°C] kartları (Wetter3, 2021). 00.00 ile 12.00 UTC saatleri için alınmıştır. Eğriler jeopotansiyel yükseklikleri belirtirken, renklendirilmiş alanlar sıcaklığa karşılık gelmektedir.

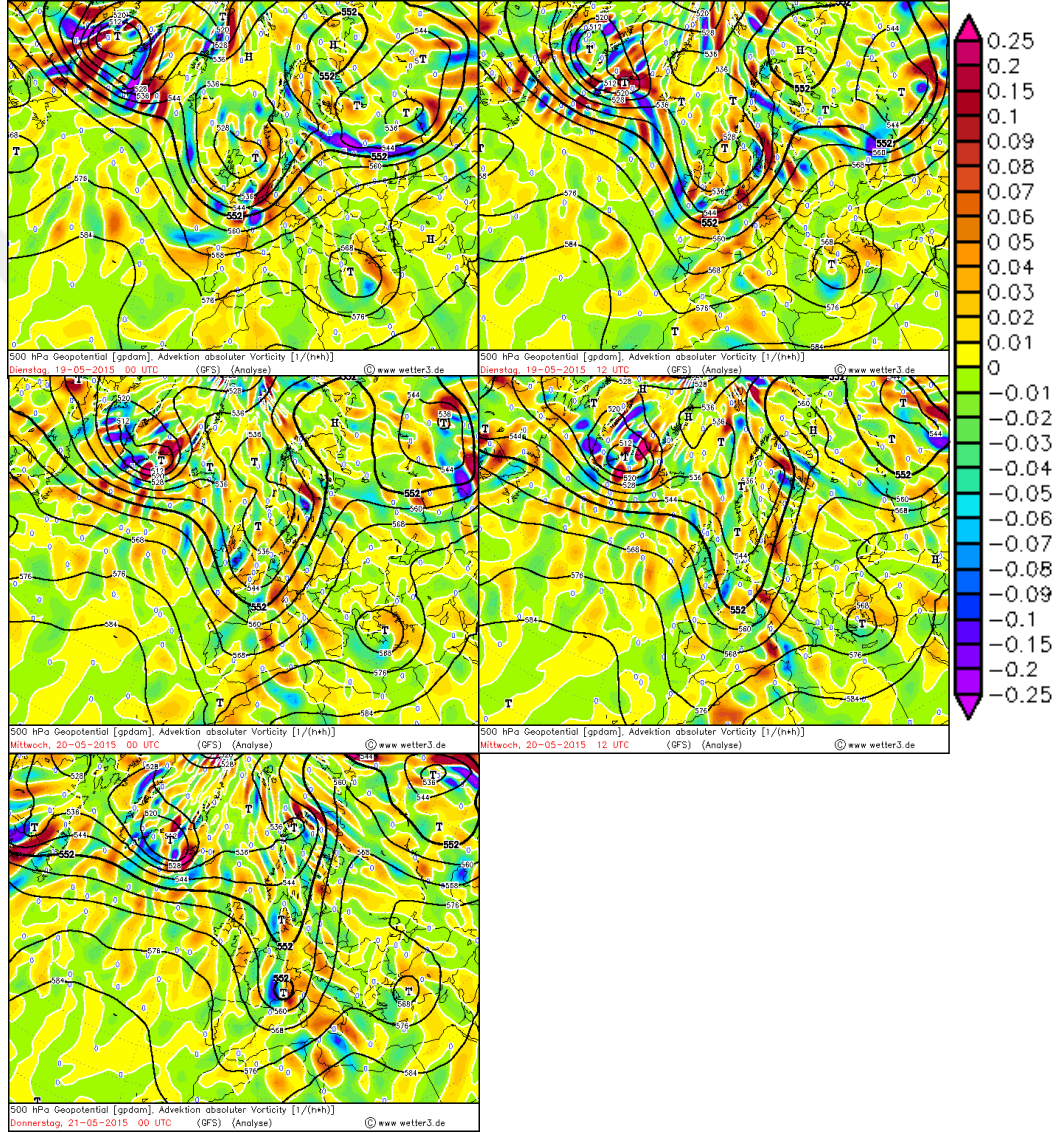
çak merkezin Ege Denizi'nin doğusuna ilerlemesiyle beraber düşmektedir. İzmir Körfezi için sıcaklık değerleri 19 Mayıs 2015 12.00 UTC tarihinde yaklaşık -16 °C iken, 20 Mayıs 2015 12.00 UTC tarihinde ise -20 °C değerine kadar ulaşmaktadır.



Şekil 4.6 : 19 Mayıs 2015 00.00 UTC ile 21 Mayıs 2015 00.00 UTC tarihleri arasındaki 300 hPa seviyesi jeopotansiyel yükseklik [dam], rüzgar [knot] ve yatay diverjans [s^{-1}] kartları (Wetter3, 2021). 00.00 ile 12.00 UTC saatleri için alınmıştır. Siyah eğriler jeopotansiyel yükseklikleri, beyaz eğriler yataydaki diverjans ve konverjans oluşumunu belirtirken; renklendirilmiş alanlar rüzgara karşılık gelmektedir.

300 hPa seviyesini ifade eden kartlarda alçak merkez, 19 Mayıs 2015 00.00 UTC tarihinden 20 Mayıs 2015 12.00 UTC tarihine kadar Türkiye'nin batı kıyılarına ulaşmaktadır (Şekil 4.6). Merkezin jeopotansiyel yüksekliği, 928 dam daha düşüktür. 21 Mayıs 2015 00.00 UTC tarihinde İzmir'in de bulunduğu bölge üzerinde jeopotansiyel yükseklik değeri artmaktadır. Alçak merkezin ilerleyiş yönü sebebiyle

güneyindeki olukta rüzgar şiddeti 60 knot ve üzerindedir. İngiltere üzerinde bulunan olukta jet rüzgarları, 100 knot ve üzerinde olmaktadır. 20 Mayıs 2015 12.00 UTC tarihine kadar olan görsellerde, Türkiye'nin batı kıyılarında diverjans alanları görülmektedir. Aşağı seviyelerdeki konverjans alanlarını ifade eden bu durum, aynı İzmir'in de içinde bulunduğu bölge üzerinde konverjans alanı söz konusudur. Bu da aynı zamanda kararsızlığın da bir göstergesidir. 21 Mayıs 2015 00.00 UTC tarihli kart, iniçi hareketliliğin arttığını ve sistemin dağılmaya başladığına işaret etmektedir.

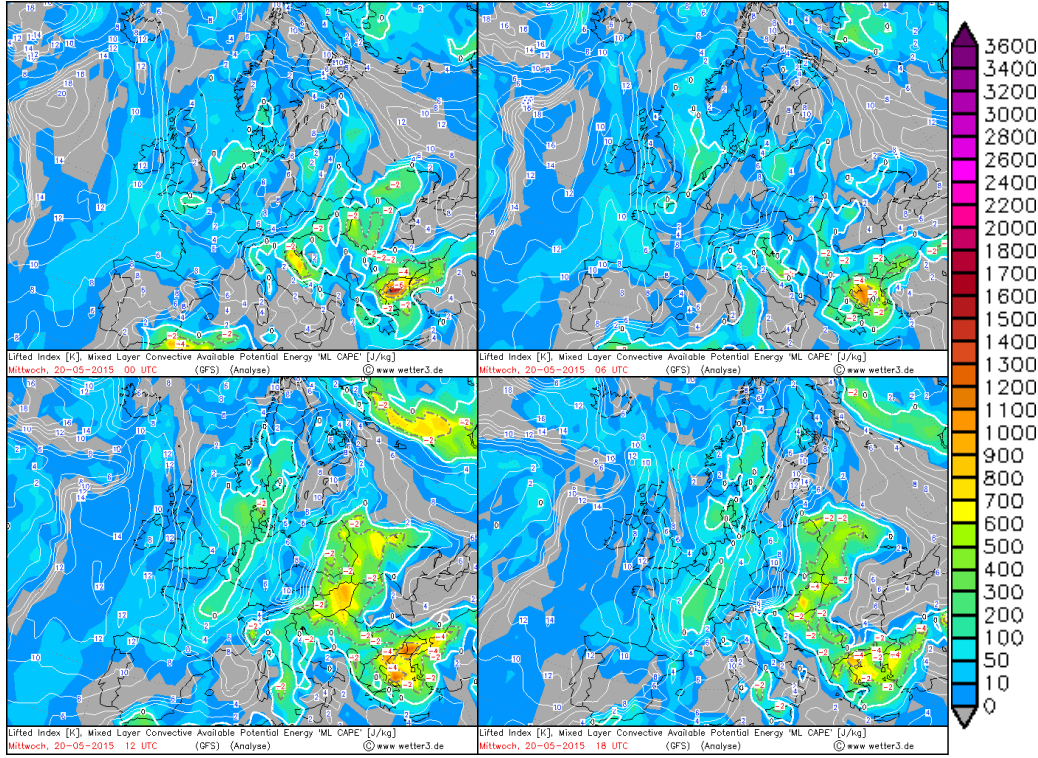


Şekil 4.7 : 19 Mayıs 2015 00.00 UTC ile 21 Mayıs 2015 00.00 UTC tarihleri arasındaki 500 hPa seviyesi jeopotansiyel yükseklik [dam], mutlak vortisiti adveksiyonu [s-2] kartları (Wetter3, 2021). 00.00 ile 12.00 UTC saatleri için alınmıştır. Siyah eğriler jeopotansiyel yükseklikleri, renklendirilen alanlar mutlak vortisiti adveksiyonunu ifade etmektedir.

19 Mayıs 2015 12.00 UTC ile 20 Mayıs 2015 12.00 UTC tarihleri arasında ve 500 hPa seviyesinde olmak üzere, Türkiye'nin batı kıyılarını kapsayan bölge için pozitif mutlak

vortisiti adveksiyonu bulunmaktadır (Şekil 4.7). 20 Mayıs 2015 12.00 UTC tarihine doğru mutlak vortisiti adveksiyonu değeri artmaktadır. Bu durum, yukarı seviye diverjansını ve oluşan yükselici hareketli şiddetlendirmektedir.

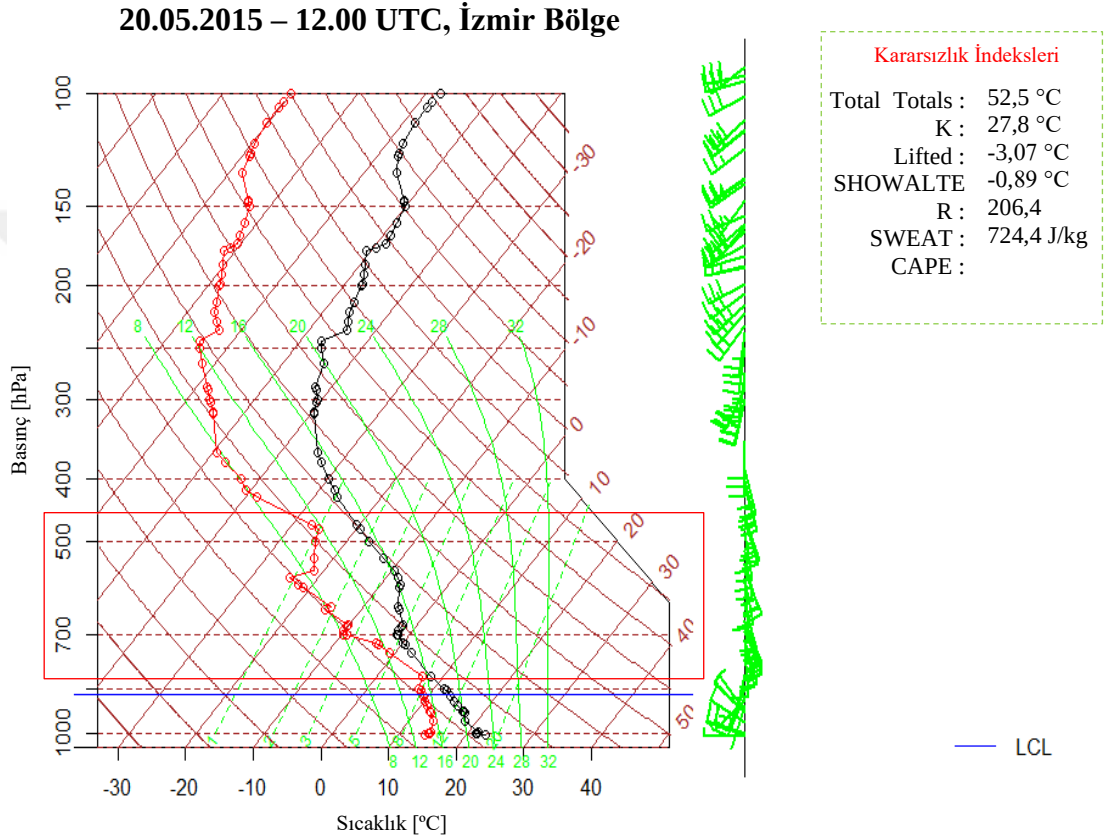
20 Mayıs 2015 12.00 tarihli farklı düşey seviyeleri kartlarında, Türkiye'nin batı kıyılarını içeren bölge üzerinde, yer yüzünden atmosferin yukarı seviyelerine kadar ulaşabilen derin bir alçak merkez ve yer seviyesinde alçak basınç merkezi bulunmaktadır. Soğuk çekirdekli alçak olması, sistemin daha kuvvetli olmasını sağlamaktadır. Birbirilerini tetikleyen ve zamanla şiddetlerinin artmalarına sebep olan; 300 hPa seviyesi diverjans alanları, 500 hPa mutlak vortisiti adveksiyonu ve 700 hPa düşey hareketlilik değerleri, 20 Mayıs 2015 12.00 UTC tarihinde birbirleriyle uyum içerisinde ve atmosferik kararsızlığı artırarak sistemin gelişmesine sebep olmaktadır. Olay saatine doğru, İzmir üzerindeki şiddeti de artmaktadır.



Şekil 4.8 : 20 Mayıs 2015 00.00 UTC, 06.00 UTC, 12.00 UTC ve 18.00 UTC tarihleri için Lifted İndeksi [K] ile CAPE [J/kg] değerlerini gösteren haritalar (Wetter3, 2021). Lifted İndeksi beyaz eğriler, CAPE renklendirilmiş alan olarak belirtilmiştir.

20 Mayıs 2015 00 UTC ile 20 Mayıs 2015 18 UTC tarihleri arasındaki Lifted İndeksi ve CAPE değeri, Yunanistan'ın doğu kıyıları Türkiye'nin batı kıyılarına oranla daha yüksektir (Şekil 4.8). Olayın gerçekleştiği bölge olan İzmir Körfezi için bu değerler, 12.00 UTC saatinde en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Lifted İndeksi, 00.00

UTC saatinde körfez boyunca sıfırdan büyük değerlere işaret ederken; CAPE değerleri aynı bölge için 0 J/kg olmaktadır. 12.00 UTC saatine doğru, Lifted İndeksi değerinde -3 K değerine kadar düşüş olurken, CAPE değeri 700 J/kg kadar olmaktadır. Lifted İndeksi ile CAPE bu süre içerisinde şiddetli hava olaylarına işaret ederken, 18.00 UTC saatinde Lifted İndeksi değerinin artması ve CAPE değerinin düşmesi ise kararsızlığın azaldığını belirtmektedir.



Şekil 4.9 : Wyoming Üniversitesi Atmosferik Bilimler Departmanı'ından elde edilen ravinzone verilerinin, 20 Mayıs 2015 12.00 UTC için skew-t log-p diyagramı.

MGM İzmir Bölge Meteoroloji İstasyonu ravinzone verileri ile hazırlanan Skew-T Log-P diyagramında (Şekil 4.9), LCL seviyesi mavi yatay doğru ile belirtilmiştir. Yaklaşık 850 hPa seviyesinde başlayan bulut oluşumu, yaklaşık 480 hPa seviyesine kadar çıkmaktadır (Şekil 4.9'da kırmızı çerçeve içine alınan bölge). Donma seviyesi, yaklaşık 720 hPa seviyesindedir. Bu durumun kritik 650 hPa basınç seviyesinin altında yer alması, dolu olayının görülme olasılığını arttırmaktadır. Ayrıca, donma seviyesinin bulut oluşumunun başladığı seviyeye yakın olması, o günkü bulutların ne kadar soğuk olduğuna ve sistemin neden bu kadar şiddetli olduğuna da işaret etmektedir.

Ravinzone verileri ile hesaplanan Total Totals, K, Lifted, SHOWALTER, SWEAT ve CAPE indeksleri, 12.00 UTC saatinde konvektif aktiviteyi işaret etmektedir. Total Totals İndeksi için 52,5 °C, K İndeksi için 27,8 °C, Lifted İndeksi için -3,07 °C, SHOWALTER İndeksi için -0,89 °C, SWEAT İndeksi için 208,4 ve CAPE için 724,4 J/kg olarak hesaplanmıştır. Kararsızlık indeksleri 12.00 UTC saati için, orta şiddetteki konvektiviteden yüksek şiddette gerçekleşen konvektiviteye kadar değişen sonuçlar vermektedir.

Çizelge 4.1 : İzmir - Adnan Menderes Havalimanı 20 Mayıs 2015 tarihli METAR Raporu (Euroweather, 2019).

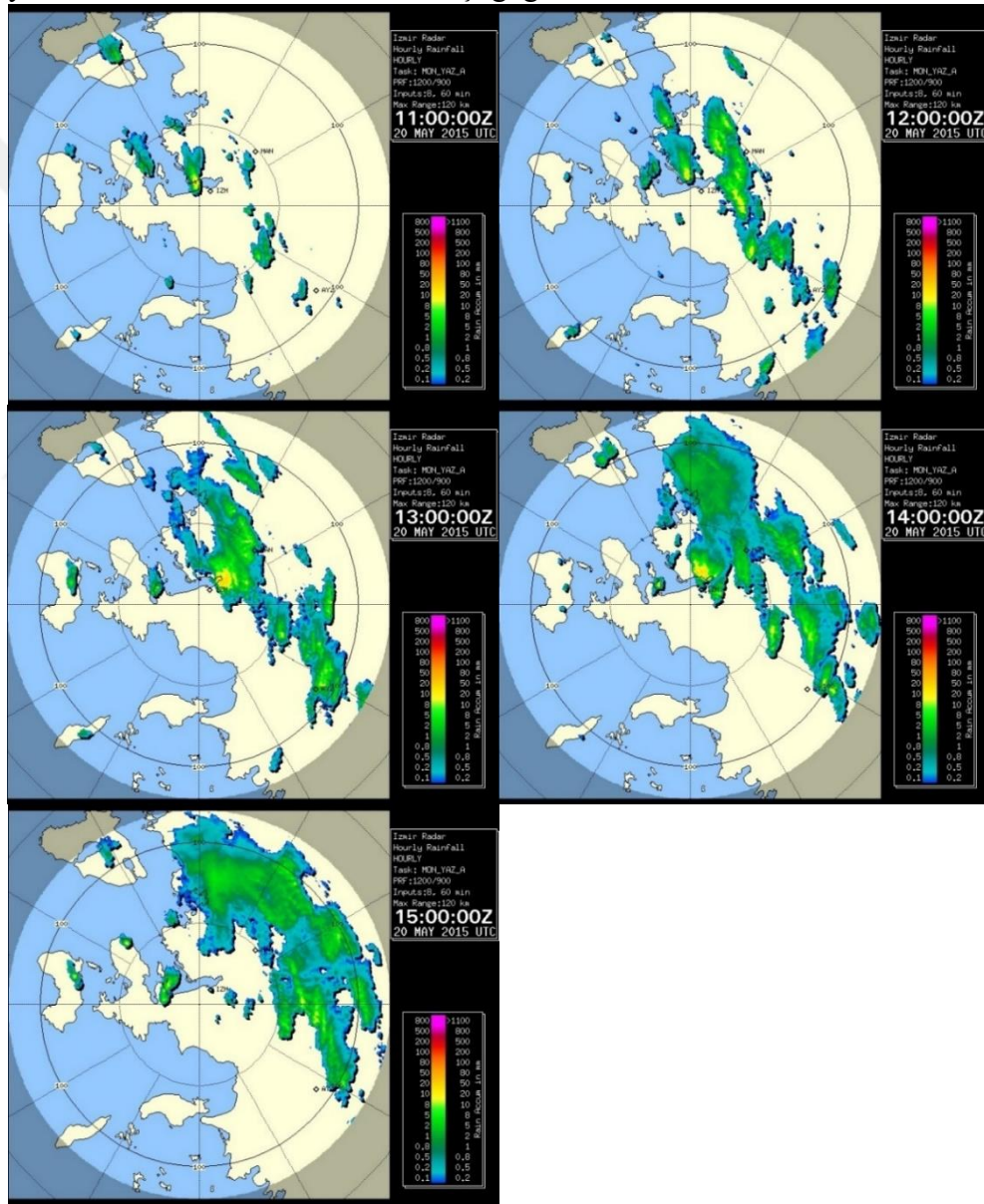
Saat (UTC)	Ortalama Deniz Seviyesi Basıncı (hPa)	Sıcaklık (oC)	Bağıl Nem (%)	Rüzgar (Knot)	Görünürlük	Bulut Kapallığı	Önemli Hava Olayı
02.50	1008	12	71	3 (G)	İyi	Açık	-
03.50	1008	13	71	2 (D.)	İyi	Açık	-
04.50	1008	17	59	3 (G)	İyi	Açık	-
05.50	1009	20	60	5(G)	İyi	Açık	-
06.50	1009	22	53	6 (G)	İyi	Açık	-
07.50	1009	23	49	6(G)	İyi	FEW	-
08.20	1009	25	38	8 (G)	İyi	FEW	-
09.20	1009	24	50	9 (G)	İyi	SCT	-
10.20	1009	24	50	9 (GB)	İyi	SCT	-
11.50	1009	25	44	10 (GGB)	İyi	SCT	Mutedil Oraj
12.50	1009	24	53	8 (BGB)	İyi	SCT	Mutedil Oraj
13.50	1010	20	60	12 (GGB)	İyi	SCT	Mutedil Oraj
14.50	1010	22	53	5 (KKD)	İyi	SCT	-
15.50	1009	23	49	4 (G)	İyi	SCT	-
16.20	1010	22	56	7 (G)	İyi	SCT	-
17.50	1010	20	72	5 (GB)	İyi	SCT	-
18.50	1011	19	77	4 (GGB)	İyi	SCT	-
19.50	1011	18	82	4 (GD)	İyi	SCT	-
20.20	1011	18	82	4 (GD)	İyi	SCT	-
21.50	1012	16	82	2 (D.)	İyi	SCT	-
22.50	1012	15	87	3 (GGD)	İyi	SCT	-
23.50	1012	15	87	4 (GD)	İyi	SCT	-
00.50	1012	16	87	2 (BGB)	İyi	SCT	-
01.55	1012	16	83	-	İyi	BKN	Mutedil Sağanak

İzmir Körfezi'nin güneyinde kalan Adnan Menderes Havalimanı'nda hazırlanan 20 Mayıs 2015 tarihli 11.50 UTC ile 13.50 UTC saatleri arasındaki METAR raporuna (Euroweather, 2019) göre, İzmir'de orta şiddette gök gürültülü fırtına bulunmaktadır. Sabah saatlerinde atmosfer açık olarak bildirilirken, 07.50 UTC saatinden sonra

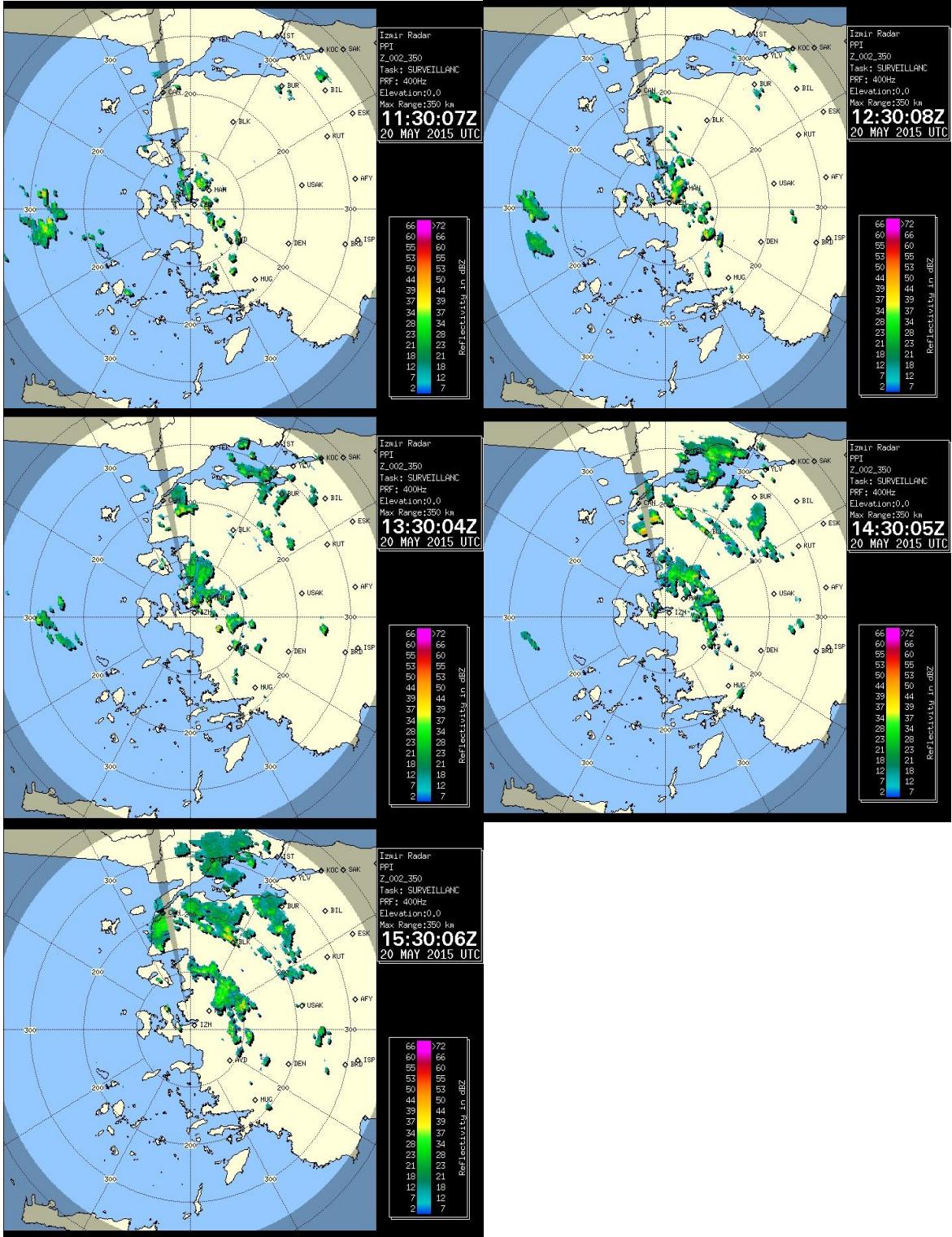
bulutlanma başlamakta ve kısa sürede fırtına bulutları oluşmaktadır. Gökyüzündeki bulut kapalılığı tam değildir ve 5/8 ile 7/8 aralığında değişen parçalı bulutlu olarak belirtilmiştir. Rüzgar şiddeti, 11.50 UTC ile 13.50 UTC saatleri arasında şiddetlenmekte ve olaydan sonra şiddetini kaybetmektedir.

4.2 Radar ve Yıldırım Görselleri

Tüm haritalar, radar görselleri ile karşılaştırıldığında (Şekil 4.10, Şekil 4.11), alçak merkezin Yunanistan üzerinden koparak İzmir'e doğru geldiği ve rüzgarın bu sebeple saat yönünün tersinde eserek İzmir'e ulaştığı gözlemlenebilir. Körfez etrafındaki istas-



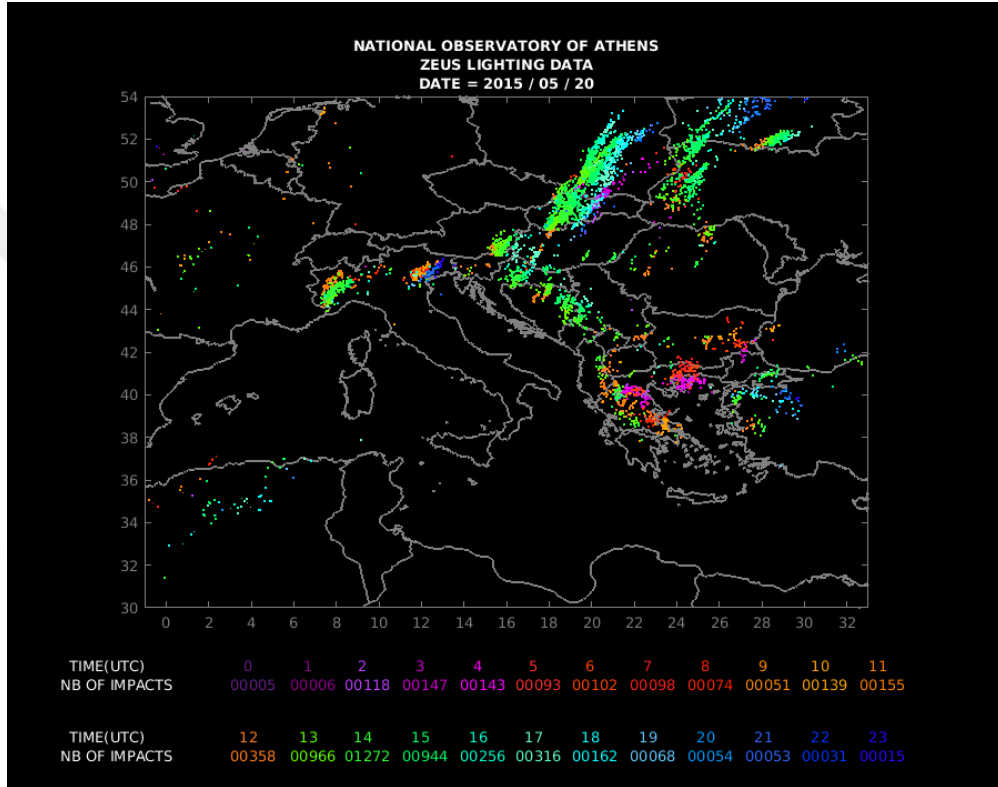
Şekil 4.10 : İzmir ve çevre illeri gösteren MGM'ne ait 20 Mayıs 2015 tarihli radar reflektivite görselleri. 11.00 UTC'den (14.00 TSİ) 15.00 UTC (18.00 TSİ) saatine kadar radar olan yansıtma değerleri ile onlardan türetilen yağış miktarını belirtmektedir. Renk ölçeğine bakıldığında sarı rengin üzerindeki yüksek yansıtma değerlerine sahiplerdir ve 20 mm/saat değerinden daha şiddetli olan yağışa karşılık gelmektedir (MGM, 2020b).



Şekil 4.11 : Ege ve Marmara Bölgesi'ni gösteren MGM'ne ait 20 Mayıs 2015 tarihili radar reflektivite görselleri. 11.30 UTC'den (14.30 TSİ) 15.30 UTC (18.30 TSİ) saatine kadar olan yansıtma değerleri ile onlardan türetilen yağış miktarını belirtmektedir. Renk ölçeğine bakıldığında sarı rengin üzerindeki yüksek yansıtma değerlerine sahiplerdir ve 39 mm/saat değerinden daha şiddetli olan yağışa karşılık gelmektedir (MGM, 2020b).

yonlar da incelendiğinde, rüzgarın esme doğrultusunda ve ona uygun sırada yağış gözlemlenmektedir. Özellikle olay saatine çok yakın bir zaman diliminden başlamak

üzere, olay zamanını içeren sürede İzmir Bölge'sine ait radar görselleri incelendiğinde, bahsedilen durumu destekleyen sonuçlara ulaşılabilir. 20 Mayıs 2015 tarihinde, 11.00 UTC (14.00 TSİ) ve 12.00 UTC (15.00 TSİ) saatlerindeki görsellerde sistemin gelişmeye başladığı ve 13.00 UTC (16.00 TSİ) saatinde tamamen Bornova üzerinde, radar yansıtma değerlerinden yaklaşık 50 mm değerinin üstünde bir yağış bıraktığı görülmektedir. Bu durum istasyonlardan gelen bilgilerle de eşleşmektedir. 14.00 UTC (17.00 TSİ) saatinde ise Karşıyaka istasyonu üzerine ilerlemiş, sonrasında ise zamanla etkisini İzmir körfezinde yitirerek kuzeydoğuya doğru yönelmiştir.



Şekil 4.12 : 20 Mayıs 2015 tarihi için yıldırım gözlem verileri. Yıldırım değerleri noktasal olarak gösterilmiştir ve her renk ayrı bir zaman dilimine karşılık gelmektedir (Thunderstorm24, 2020).

Yunanistan Meteoroloji Servisi tarafından toplanan yıldırım gözlem verileri Şekil 4.14'de görülebilir. Buradaki değerlere bakıldığında, günün erken saatlerinde Yunanistan ve çevresinde etkili olduğuna, 12.00 UTC (15.00 TSİ) ile 13.00 UTC (16.00 TSİ) saatleri arasında İzmir üzerine yıldırım düştüğüne ulaşılabilir.



5. VERİ

Bu çalışmada başlangıç ve sınır koşullarını oluşturmak için, farklı yatay çözünürlükte olan 3 farklı çıktıya dayalı olarak üretilen atmosfer verileri ile iki farklı topoğrafya verisi kullanılmıştır.

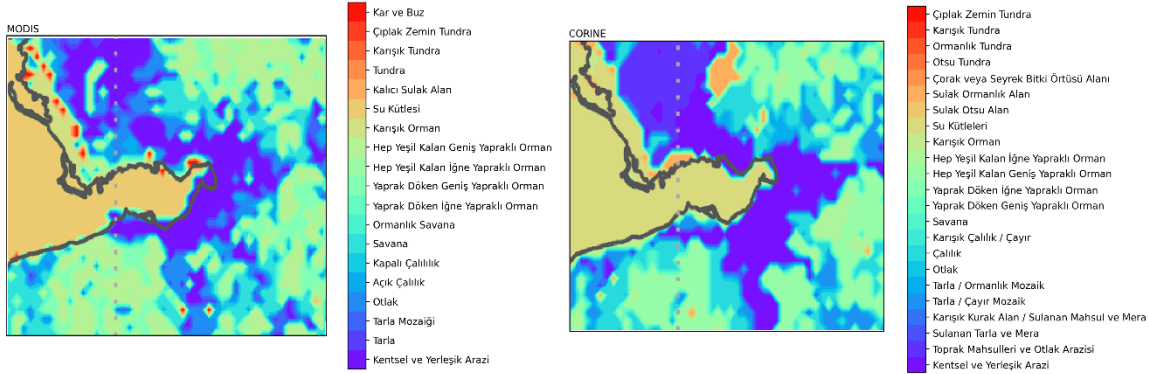
Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) tarafından 2006 yılında üretilmeye başlanılan ve 1 Ocak 1979 ile 31 Ağustos 2019 tarihleri arasında bir arşive sahip olan ERA-Interim, 0,75° (yaklaşık 79 km) yatay çözünürlüğe sahip reanaliz verisidir (Berrisford ve diğ., 2011; Giusti ve Guillory, 2020). Düşeyde 60 seviyesi olan ERA-Interim, 31 Ağustos 2019 tarihinden itibaren üretilmemeye başlanmıştır ve onun yerine ECMWF tarafından geliştirilen ERA-5 veri seti, 2016 ocaktan itibaren üretilmeye başlanmış olup, 1 Ocak 1979 tarihinden itibaren atmosfer verilerine sahiptir (Hersbach ve diğ., 2020). Yaklaşık 0,25° (31 km) yatay çözünürlüğüne sahip olan ERA-5, 137 atmosfer seviyesine sahiptir (Hersbach ve diğ., 2020).

Amerikan Ulusal Hava Servisi (NOAA) tarafından üretilen GFS hava tahmin modelinden elde edilen ve 0,5° (yaklaşık 60 km) yatay çözünürlüğe sahip olan analiz verileri, 1 ocak 2007 tarihinden beri üretilmekteyken; zamansal çözünürlüğü 6 saattir ve 27 hibrit sigma seviyesine sahiptir (NOAA, 2018).

NASA tarafından kontrol edilen MODIS uydusunun yüzey değerlerine göre NCAR tarafından WRF için statik topoğrafya verisi üretilmiştir (Gray ve diğ., 2020; NCAR, 2020). Bu çalışmada, NCAR tarafından WRF kullanıcılarına önerilen topoğrafya verisi olan düzenlenmiş MODIS uydu verisinin 1 km yatay türü kullanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan bir diğer topoğrafya verisi olan ve CORINE (Coordination of Information on the Environment) projesi kapsamında Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen Arazi Örtüsü/Kullanımı sınıflandırması uydu görüntüleri üzerinden belirlenmiştir ve üretilen statik veri yatayda 100 m çözünürlüğe sahiptir. WRF için doğrudan kullanımı olmayan CORINE verisi, CORINE sınıflarının WRF arazi sınıflarına adapte edilmesine yönelik çeşitli düzenlemelerden sonra kullanılabilir hale

gelmiştir. Bu veriler, 2018 yılında güncellenen yüzey değerlerine bağlı olarak elde edildiği için şehirleşmenin yoğun olduğu bölgeleri daha net ifade edebilmektedir (Copernicus, 2020). Ayrıca bu durum, CORINE ve MODIS uydularından elde edilen arazi yüzeyi kullanım haritalarını içeren şekil 5.1'deki görselde



gözlemlenebilmektedir.

Şekil 5.1 : İzmir Körfezi'ne ait CORINE ve MODIS uydu verileri ile WRF-ARW için hazırlanmış arazi yüzeyi kullanım görselleri.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı İzmir Bölge, Konak/Pasaport, Bornova, Bayraklı, Buca, Karşıyaka ve Konak meteoroloji gözlem istasyonlarından elde edilen gözlem verileri ile sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Nem, sıcaklık, basınç gibi meteorolojik değişkenlerin ölçümü yapılan bu istasyonlardan kümülatif olarak kaydı tutulan yağış verileri alınmış ve elde edilen WRF modeli benzetimleri ile karşılaştırılmıştır.

Türkiye Cumhuriyeti'nin tamamını ve kısmen çevre ülkeleri kapsayan meteoroloji radarları, ülke sınırları içerisinde 18 ayrı nokta bulunmaktadır. Bu ölçümlerden elde edilen PPI (plan position indicator) ürünü ve yansıtma değerlerine bağlı hesaplanan saatlik yağış görselleri kullanılmıştır. PPI reflektivite, hız, spektral genişlik ve yağış oranına bağlı olarak; yansıyan sinyallerin düşük yükselti açısıyla taranmasından elde edilen eko değerlerinden hesaplanmaktadır (Geçer, 2005).

Son olarak karşılaştırmada kullanılan EUMETSAT uydusuna ait renkliliği arttırılmış, su buharı ve bulut tepe sıcaklığı uydu ürünleri karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır. 1977 yılında gönderilen ve 2017 yılına kadar ölçüm yapan ilk nesil EUMETSAT uydusunun, 2004-2025 ve 2021-2039 yılları arasında çalışacak ikinci ve üçüncü nesli de bulunmaktadır (EUMETSAT, 2020).

6. WRF-ARW HASSASİYET ANALİZİ TASARIMI

Bu çalışmada, aynı olay için WRF-ARW sayısal tahmin modeli farklı parametrizasyonlar, girdi verileri, yatay çözünürlük ve deniz yüzey sıcaklıklarındaki 1 °C artış içeren senaryolar kullanılarak çalıştırılmış ve konvektif yağış tahmininin bu seçimlere hassasiyeti incelenmiştir. Benzetimlerin sınıflandırılması çizelge 6.1’de verilmektedir. Bu bağlamda WRF modelinin 4.1 ile 3.8 (CORINE koşturması için) sürümü kullanılarak; şekil 6.2’de belirtilen 3 farklı atmosferik girdi verisi, 2 farklı coğrafi girdi verisi, 2 farklı alansal çözünürlük kurulumu ile 65 düşey seviyesi için çalıştırılmıştır. 3 farklı mikrofizik, ikişer farklı sınır tabakası, uzun-kısa dalga boylu radyasyon, arazi yüzeyi ve yüzey katmanı parametrizasyonlarında değişiklikler yaparak farklı fiziksel parametrizasyon şemaları denenmiştir. Koşturma süreleri, 3-4-5-6 gün olarak değişmekte olup hem normal hem de “*grid nudging*” hesaplamaları yaptırılmıştır. Sonuçları ne kadar etkilediklerini görmek amaçlı, kullanılan 3 farklı girdi verilerinde deniz yüzeyi sıcaklıkları 1 °C artırılarak, kontrol deneyine ait parametrizasyonlara göre benzetimler de oluşturulmuştur. Bu bağlamda, toplam 39 benzetim elde edilmiştir (Şekil 6.2). Benzetimlerin sınıflandırılma sisteminde “model yatışma süreleri (spin up time)”, “girdi verisi”, “alan sayısı”, “deniz yüzeyi sıcaklığındaki değişim”, “coğrafi veri girdisi”, “*grid nudging* yapılma durumu”, “benzetimdeki fiziksel parametrizasyonların değişim numarası” olmak üzere 7 gruplu adlandırma yöntemi kullanılmıştır. Fiziksel parametrizasyonlardaki değişimler, benzetim kısaltmalarının uzun olmaması amacıyla mikrofizik, uzun-kısa dalga boylu radyasyon, atmosferik sınır tabakası, yüzey katmanı, arazi yüzeyindeki değişimler olmak üzere birlikte numaralandırılmıştır. 3 alanlı ile 4 alanlı olmak üzere farklı ızgara sayılarına sahip alansal yapılandırmadan oluşan benzetimler, iç içe yerleştirilmiş olarak kurulumu yapılmıştır. Sırasıyla 9 km – 3 km – 1 km ve 9 km – 3 km – 1 km – 500 m yatay çözünürlüğe sahip olarak düzenlenmişlerdir

Çizelge 6.1 : Örnek sınıflandırma yöntemi.

Model Yatışma Süreleri	Girdi Verisi	Alan Sayısı	SST Değişim	Coğrafi Girdi Verisi	Grid Nudging	Fiziksel Parametrizasyonların Değişim Numarası	Benzetim adı
1	GFS	3 alan	+ 0 °C	MODIS	Yok	1	1G30MY1

[illegible]

Şekil 6.1 : Çalışmada kullanılan benzetimlerin içerikleri ve adları.

Fiziksel parametrizasyonlardaki değişikliklere bakıldığında, kümölüs fiziksel parametrizasyonunun “*Kain-Fritsch*” şeması olarak seçildiği ve yalnızca ana alan için uygulandığı göröllebilir. Şekil 6.2 incelendiğinde, tüm fiziksel parametrizasyon değişimlerine ulaşılabilir. Bu amaçla mikrofizik (mp), atmosferik sınır tabakası (bl_pbl), uzun dalga boylu radyasyon (ra_lw), kısa dalga boylu radyasyon (ra_sw), arazi yüzeyi (sf_surface), yüzey katmanı (sf_sfclay) parametrizasyonlarında değişiklikler yapılmıştır. Mikrofizik parametrizasyonu için “*Thompson Graupel*”, “*Morrison 2-Moment*”, “*WDM 6-Class*” şemaları kullanılmıştır. Atmosferik sınır tabakası parametrizasyonu için “*YSU*” ve “*Mellor-Yamada-Janjic (ETA) TKE*” şemaları uzun dalga boylu radyasyon fiziksel parametrizasyonu için “*RRTM*” ve “*RRTMG*” şemaları; kısa dalga boylu radyasyon için olan fiziksel parametrizasyonlarında “*Goddard Kısa Dalga*” ve “*RRTMG*” şemaları kullanılmıştır. Arazi yüzeyi fiziksel parametrizasyonu için “*Termal Difüzyon*” ile “*Noah Arazi Yüzeyi Modeli*” şemaları; yüzey katmanı için olan fiziksel parametrizasyonda ise, “*Monin-Obukhov Benzerliği*” ve “*Monin-Obukhov (Janjic Eta) Benzerliği*” şemaları kullanılmıştır.

Kontrol deneyinde, “*Thompson Graupel*” mikrofizik, “*YSU*” atmosferik sınır tabakası, “*RRTM*” uzun dalga boylu radyasyon, “*Goddard Kısa Dalga*” kısa dalga boylu radyasyon, “*Termal Difüzyon*” arazi yüzeyi ve “*Monin-Obukhov Benzerliği*” yüzey katmanı fiziksel parametrizasyon şemaları kullanılmıştır ve Çizelge 6.1’de sarı ile işaretlenmiştir.

Bahsedilen yöntemlerin ışığında, İzmir’de gerçekleşmiş olan kısa süreli şiddetli yağışın hazırlanan 39 farklı benzetim ile hesaplanabilirliği irdelenmiştir. Söz konusu olayın, benzetimlerin başlangıç ve sınır koşulları ile hesaplama yöntemlerine ne kadar bağlı olduğu ve ne kadar iyi ifade edebildiği benzetimlemeye çalışılmıştır. Hesaplama sonuçları İzmir’deki çeşitli Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait meteoroloji istasyonlarından alınan gözlem verileri ile; elde edilen diğer çıktılar radar, uydu görselleri ile karşılaştırılmıştır.

7. WRF-ARW SİMÜLASYON SONUÇLARI

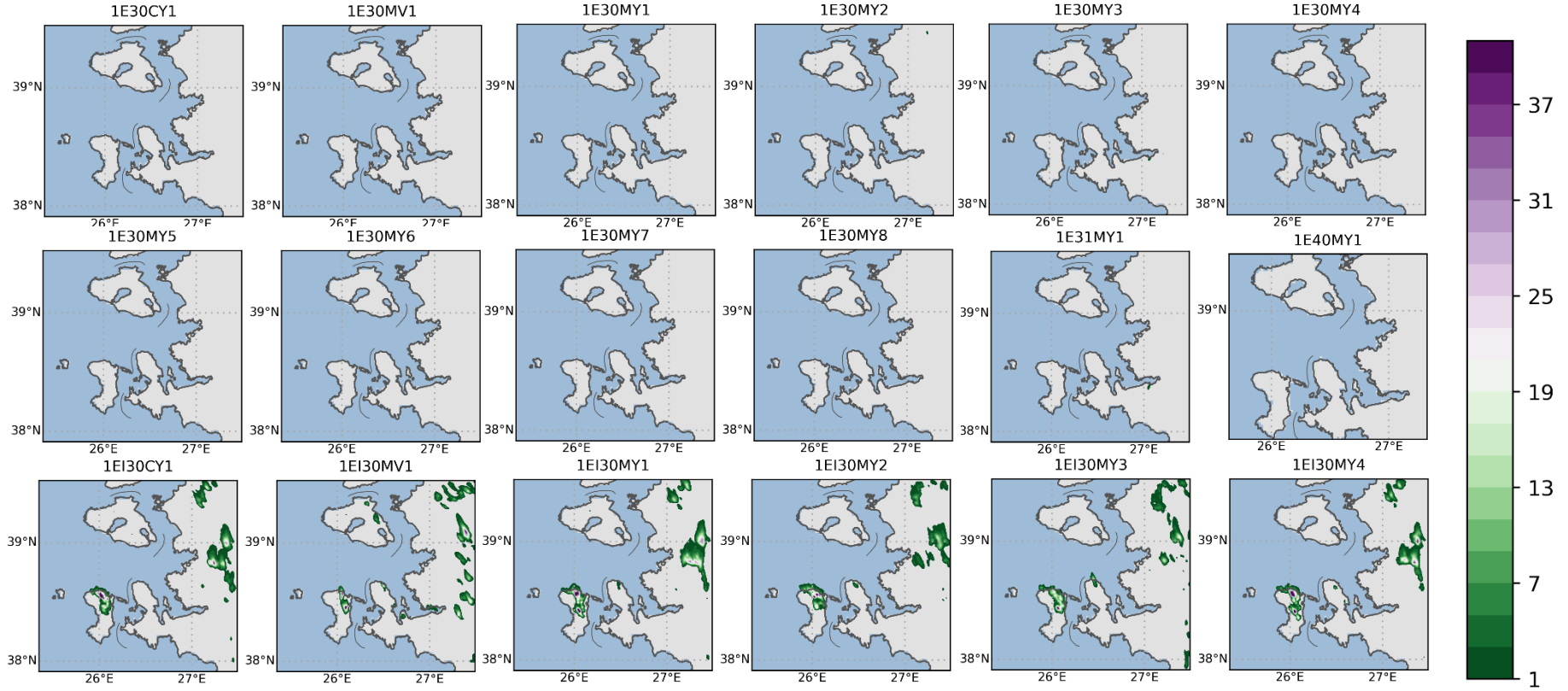
20 Mayıs 2015 tarihinde İzmir’de etkili olan yağış, 4. bölümde yapılan analizde görülmektedir. Bu bölümde, yapılan düzenlemelere bağlı elde edilen benzetim çıktıları, başta yağış değerleri olmak üzere, irdelenmiştir. Düşük şiddette yağış üreten 3 benzetim çıktısı hariç geri kalan 36 sonuç, İzmir üzerindeki olayı hesaplayamamıştır.

7.1 Yağış

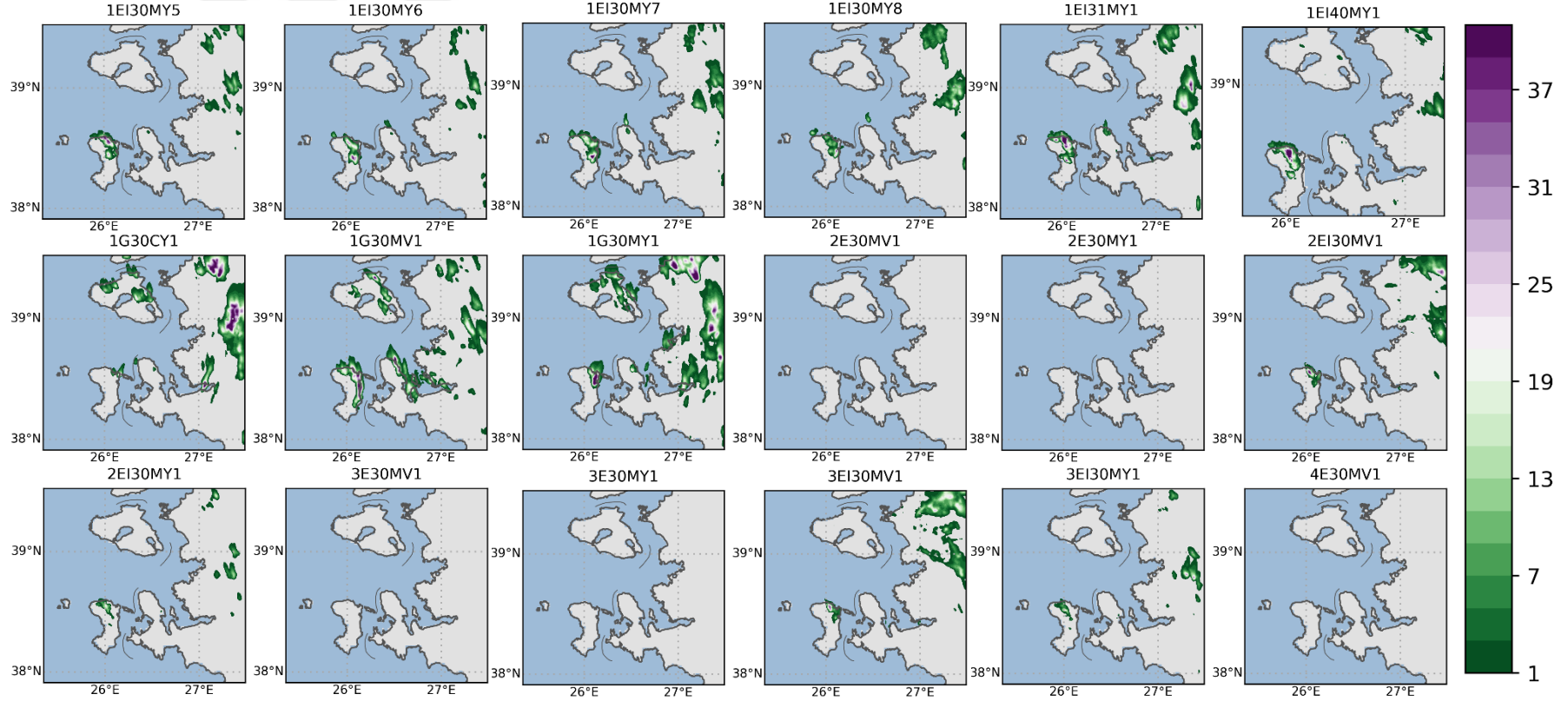
Şekil 7.1’de WRF-ARW benzetimlerinden elde edilen günlük toplam yağış görselleri karşılaştırılmıştır. Kullanılan girdi ile topoğrafya verilerine, seçilen fiziksel parametризasyonlara, yatay çözünürlük, model yatışma süreleri, deniz yüzeyi sıcaklığındaki değişikliklere ve “*grid nudging*” uygulanıp uygulanmama durumlarına göre irdelenecektir.

Bölüm 4 içerisindeki radar görsellerine bakıldığında 15.00 TSİ ve sonrasında İzmir Körfezi’nde şiddetli yağışların olduğuna, ilerleyen zamanlarda yağışın daha kuzeydeki Aliağa’ya doğru ilerlediğine ulaşılabılır. Benzer şekilde, Edremit üzerinde 17.00 TSİ civarında şiddetli yansıma değerleri görülmektedir.

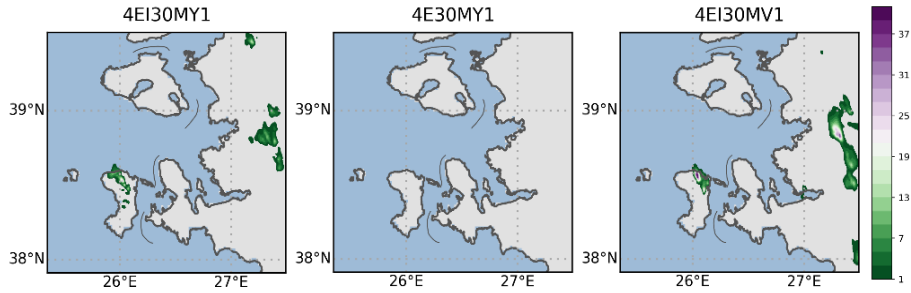
“Veri” başlığı altında veriler arasındaki farklara değinilmişti. Tekrar irdelemek gerekirse en fazla atmosferik katman sayısı 137 ile ERA5 ve 60 ile ERA-Interim çıktılarına aitken, 47 düşey seviye ile GFS en az seviyeye sahip model çıktısı olmaktadır. En yüksek yatay çözünürlüklü olan ERA5 yaklaşık 31 km iken, GFS yaklaşık 60 km ve ERA-Interim yaklaşık 79 km’ye denk gelmektedir. Girdi verilerinin deniz yüzeyi sıcaklıkları incelendiğinde ERA5 ile ERA-Interim için deniz yüzeyi sıcaklığının İzmir Körfezi’nde 19 °C ile 20 °C; GFS için ise 21 °C ile 22 °C arasında olduğuna ulaşılmaktadır (Şekil 7.2). Şekil 7.1’deki görsellere bakıldığında girdi verilerine bağlı olarak gözle görünür farklılık bulunmaktadır. ERA5 ile yapılan hesaplamaların en iç alanlarında (d03 / d04), hem olayın geçtiği yer olan İzmir Körfezi’nde hem de tüm alan içerisinde yağış şiddeti daha yükseğe çıkamamıştır. Ancak ERA-Interim ve GFS verisi kullanılarak üretilen sonuçlar için aynı alanlara ba-



Şekil 7.1 : WRF-ARW modeli ile yapılan benzetimlerin 20 Mayıs 2015 tarihi için mm/gün cinsinden toplam yağmur sonuçları karşılaştırılması. Her benzetimin üstünde adlandırması, en sağda ise yağış miktarlarını gösteren renk ölçeği belirtilmiştir.

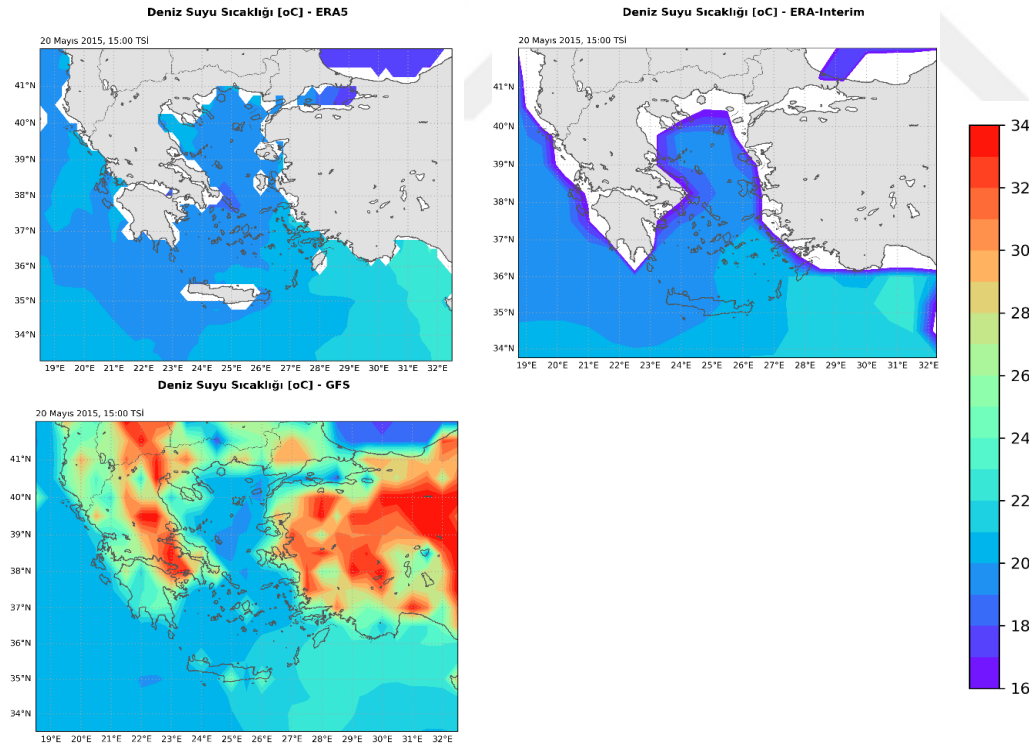


Şekil 7.1 (devam) : WRF-ARW modeli ile yapılan benzetimlerin 20 Mayıs 2015 tarihi için mm/gün cinsinden toplam yağmur sonuçları karşılaştırılması. Her benzetimin üstünde adlandırması, en sağda ise yağış miktarlarını gösteren renk ölçeği belirtilmiştir.



Şekil 7.1 (devam) : WRF-ARW modeli ile yapılan benzetimlerin 20 Mayıs 2015 tarihi için mm/gün cinsinden toplam yağmur sonuçları karşılaştırılması. Her benzetimin üstünde adlandırılması, en sağda ise yağış miktarlarını gösteren renk ölçeği belirtilmiştir

kıldığında, özellikle körfez dışındaki bölgeler için, 10 mm/gün değerinden daha yüksek yağış değerleri mevcuttur. ERA-Interim ile yapılan benzetimlerde İzmir'in merkezini de içeren körfez civarında yağış üretilemezken, merkezin daha kuzeyi ile Sakız Adası'nda benzer alanlar için ERA-Interim ile yapılan benzetimlerde İzmir Körfezi'nde yağış üretilenmemiş ancak, daha kuzeyinde kalan bölgeler ile Sakız Adası'nda yağış görülmektedir. Yalnızca GFS ile üretilen sonuçlar, olayın geçtiği bölgeye yakın alanlarda şiddetli yağış üretilmiştir.



Şekil 7.2 : ERA5 ve ERA-Interim girdi verileri için deniz yüzeyi, GFS girdi verileri için yüzey sıcaklıkları görselleri. ERA5 ile ERA-Interim benzer sıcaklık değerlerine sahipken, GFS daha sıcak deniz yüzeyi değerine sahiptir.

Her girdi verisi, özellikle en iç alanlarda yağış ürettiği için ERA-Interim ile GFS, kendi içinde incelendiğinde benzetimler arasında farklılıklar görülmektedir. ERA-Interim ve ERA5 ile yapılan hesaplamalarda daha fazla kombinasyon denendiği için; ERA-Interim kullanılarak elde edilen sonuçlar, GFS kullanılarak üretilenlere göre daha fazla değişikliği kapsamaktadır. Her iki ERA verisi ile yapılan benzetimlerde, CORINE ile MODIS uydu verilerine bağlı olarak üretilen arazi kullanım verileri; “*Thompson Graupel*” (8), “*Morrison 2-Moment*” (10), “*WDM 6-Class*” (16) mikrofizik (mp) şemaları; “*RRTM*” (1), “*RRTMG*” (4) uzun (ra_lw) ile “*Goddard Kısa Dalga*” (2), “*RRMTG*” (4) kısa dalga boylu radyasyon (ra_sw) şemaları; “*YSU*” (1), “*Mellor-Yamada-Janjic TKE*” (2) atmosferik sınır tabakası (pbl) şemaları; “*Monin-Obukhov Benzerliği*” (1) “*Monin-Obukhov (Janjic-Eta) Benzerliği*” (2) yüzey katmanı (sf_sfclay) şemaları ile “*Termal Difüzyon*” (1) ve “*Noah Arazi Yüzeyi Modeli*” (2) arazi yüzeyi (sf_surface) şemaları denenmiştir. Ayrıca olay gününden 1, 2, 3, 4 gün öncesinden benzetimler başlatılmış ve model yatışma sürelerine göre olan; yatayda 1 km ve 0,5 km olmak üzere çözünürlüklerine bağlı; deniz yüzeyi sıcaklıklarına ve “*grid nudging*” yapılma durumuna göre gerçekleşen değişiklikler incelenmiştir. GFS için ise CORINE, MODIS farklılığına; “*grid nudging*” yapılıp yapılmamasına bağlı olarak gerçekleşen değişikliklerine bakılmıştır (Şekil 7.1).

CORINE verisi, MODIS verisine oranla daha güncel bilgiye sahip olduğu için kentsel alanlar daha geniş bir yer tutmaktadır. Arazi kullanımında yapılan değişikliklere bağlı gerçekleşen benzetimlerin fiziksel parametризasyonları, kontrol deneyindeki şemaları içermekle beraber; 1 günlük model yatışma süresi (spin-up time) kullanılmış, deniz yüzeyi sıcaklığında değişiklik yapılmamış ve “*grid nudging*” uygulanmamıştır. ERA-Interim için, şekil 7.1’deki 1EI30CY1 benzetim CORINE ve 1EI30MY1 benzetim MODIS verisi; GFS için ise şekil 7.1’deki 1G30CY1 benzetim CORINE ve 1G30MY1 benzetim MODIS verisi kullanılarak yapılan çıktılar olmaktadır. ERA-Interim ve CORINE kullanılan sonuçta yağış Sakız Adası ile Aliağa’nın kuzeyinde bulunmaktadır. Sakız Adası’ndaki yağış değerleri, 40 mm/gün ve üzerinde iken; Aliağa ve onun daha kuzeyindeki iç bölgelerdeki yağış 30 mm/gün kadar bir değere sahiptir. MODIS ile olan sonuçlara bakıldığında en yüksek yağış, Sakız Adası’nda gerçekleşmiştir. Aliağa ve onun daha kuzeyindeki iç bölgelerde de yağış mevcutken, 25 mm/gün kadar bir değere sahiptir. Her iki sonuç için de en yüksek yağış, Sakız Adası’nda olmuştur. GFS ile CORINE çözümlemesine bakıldığında,

diğer GFS sonuçlarına göre hem İzmir Körfezi'nde hem de Aliğa ve daha iç bölgelerinde en yüksek yağış değerlerini üretmiştir. GFS ile MODIS verilerinin birlikte kullanılması ile en yüksek yağış değerlerinde bir azalış mevcuttur ancak, Sakız Adası'nda düşük miktarda yağış bulunmaktadır. MODIS ile üretilen sonuçta, Midilli Adası üzerinde daha fazla yağış oluşmuştur. Şekil 4.13'teki 12.30 UTC ile şekil 4.14'teki 13.00 UTC saatlerine ait radar yansıtma değerlerine bakıldığında, bahsedilen 4 benzetimde de Sakız Adası ile Aliğa ve iç bölgelerindeki yağışı hesapladığına; yalnızca GFS ile olan sonuçlarda olay konumunu içeren bölgede ve daha belirgin bir şekilde Midilli Adası üzerinde yağış görüldüğüne ulaşılabilir. Bahsedilen çözümlemelerden yağış şiddetini en iyi CORINE ile olan benzetimden elde edilirken, MODIS ile olan sonuçlar yağış alanlarını daha iyi göstermiştir.

“Thompson Grapuel”, “Morrison 2-Moment” ile “WDM 6-Class” mikrofizik şemaları artan karmaşıklık derecelerine göre sıralıdır. Burada en kapsamlı hesaplama yapan mikrofizik şeması “WDM 6-Class” olmaktadır. 2. bölüm içerisinde ve Mikrofizik başlığı altında, daha ayrıntılı bilgiye ulaşılabilir. ERA5 ile olan benzetimlerden yağış değerleri elde edilemediği için mikrofizik şemaları, ERA-Interim girdi verisi ile olan benzetimlere göre değerlendirilecektir. Hazırlanan benzetimlerin kurulumunda MODIS topoğrafya verisi, “RRTMG” uzun ile kısa dalga boylu radyasyon şeması, “Mellor-Yamada-Janjic TKE” atmosferik sınır tabakası şeması, “Monin-Obukhov (Janjic Eta) Benzerliği” yüzey katmanı şeması ile “Noah Arazi Yüzeyi Modeli” şeması kullanılmış; 1 günlük model yatışma süresi ile 1 km yatay çözünürlükte olarak hesaplanmıştır. Ayrıca “grid nudging” yapılmamış ve deniz yüzeyi sıcaklığında sıcaklık artışı söz konusu değildir. Bu bağlamda incelendiğinde ERA-Interim girdi verisi; “Thompson Grapuel” mikrofizik şeması ile 1EI30MY5, “Morrison 2-Moment” mikrofizik şeması ile 1EI30MY6, “WDM 6-Class” mikrofizik şeması ile 1EI30MY7 benzetimlerinde kullanılmıştır (Şekil 7.1). Üç sonuçta da yağış örüntüsü benzer bir görsele sahiptir. Sakız Adası üzerinde ve Aliğa'nın iç kesimlerinde yağış hesaplanmış ancak şiddetleri radar değerleri ile karşılaştırıldığında; Sakız Adası için yüksek, Aliğa için görece daha benzer sonuçlar olduğu görülmektedir. “WDM 6-Class”, İzmir Körfezi'ndeki gerçekleşen olayı hiçbiri hesaplayamamıştır. “Thompson” ile “WDM 6-Class” arasında bir sonuç üreten “Morrison 2-Moment” şeması, en yüksek yağış değerleri karşılaştırıldığında diğer iki şema sonucuna göre, radardan elde edilen yağış değerlerine daha uygundur. Ancak kapladığı alan olarak incelendiğinde “WDM 6-

Class” şeması daha uyumlu örüntüye sahiptir. Sakız Adası’na bakıldığında “*Morrison 2-Moment*” ile “*WDM 6-Class*” şemaları radarla benzer yağış merkezini işaret ederken “*Thompson Graupel*”, yağış merkezini daha kuzeyde göstermiştir.

Tüm değişiklikler içinde “*RRTM*” (uzun dalga boylu radyasyon) ve “*Goddard Kısa Dalga*” (kısa dalga boylu radyasyon) ile “*RRTGM*” (uzun – kısa dalga boylu radyasyon) şemaları beraber kullanılmıştır. Fiziksel parametrisasyonlar ve yapılan uygulamalar, kontrol deneyindeki gibi olmakla beraber yalnızca radyasyon şemalarında değişiklik yapılan görseller karşılaştırılmıştır. ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimler, alan içerisinde neredeyse hiç yağış üretememiştir. Bu sebeple ERA-Interim ile yapılan değişiklikler irdelenecektir. “*RRTM*” şeması ve “*Goddard*” şemasının kullanımı ile 1EI30MY1, “*RRTMG*” şemalarının kullanımı ile 1EI30MY3 benzetimleri oluşturulmuştur. Her iki kurulumda İzmir Körfezi’nde ve istenilen yerde yağış olmamasına rağmen, geri kalan bölgelerdeki yağış örüntüsü birbirlerine çok benzerdir. Ancak, “*RRTM*” ile “*Goddard*” şemalarının birlikteliğinde yağış değerleri daha geniş alanda üretilmişken; “*RRTMG*” şemalarından elde edilen sonuçlar daha şiddetli ancak daha kısıtlı bir bölge için yağış üretmiştir. En uyumlu sonucu 1EI30MY3 benzetimi vermektedir. “*RRTM*” ile “*RRTMG*” birbirleri ile ilişkili şemalar olduğu için, çıktılarda çok büyük değişiklik beklenmemektedir. Burada en fazla farklılığa sebep olabilecek etken “*Goddard*” ile “*RRTMG*” kısa dalga boylu radyasyon şemaları arasındaki fark olabilir. Daha önceden de bahsedildiği gibi, “*Goddard*”, “*RRTMG*” çözümleme şemasına göre spektral bant aralığı daha dardır.

Bölüm 2’de de belirtildiği üzere, “Termal Difüzyon” toprak katmanının 16 cm ve altını sabit sıcaklık değeri olarak alırken; “*Noah Arazi Yüzeyi Modeli*” şeması toprağı daha kalın bir tabakada incelemektedir. Ayrıca atmosferik sınır tabakaları irdelendiğinde, “*Mellor-Yamada-Janjic*” çözümleme şeması, daha yüksek dereceden hesaplama yapmaktadır. ERA5 ile ERA-Interim girdi verileri ile yapılan benzetimlerde, “Termal Difüzyon” arazi yüzeyi ile “*YSU*” atmosferik sınır tabakası ve “*Noah Arazi Yüzeyi Modeli*” arazi yüzeyi ile “*Mellor-Yamada-Janjic TKE*” atmosferik sınır tabakası çözümleme şemaları birlikte kullanılmıştır. 1EI30MY2 benzetimi ile 1EI30MY3 benzetim ERA-Interim girdi verisi ile üretilmiştir (Şekil 7.1). Yapılan çıktılara bakıldığında genel örüntünün benzer olduğuna ulaşılır. İzmir Körfezi üzerindeki yağış, bu değişiklikler ile hesaplanamamıştır. Ancak özellikle Sakız Adası’ndaki en yüksek yağışın olduğu konuma bakılırsa, “*Noah Arazi Yüzeyi Modeli*” arazi yüzeyi ile

“Mellor-Yamada-Janjic TKE” atmosferik sınır tabakası çözümleme şemalarına ait kurulumun radar görselleri ile daha uyumlu olduğu görülebilir. Aliğa ve doğusundaki karasal bölgelerde, 1EI30MY3 benzetimi daha yüksek miktarda yağış değeri üretmiş; 1EI30MY2 benzetimi ise daha geniş alanda yayılım göstermiştir.

ERA5 ile ERA-Interim girdi verileri ile yapılan benzetimlerde, yüzey tabakası çözümleme şemaları için değişiklik yapılmıştır. GFS girdi verisi için bu durum söz konusu değildir. Ancak ERA5 ile anlamlı miktarda yağış üretilmediği için ERA-Interim girdi verilerine ait 1EI30MY1 ve 1EI30MY2 çözümlemeleri incelenebilir. 1EI30MY2 benzetiminde “Monin-Obukhov (Janjic Eta) TKE” şeması kullanılırken; 1EI30MY1 benzetiminde ise “Monin-Obukhov” çözümleme şeması kullanılmıştır (Şekil 7.1). Her iki çözümlemedeki yağış görsellerinin birbirine genel olarak benzediğine ancak, “Monin-Obukhov” yüzey tabakası şeması kullanılan benzetim olan 1EI30MY1’de daha fazla yağış üretildiğine ulaşılabilir. Sakız Adası ve Aliğa’nın iç kesimlerinde daha şiddetli yağış bırakmasıyla beraber daha geniş alanlarda yağış göstermiştir. Bu benzetimlerde de İzmir Körfezi’nde yağış elde edilememiştir.

ERA-Interim girdi verisi için kontrol deneyinin fiziksel parametrizasyonları ile hazırlanan 1EI30MY1, 2EI30MY1, 3EI30MY1, 4EI30MY1 benzetimleri sırayla 1’den 4 güne kadar olmak üzere model yatışma süresi ile hesaplanmıştır (Şekil 7.1). Aynı şekilde kurulumu yapılan ancak “grid nudging” da yapılan 1EI30MV1, 2EI30MV1, 3EI30MV1, 4EI30MV1 benzetimleri Şekil 7.1’de görülmektedir. Öncelikle “grid nudging” yapıp yapılmama durumlarına göre karşılaştırıldığında İzmir Körfezi’nde ve istenilen bölgede, yağış üretilemezken; “grid nudging” hesaplamaları genel olarak yağış değerlerinde artışa sebep olmuştur. 1EI30MV1 ile 1EI30MY1 benzetimlerine bakıldığında, “grid nudging” yapılan sonuçta daha yayılmış örüntüye sahip yağış dağılımına ulaşılmaktadır. Sakız Adası üzerindeki yağış değerlerinde azalma söz konusudur. Ayrıca İzmir Körfezi’nde Karşıyaka civarına denk gelen bölgede, 5 mm/gün değerinden daha az bir miktarda yağış hesaplayabilmiştir. Karşıyaka için uyumlu bir yağış değeri olsa da körfezin genelindeki yağışa bakıldığında elde edilmesi beklenen değer çok altındadır. Benzer bir durum “grid nudging” yapılmayan benzetimde söz konusu değildir. Yağış, Sakız Adası’nda daha yoğun gerçekleşmiştir. Aliğa’nın iç kesimlerinde “grid nudging” yapılmayan sonuçta daha geniş bir alanda ama daha az bir şiddetle elde edilmiş. Radar

yansıtma değerlerine bakıldığında, her ikisinin bahsedilen bölgeler için yüksek değerler ürettiği görülür. Model yatışma süresi 2 güne çıktığında benzer bölgeler için yağış şiddetlerinde azalma söz konusudur. “*Grid nudging*” hesaplaması yapılan benzetim, 1EI30MV1 benzetiminde görülen İzmir Körfezi’ndeki yağışı daha güneyde ve daha az şiddette hesaplar; Sakız Adası’ndaki yağışı daha kuzeyde hesaplamıştır. 2EI30MY1 olan hesaplamada ise yağış miktarında daha belirgin bir azalış söz konusudur. Model yatışma süresi 3 güne çıktığında, 3EI30MV1 çözümlemesindeki yağış değerleri 2EI30MV1 benzetiminden çok farklı bir değere sahip değildir. Aralarındaki en belirgin fark alanın kuzeydoğusunda kalan kesimdeki yağış alanı dar bir bölgeden daha geniş bir bölgeye yayılmasıdır. Model yatışma süresi 4 güne ulaştığında ise sonuçlar daha da farklılaşmaktadır. Diğer üç günde kuzey doğu bölgesinde hesaplanan yağış değerleri 4EI30MV1 benzetiminden elde edilememiştir ancak, Aliğa’nın iç kesimlerinde daha şiddetli ve geniş alanlara ulaşan yağışlara sebep olmuştur. 4EI30MY1 benzetiminde de kuzeydoğu bölgesinde yağış değerlerinde azalış olmuştur. Sakız Adası’ndaki yağış değeri artarken, Aliğa’nın iç kesimlerindeki yağış değerlerinde düşüşe neden olmuştur. Genel olarak karşılaştırma yapılırsa, ERA-Interim için en gerçekçi yağış örüntüsü “*grid nudging*” yapılan benzetimlerden elde edilirken; yine yağış örüntüsüne bakıldığında en uygun sonucu 1 günlük model yatışma süresine sahip olan benzetimler vermiştir. Ancak, yine de yeterli sonuca ulaşamamıştır.

GFS girdi verisi ile “*grid nudging*” yapılmıştır (1G30MV1). Buradaki yağış değerleri ile ERA-Interim ile yapılan benzetim sonucu karşılaştırıldığında (1EI30MV1); GFS ile olanda özellikle Sakız Adası ve Karaburun Yarımadası’nda olması gerekenden daha yüksek yağış değerleri üretildiği ancak, İzmir Körfezi’nde 5 mm/gün değerinden daha az yağış bırakan ERA-Interim sonucunda göre çok daha yüksek değerde yağışa sebep olduğu anlaşılır. “*Nudging*” olup olmama durumu değerlendirildiğinde ise; 1G30MY1 benzetimi, 1G30MV1 benzetimine göre örüntüsü daha uyumlu yağış değerleri üretebilmiştir. Yağış Karaburun Yarımadası’ndan geçerek körfeze ulaşabilmiştir.

ERA5 ile ERA-Interim girdi verileri ile oluşturulan kontrol deneyi kurulumundaki benzetimler için deniz yüzeyi sıcaklığında 1 °C artış yapılmıştır. ERA5 üzerinde anlamlı bir yağış gerçekleşmediği için ERA-Interim girdi verileri ile olan benzetim karşılaştırmaları yapılmıştır. 1EI31MY1 benzetiminde İzmir Körfezi’nde 5 mm/gün

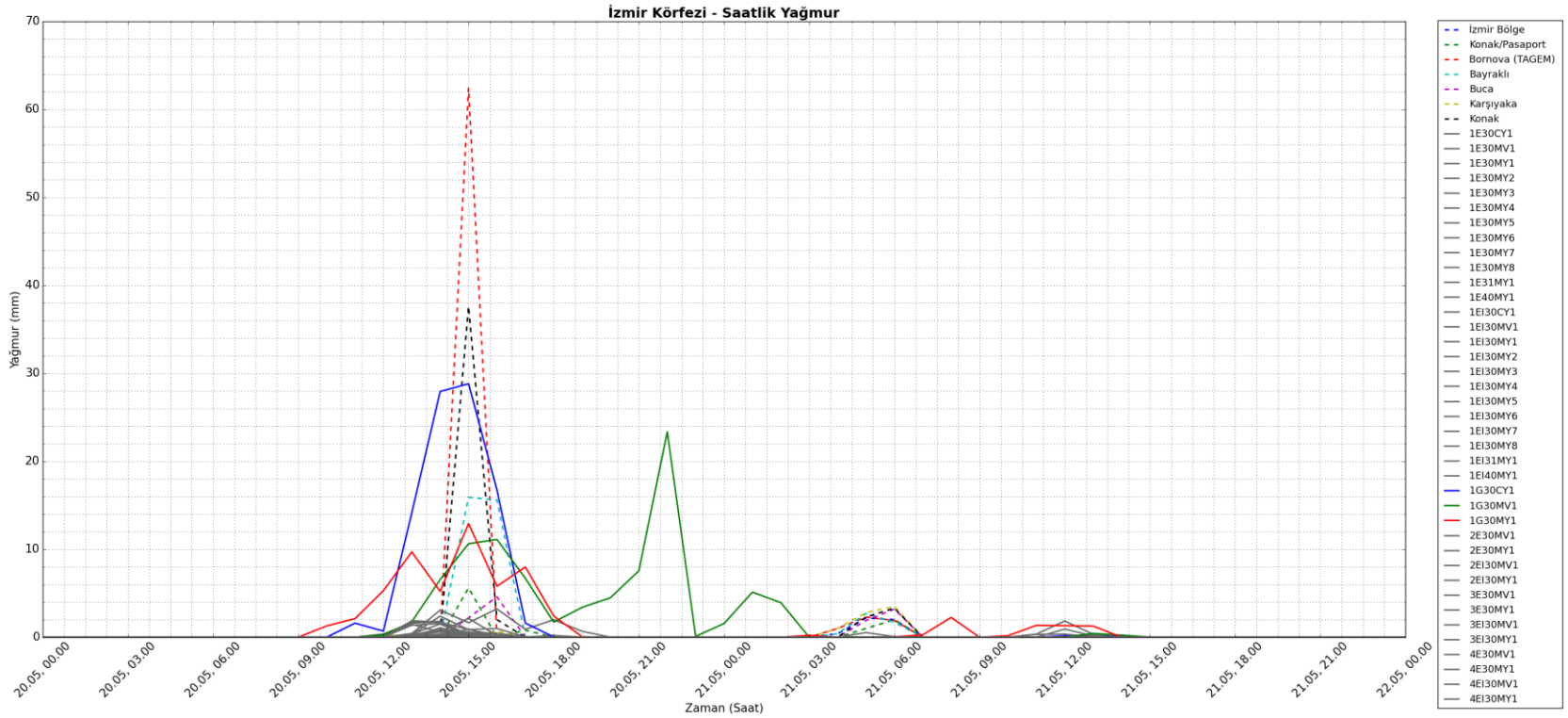
altında yağış değeri elde edilirken, bu durum deniz yüzeyi sıcaklığı artırılmamış benzetiminde söz konusu bile değildir. Onun dışında yağış örüntüleri birbirilerine benzemektedir. Bu bağlamda, deniz yüzeyi sıcaklığının yağış üzerindeki olumlu etkisinden söz edilebilir.

ERA5 ile ERA-Interim ile yapılan benzetimlerden 1E40MY1 ile 1EI40MY1 olanlar, 4 alanlı üretilmiş olup en iç alandaki yatay çözünürlük $0,5 \text{ km} \times 0,5 \text{ km}$ 'dir. Geri kalan 37 simülasyonlarda kurulumlar 3 alan üzerinden yapılmış olup en iç alanlarındaki yatay çözünürlük $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ olacak şekilde üretilmiştir. Bu sonuçlardan 1EI40MY1 ve 1EI30MY1 karşılaştırıldığında en iç alan çözünürlüğü $0,5 \text{ km}$ olan 1EI40MY1 hesabındaki yağış, Sakız Adası'nda kalmış ve daha doğuya ilerleyememiştir. Bu sebeple 1 km yatay çözünürlüğe sahip benzetimler daha doğru sonuç vermiştir. ERA5 girdi verisi ile çözümlenen benzetimlerde yağış değerleri olmadığı için karşılaştırma yapılmamıştır.

Benzetim sonuçlarındaki alansal kaymaların etkisini en aza indirebilmek amacıyla İzmir Körfezi'nde yaklaşık $30 \text{ km} \times 25 \text{ km}$ 'lik alana sahip bir bölge seçilmiştir. Bu bölge şekil 7.3'te çerçeve ile belirtilmiş olup, alan içerisindeki en yüksek yağışlar alınarak şekil 7.4'te zaman serisi olarak istasyonlarla karşılaştırılmalı olarak çizdirilmiştir.



Şekil 7.3 : İzmir Körfezi'nde kullanılan MGM istasyonların konumları ve alansal kaymaların etkisini azaltabilmek amacıyla seçilen bölge pembe çerçeve içerisinde belirtilmiştir (Google, 2021).



Şekil 7.4 : 20 Mayıs 2015 00.00 TSİ -22 Mayıs 2015 00.00 TSİ tarih aralığı için seçilen bölge içerisinde üretilen, saatlik en yüksek yağış değerleri ile şekil 7.3'te belirtilen MGM meteoroloji istasyonlarından (MGM, 2020c) gelen saatlik yağış verilerinin karşılaştırılması.

Kesikli çizgilerle ifade edilen sonuçlar istasyonlardan gelen bilgileri ifade ederken, kesikli olmayan çizgiler benzetim sonuçları olmaktadır. Daha kolay anlaşılabilmesi için, en yüksek yağış değerleri 5 mm/saat değerinin altında kalan benzetim sonuçları gri renk ile belirtilmiştir. Mavi eğri GFS ve CORINE, kırmızı eğri GFS ve kontrol deneyi kurulumu, yeşil olan eğri ise GFS ve “*grid nudging*” yapılmış olan benzetimleri belirtmektedir.

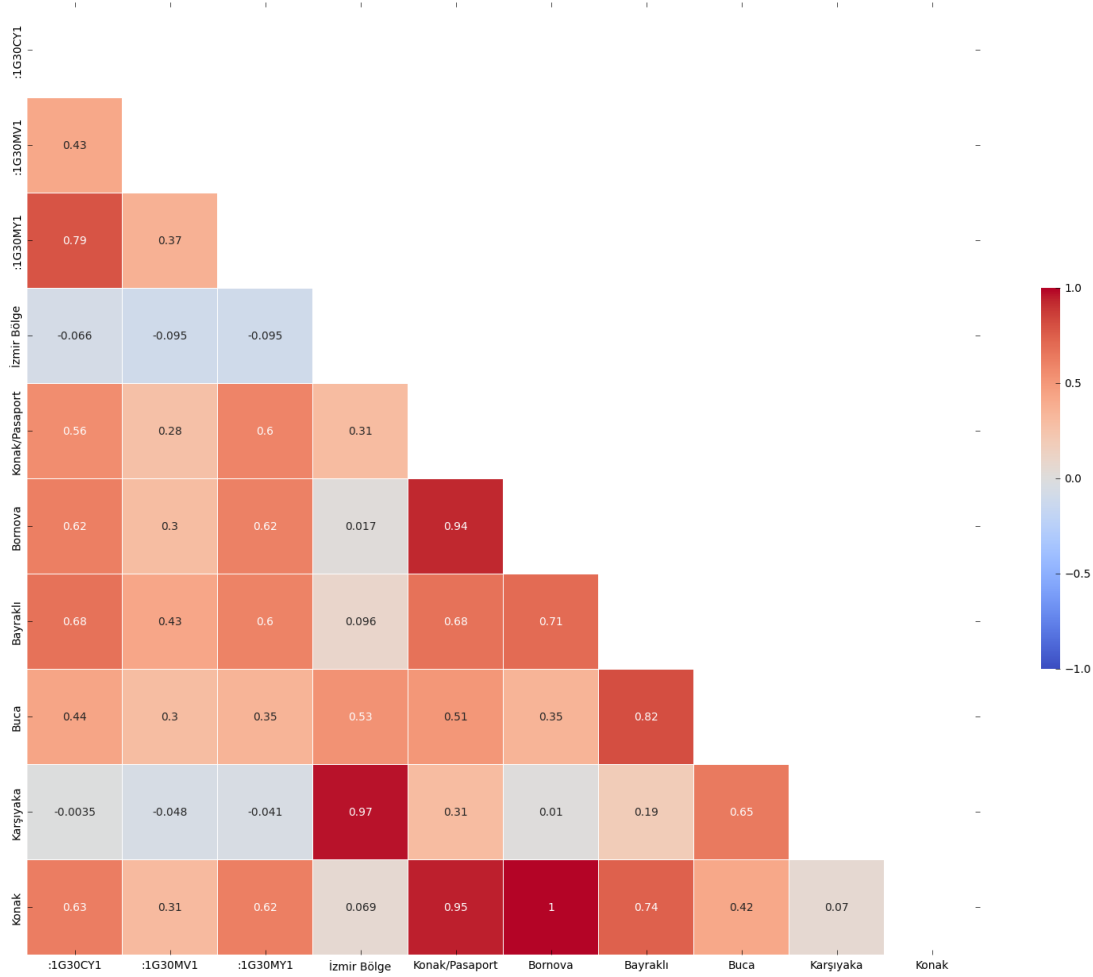
Benzetim	1E30CY1	1E30MV1	1E30MY1	1E30MY2	1E30MY3	1E30MY4	1E30MY5	1E30MY6	1E30MY7
En Yüksek Yağış	0,829	0,000	0,310	0,329	2,148	1,076	0,913	0,523	0,014
Benzetim	1E30MY8	1E31MY1	1E40MY1	1EI30CY1	1EI30MV1	3E30MV1	3E30MY1	4E30MV1	4E30MY1
En Yüksek Yağış	0,000	2,395	0,767	0,035	3,219	0,003	0,004	0,006	0,001
Benzetim	1EI30MY1	1EI30MY2	1EI30MY3	1EI30MY4	1EI30MY5	1EI30MY6	1EI30MY7	1EI30MY8	1EI31MY1
En Yüksek Yağış	1,502	0,067	0,930	0,863	0,109	0,020	1,847	0,015	1,812
Benzetim	1EI40MY1	2E30MV1	2E30MY1	2EI30MV1	2EI30MY1	3EI30MV1	3EI30MY1	4EI30MV1	4EI30MY1
En Yüksek Yağış	1,488	0,013	0,136	1,577	0,173	1,864	0,043	1,768	0,008
Benzetim	1G30CY1	1G30MV1	1G30MY1						
En Yüksek Yağış	28,817	23,354	12,913						

Şekil 7.5 Gerçekleştirilen benzetimlerden elde edilen şekil 7.4’teki sonuçlar için saatlik en yüksek yağış değerleri.

Şekil 7.5’e bakıldığında ERA-Interim ve ERA5 ile yapılan benzetim sonuçlarının 0 ile 5 mm/saat arasında olduğuna ulaşılabılır. Şekil 7.3’teki 20 Mayıs 2015 00.00 TSİ ile 22 Mayıs 2015 00.00 TSİ tarihleri arasını kapsayan; saatlik yağışları gösteren meteoroloji istasyonlarından gelen ve benzetim sonuçlarından elde edilen zaman serisi değerleri, şekil 7.4’te mevcuttur. Görsel üzerinde saatlik en yüksek yağış değeri, 5 mm/saat’ten daha düşük şiddette olan benzetim sonuçları gri renk ile gösterilirken; bu değerin üzeridne saatlik en yüksek yağış değeri olan benzetim sonuçları ise renklendirilmiştir. Bu sebeple grafikte sadece GFS ile yapılan benzetimler belirgindir. GFS ile üretilen benzetimler açık ara bir fark ile yağış üretebilmişken; diğer girdi verileri ile üretilen sonuçlar yetersiz kalmıştır. ERA5 ile üretilen en yüksek sonuç, 2,395 mm/saat ile 1E31MY1 şeklinde adlandırılan ve deniz yüzeyi sıcaklığında 1 °C artış olan hesaplardan elde edilmiştir. Ona en yakın bir diğer benzetim sonucu ise 2,148 mm/saat ile 1E30MY3 iken kontrol deneyindeki kurulumdan farklı olarak “Mellor-Yamada-Janjic TKE” atmosferik sınır tabakası, “Monin-Obukhov (Janjic-Eta) Benzerliği” yüzey katmanı ve “Noah Arazi Yüzeyi Modeli” arazi yüzey şemaları kullanılmıştır. Model yatışma süreleri karşılaştırıldığında ise en yüksek sonucu, 0,310 mm/saat ile 1 gün öncesinden başlatılan benzetim vermiştir. ERA-Interim sonuçları karşılaştırıldığında, en yüksek sonuç 3,219 mm/saat ile 1EI30MV1 benzetiminde üretilmiştir. Deniz yüzeyi sıcaklığını arttırmak ERA-Interim için etkili bir sonuç üretmemiştir. Model yatışma süreleri incelendiğinde, ERA-Interim için yağış şiddeti açısından en iyi sonucu 1,864 mm/saat ile 3 gün öncesinden başlatılan benzetim vermiştir. Ancak sonuç, 5 mm/saat değerinin altında kalmıştır. Şekil 7.5’teki GFS girdi verileri ile elde edilen sonuçlara bakıldığında, üç benzetim de 10 mm/saat üzerinde bir değere ulaşabilmiştir. Burada en yüksek yağış şiddetini, 28,817 mm/saat (1G30MV1) ile “grid nudging” yapılmış olan hesaplama verirken, MODIS ile CORINE verileri

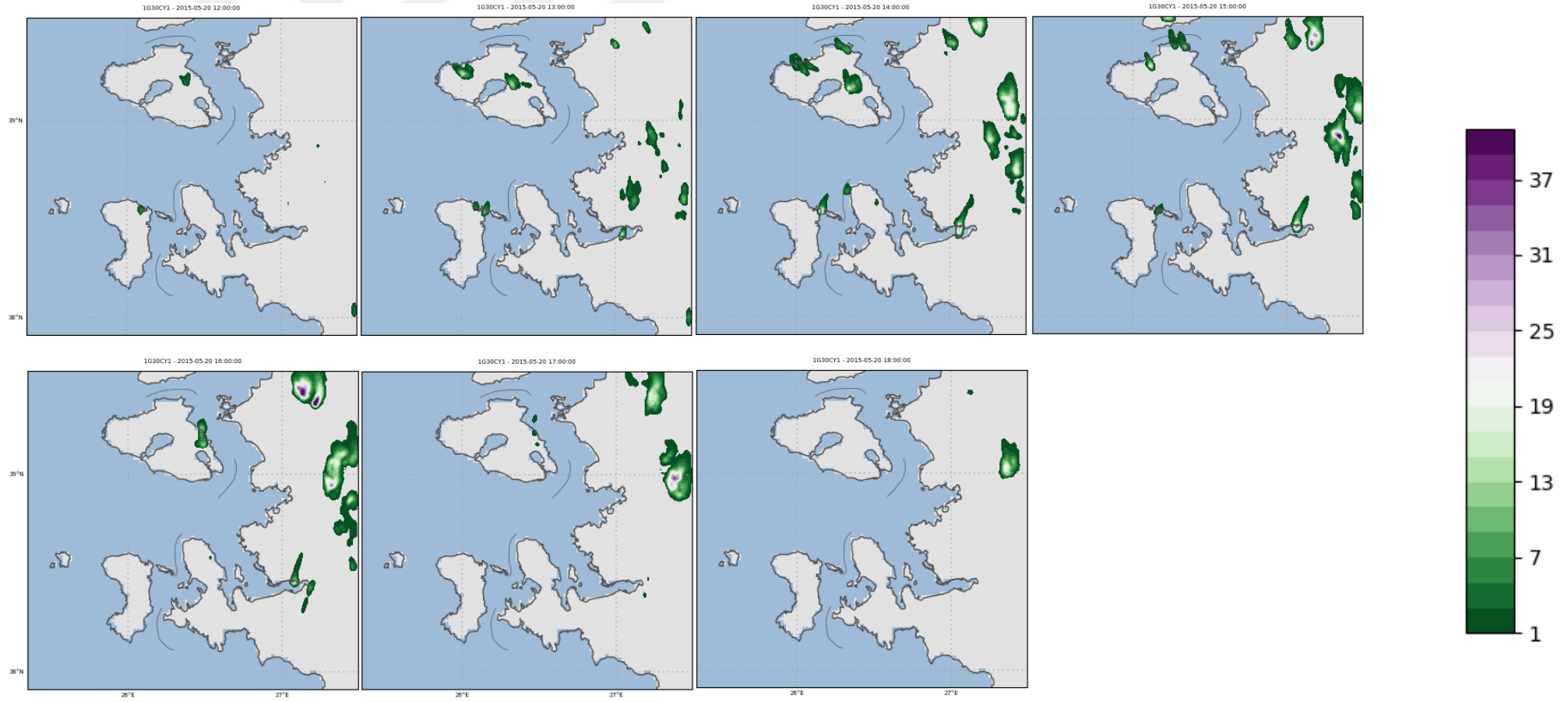
karşılaştırıldığında en iyi sonuca CORINE topoğrafya verisi kullanıldığında ulaşılmıştır. Her ne kadar şiddet olarak 60 mm/saat değerinden düşük sonuç üretse de 20 Mayıs 2015 14.00 TSİ ve 15.00 TSİ’de gerçekleşen yağışların toplamı yaklaşık 60 mm kadar olmaktadır. 1 saat içerisinde üretilmesi gereken şiddetteki yağış, belirlenen bölge içerisine 2 saat gibi bir sürede yağmıştır. Kontrol deneyi kurulumu kullanılan 1G30MY1 hesaplamasında ise en yüksek yağışın görüldüğü saat, olay saati ile tutarlı iken öncesindeki saatte ve sonrasındaki saatte de ani yağış üretmiştir. “*Grid nudging*” yapılmış benzetiminde en yüksek değeri işaret eden yağış, 22.00 TSİ olsa da olay saatinde 10 mm/saat ve üzerinde yağış hesaplayabilmiştir. Ancak, hiçbir Bornova’daki 60 mm/saat üzerindeki yağış değerine erişememiştir.

GFS ile yapılan benzetimler ile MGM meteoroloji istasyonlarından gelen sonuçlarını incelemek için Pearson korelasyonu değerlerine bakıldığında, şekil 7.6 elde edilir. Şekil 7.6’daki korelasyon matrisi model benzetimlerine ait yağış değerleri ile MGM meteoroloji istasyonlarından gelen verilerin birbirileri ile olan ilişkisini vermektedir. 1G30CY1 benzetimi, Bayraklı-Konak-Bornova meteoroloji istasyonları ile yüksek uyuma sahiptir. Değerlerin 0,5’ten büyük olması doğrusal ilişkinin yüksek olmasına işaret etmektedir. Bu benzetimde elde edilen 20 Mayıs 2015 14.00 TSİ tarihindeki yüksek yağış değerleri, gözlem verileri ile üretilen verilerin birbirileri ile olan uyumunu düşürmektedir. Bu bağlamda, istasyonlar kendi içlerinde incelendiğinde 1G30CY1 benzetimi ile düşük uyuma sahip olan bölgelerin, Bayraklı-Konak-Bornova istasyonlarıyla da uyumsuz olduğuna ulaşılabilir. Aynı şekilde 1G30MV1 ile 1G30MY1 benzetimleri da Bayraklı-Konak-Bornova istasyonlarıyla daha doğrusal bir ilişkiye sahiplerdir. 1G30MY1 benzetimi, 1G30CY1 çözümlemesinden elde edilen sonuçlarla benzer korelasyon değerine ulaşmıştır. GFS ile yapılan hesaplamalar içinde “*grid nudging*” uygulanan çözümleme, en düşük korelasyon değerine sahip benzetimdir.

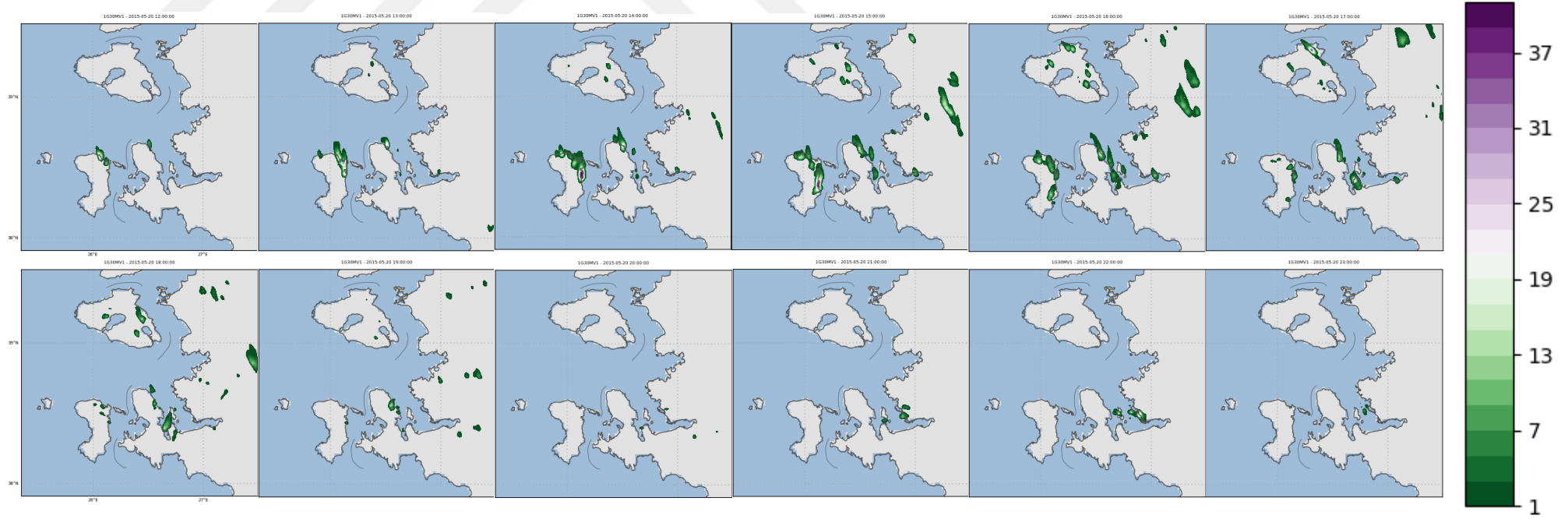


Şekil 7.6 : Seçilen bölge için 1G30CY1, 1G30MV1 ve 1G30MY1 benzetimlerine ait saatlik toplam yağışların; MGM İzmir Bölge, Konak/Pasaport, Bornova, Bayraklı, Buca, Karşıyaka ve Konak meteoroloji istasyonlarından (MGM, 2020c) gelen yağış bilgilerinin birbirleri ile olan alt üçgen Pearson korelasyon matrisi. Maviden kırmızıya doğru değişen renkler - 1'den 1'e kadar değişen korelasyon katsayılarına karşılık gelmektedir.

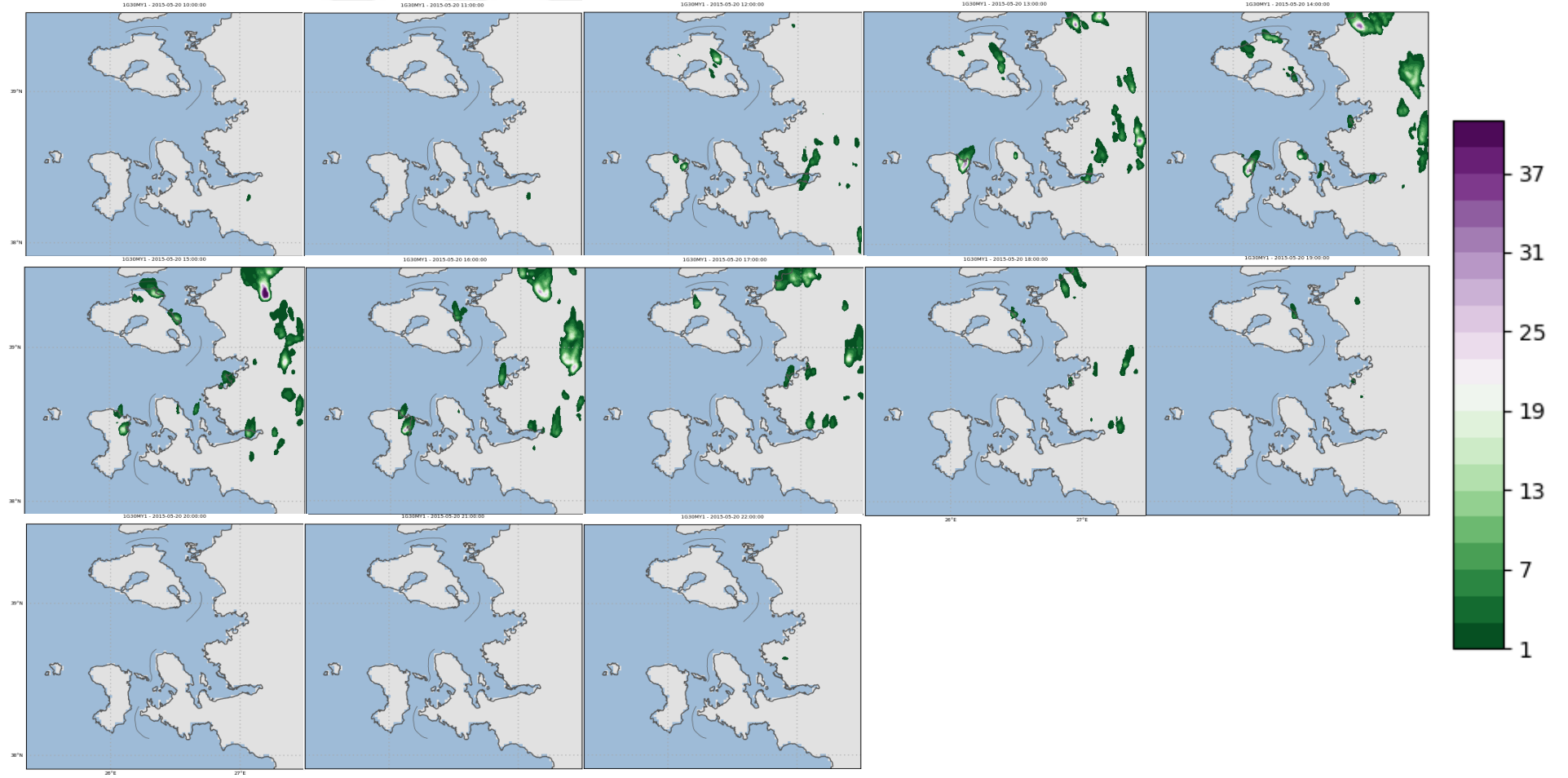
1G30CY1, 1G30MV1 ve 1G30MY1 benzetimlerine ait 20 Mayıs 2015 tarihi için saatlik toplam yağışlarının görselleri şekil 7.7'de şekil 7.8'de ve şekil 7.9'da verilmiştir. Daha önceden de belirtildiği gibi yağış, ilk olarak İzmir Bölge meteoroloji istasyonu ve çevresinde görülürken, sırayla Bornova ve çevresi ile körfezin en kuzeyinde kalan Karşıyaka meteoroloji istasyonu ve çevresinde etkili olmaktadır. Bu süreçte en yüksek yağış, Bornova ilçesinde etkili olmuştur. Bu bilgiler ışığında, 1G30CY1 benzetimine bakıldığında yağışın büyük kısmı Bornova'ya ulaşmadan düşmüştür. En yüksek yağış şekil 7.7'de de görülebileceği gibi 15.00 TSİ körfezin kuzeyinde gerçekleşmiştir. Daha doğuda olması beklenen yağış, olması gerekenden daha batıda hesaplanmıştır. Bornova meteoroloji istasyonunun yakınlarında 16.00 TSİ civarında yağış görülmektedir. 17.00 TSİ haritasına bakıldığında, körfezin doğusunda



Şekil 7.7 : 1G30CY1 benzetiminin 20 Mayıs 2015 12.00 TSİ ile 20 Mayıs 2015 18.00 TSİ tarihleri arasındaki [mm] cinsinden saatlik yağış değerlerine ait görselleri. Gün içerisinde daha öncesinde ve sonrasında yağış üretilmediği için görselleri eklenmemiştir.



Şekil 7.8 : 1G30MV1 benzetiminin 20 Mayıs 2015 12.00 TSİ ile 20 Mayıs 2015 23.00 TSİ tarihleri arasındaki [mm] cinsinden saatlik yağış değerlerine ait görselleri. Gün içerisinde daha öncesinde yağış üretilmediği için görselleri eklenmemiştir.

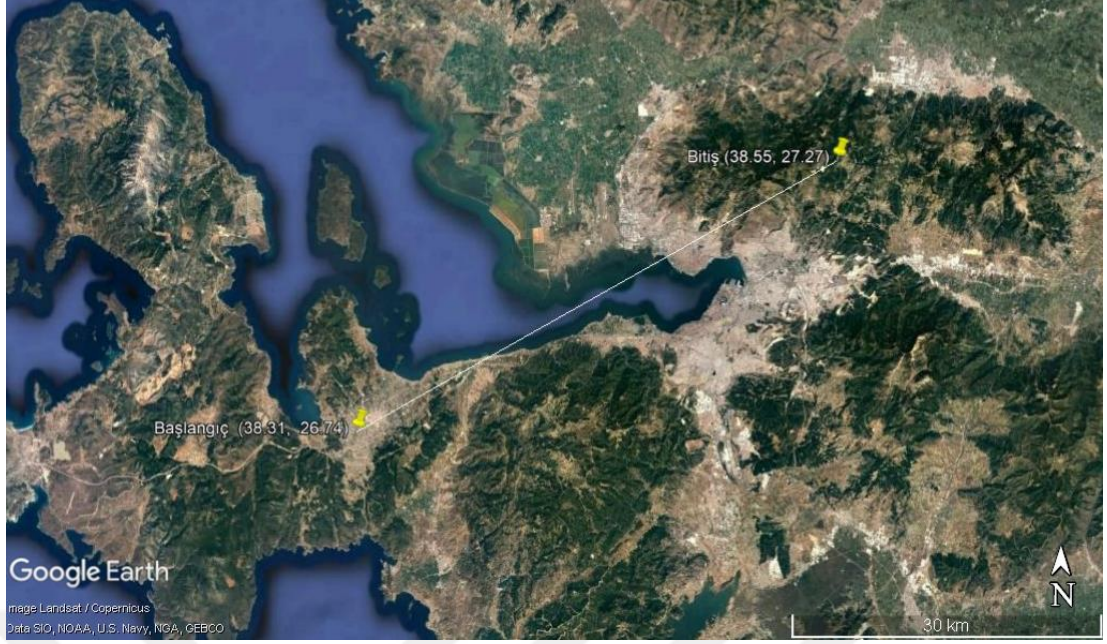


Şekil 7.9 : 1G30MY1 benzetiminin 20 Mayıs 2015 10.00 TSİ ile 20 Mayıs 2015 22.00 TSİ tarihleri arasındaki [mm] cinsinden saatlik yağış değerlerine ait görselleri. Gün içerisinde daha öncesinde yağış üretilmediği için görselleri eklenmemiştir.

yağış devam etmektedir. Radar görüntülerine bakıldığında 16.00 TSİ körfezin doğusunda gerçekleşen yağış, 17.00 TSİ gibi daha batıdaki bir bölgeyi etkisi altına alırken, 18.00 TSİ körfezdeki etkisini tamamen kaybetmektedir. Yağışın tam olarak körfezdeki yerini hesaplayamasa da etkisinin görüldüğü ve etkisini yitirdiği zamanları doğru belirlemiştir. Şekil 7.8'deki 1G30MV1 benzetiminin saatlik yağış haritalarına bakıldığında, 1G30CY1 çözümlemesinde de olduğu gibi ilk yağışı körfezin batısında hesaplamıştır (Şekil 7.7). Yağış 13.00 TSİ başlamış ve 16.00 TSİ en yüksek değerine ulaşmıştır. Ayrıca, 18.00 TSİ gibi sahil kesimlerinde etkisini yitirip daha iç kesimlerde 5 mm/saat değerinden daha düşük miktarlarda etkili olmuştur. Yine zaman serisi grafiğinde de görüldüğü gibi, iki farklı zamanda yağışın pik değerlerine ulaşan bu benzetimde, en yüksek yağış 22.00 TSİ körfezin kuzeyinde ancak öğlen saatlerinde gerçekleşen yağıştan daha batıdaki bir konumda hesaplanmıştır. Radar yansıtma görselleri incelendiğinde, benzer saat ve konum için herhangi bir yağışa ulaşılamamaktadır. Bu benzetim, hesaplaması gereken zamanda bulut gelişimini sağlayamamıştır. 1G30MY1 benzetimine bakıldığında, yağış körfez üzerinde ilk kez 12.00 TSİ etki göstermiştir (Şekil 7.9). Diğerlerinden farklı olarak körfezin hem güneyi hem de kuzeyi üzerinde gerçekleşen bu olay, zamanla körfezin doğusuna doğru ilerlemektedir. En fazla deniz üzerinde şiddetli yağışa sebep olan bu benzetiminde 13.00 TSİ, 15.00 TSİ ve 17.00 TSİ olmak üzere üç yağış piki bulunmaktadır. 1 saat içerisinde Bornova ilçesinde 60 mm ve üzerinde yağış gözlemlenirken; 1G30CY1 benzetiminde, şekil 7.3'teki alan için, yağış 2 saat gibi bir süre içerisinde 60 mm kadar hesaplanmıştır. Bu şekilde incelendiğinde, zamansal olarak kayma mevcut olsa da miktarda önemli ölçüde uyum söz konusudur. Diğer ilişkilere bakıldığında 1G30CY1 ile 1G30MV1 çözümlemeleri arasındaki korelasyon değeri 0,43; 1G30MV1 ile 1G30MY1 benzetimleri arasındaki değer ise 0,79 olmaktadır.

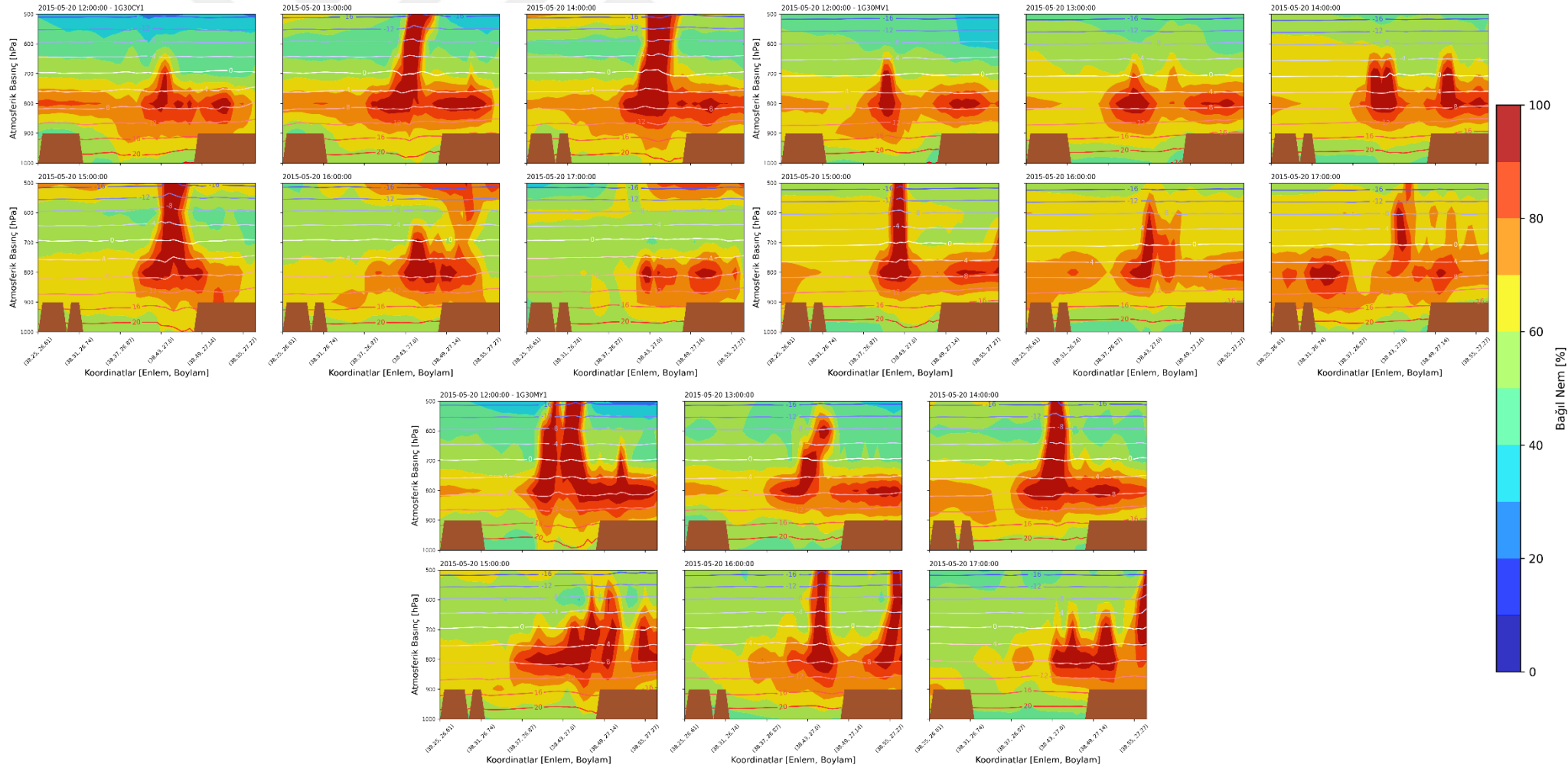
7.2 Bağlı Nemin Düşey Kesiti

Tüm benzetimlerin düşey kesitleri şekil 7.10'da belirtilen doğrultuda alınmış olup, alansal kaymalardan dolayı olabilecek gösterim sorunlarını en aza indirebilmek için, birer km doğusunda ve batısında olmak üzere 3 kesit hesaplanmıştır. Elde edilen kesitlerdeki en yüksek nemlilik alınarak tek bir görsel olarak tüm sonuçlar için çizdirilmiştir. Tüm benzetimler karşılaştırıldığında başlangıç ve sınır koşullarını oluşturan girdi verileri, yağış şiddetinde en belirgin farka sebep olan değişiklik türüdür.



Şekil 7.10 Düşey kesit alınırken seçilen doğrultunun gösterimi (Google, 2021).

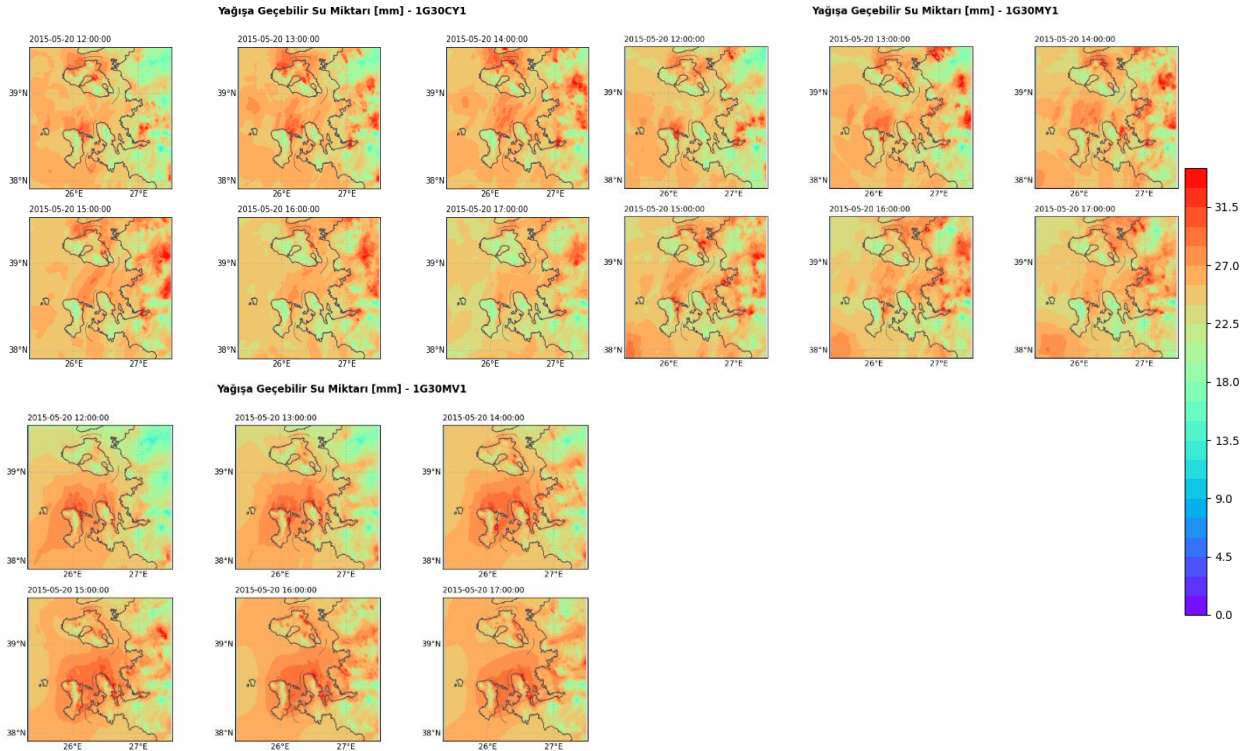
GFS girdisi ile elde edilen sonuçlarda bağıl nemin doyum noktası, 500 hPa jeopotansiyel yüksekliği seviyesine erişebilmektedir. ERA-Interim ve ERA5 ile olan bağıl nem çıktılarında en yüksek değerler, ortalama olarak 800 hPa ile 700 hPa jeopotansiyel yüksekliklerde üretilmektedir; ERA5 ile elde edilen bağıl nem değerleri, ERA-Interim ile elde edilenlere göre daha düşük şiddette kalmaktadır. Özellikle, deniz yüzeyi sıcaklıklarında gerçekleşen artışa bağlı olarak elde edilen 1E31MY1 ve 1EI31MY1 benzetimleri ile $0,5 \text{ km} \times 0,5 \text{ km}$ yatay çözünürlüğe sahip sonuçlardan elde edilen 1E40MY1 ve 1EI40MY1 benzetimleri ECMWF'ten alınan veriler için en yüksek bağıl nem değerlerini üretmiştir (Şekil A.1, Şekil A.2). GFS ile elde edilen benzetim sonuçları, şekil 7.11'de verilmiştir. 1G30CY1 ile 1G30MY1 benzetimleri, en yüksek bağıl nem üreten sonuçlara sahiptir. MODIS topoğrafya altlığına sahip 1G30MY1 benzetimi, CORINE ile üretilen 1G30CY1 benzetiminden daha önce yüksek bağıl nem değerlerine erişmiştir. Şekil 7.4'teki zamansal grafiğe bakıldığında GFS ile elde edilen bağıl nem değerleri, yağış değerlerine uyumlu olarak artış ve azalış göstermektedir. Ancak bu durum ECMWF girdileri ile elde edilen sonuçlarda uyumlu değildir. Özellikle ERA5 ile üretilen sonuçlar, yağış bırakamadıkları için nemin havada kuruduğu söylenebilmektedir.



Şekil 7.11 : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için, GFS girdi verileri ile üretilen bağıl nemin ve sıcaklığın yer seviyesinden 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine kadar olan düşey kesit görselleri. Kahverengi alanlar karaya denk gelmektedir.

7.3 Sütundaki Yağışa Geçebilir Su

Tüm sütun boyunca yağışa geçebilir su değerlerine bakıldığında, 25 mm/saat ve üzerindeki değerler körfez için, ERA-Interim ve GFS girdi verileri ile elde edilen benzetim sonuçlarında üretilmiştir (Şekil 7.13, Şekil A.3, Şekil A.4). ERA-Interim kullanılarak hesaplanan çözümlerinde; 1EI31MY1, 1EI40MY1 ve 1EI30MV1 benzetimleri en yüksek yağışa geçebilir su değeri üretmiştir (Şekil A.3). 1EI30MV1 benzetiminde Karaburun Yarımadası ve İzmir Körfezi civarında en yüksek değerler üretilirken; 1EI31MY1 ve 1EI40MY1 çözümlerinde en yüksek değerler Sakız Adası ve çevresinde üretilmiştir (Şekil A.3). Ancak özellikle körfez civarında yağış gerçekleşmemektedir. En geniş alanda 25 mm/saat değerlerinin üstünde sonuç üreten 1G30CY1, 1G30MV1 ile 1G30MY1 benzetimlerinde körfez üzerinden saatte 35 mm'ye kadar yağışa geçebilir su miktarları üretilmiştir (Şekil 7.11). 1G30MY1 benzetiminde Bornova civarında en yüksek değerlere ulaşırken; 1G30MV1 ile en çok yağışa sebep olan 1G30CY1 çözümlerinde en yüksek yağışa geçebilir su miktarı deniz üzerinde üretilmiştir.



Şekil 7.12 : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ için GFS girdi verileri ile üretilen benzetimlerin sütun boyunca yağışa geçebilir su miktarı görseller.

7.4 Yerden 2 Metre Yükseklikteki Sıcaklık

Benzetimlerin yerden 2 m yükseklikteki sıcaklıkları incelendiğinde (Şekil A.5, Şekil A.6, Şekil A.7), ERA5 ile üretilen sıcaklık değerlerinin diğer benzetimlerdekilere göre daha düşük olduğuna (körfez için yaklaşık 20 °C ile 22 °C arasında); ancak CORINE arazi kullanımı bilgisi kullanılarak üretilen 1E30CY1 benzetiminde, sıcaklık değerlerinin İzmir Körfezi ile Ayvalık arasında kalan Ege Denizi civarında yaklaşık 20 °C olduğuna ulaşılabilir. Era-Interim girdi verileri ile üretilen sıcaklık değerleri, GFS girdi verileri ile üretilen benzetim sonuçlarına benzer değerlerdedir (körfezde ~25 °C). Burada en belirgin sıcaklık farklılıkları, ERA-Interim ve ERA5 ile CORINE topoğrafya girdileri kullanılarak üretilen 1E30CY1 ile 1EI30CY1 benzetimlerinden elde edilmiştir (Şekil A.5, Şekil A.6). Sıcaklık değerlerinin yüksek olması her zaman en çok yağışa sebep olmadığı gibi bağıl nemlerinde azalışa işaret de olabilmektedir. Bu iki benzetimde de hem sıcaklık değerlerine bağlı konvektif hareketliliğin artması hem de nem ile havanın beslenmesi söz konusuyken; aynı zamanda yüksek sıcaklık değerleri bağıl nemin düşmesine sebeptir.

7.5 850 hPa Jeopotansiyel Yükseklik Seviyesi

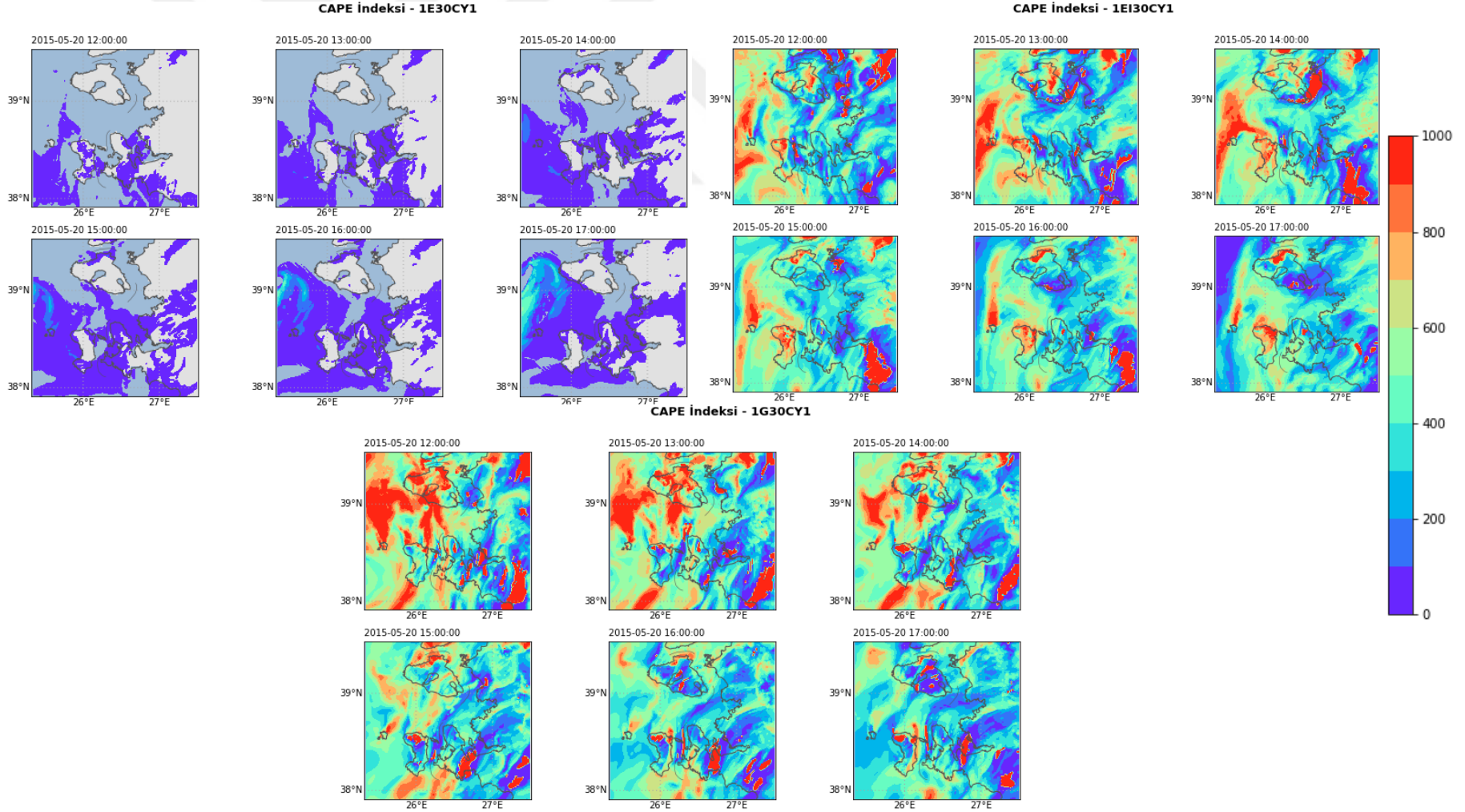
Rüzgar, sıcaklık ve jeopotansiyel yüksekliklerin gösterildiği görseller şekil A.8’de, şekil A.9’da ve şekil A.10’da verilmiştir. Bu seviyedeki sıcaklık değerleri için benzetimlerin birbirlerine olan şiddet farklılıkları, yüzey sıcaklığı haritalarındaki değerlerin farklılıkları ile benzer oranlardır. En düşük sıcaklık değerleri ERA5 ile yapılan çözümlemelerde üretilirken, ERA-Interim çıktıları, GFS çıktılarına göre daha yüksek sıcaklıklara sahiptir. Rüzgar, GFS girdi verileri kullanılarak üretilen benzetimlerde, ERA-Interim ile elde edilen benzetimlere göre denizden daha dik bir şekilde İzmir’e doğru ilerlemektedir. ERA-Interim ile olan benzetim çıktılarında ise sonuçlar karaya paraleldir. Bu sebeple nemli hava Karaburun Yarımadası’nın güneyinde kalmış, körfeze doğru fazla ilerleyememiştir. Ancak “*grid nudging*” tekniğinin uygulandığı 1EI30MV1 benzetiminde körfez içine giriş görülmüştür.

İzmir Körfezi üzerinde ve 850 hPa jeopotansiyel yüksekliğinde, en geniş ile en yüksek değerlerde bağıl nem değerlerine sahip benzetimler GFS girdi verileri ile üretilen çıktılarından elde edilmiştir (Şekil A.11, Şekil A.12, Şekil A.13). ERA5 en düşük

değerlere sahipken; ERA-Interim çıktılarında, GFS ile üretilen değerlerin kapsadığı alanlardan daha küçük bölgeler için bağıl nem doyum noktasına erişilmiştir. Bu sebeple, ERA-Interim girdi verileri ile üretilen çıktılar, körfezde anlamlı miktarda yağışa sebep olamamıştır.

7.6 Kararsızlık İndeksleri

1G30CY1, 1EI30CY1 ve 1E30CY1 benzetimlerinden elde edilen CAPE, Total Totals, SWEAT ve K İndekslerine ait görseller çizdirilmiştir. Tüm benzetimler için CAPE indeksine ait görseller Şekil 7.13'te mevcuttur. Diğer indekslere ait sonuçlar, eklerdedir (Şekil A.14, Şekil A.15, Şekil A.16). 20 Mayıs 2015 12.00 TSİ ile 17.00 TSİ arasındaki saat dilimleri için çizdirilen indeks görsellerine bakıldığında; İzmir Körfezi başta olmak üzere tüm alan için en yüksek değerler 1G30CY1 benzetiminden üretilmiştir. İzmir Bölge Meteoroloji İstasyonu'ndan bilgiler ile hesaplanan CAPE değeri 724,4 J/kg, Total Totals değeri 52,5 °C, K indeksi değeri 27,8 °C ve SWEAT indeksi 206,4 olarak Şekil 4.9'daki skew-t log-p diyagramında gösterilmiştir. Benzetim sonuçları ile karşılaştırıldığında, 1G30CY1 çözümlemesinde İzmir Bölge ve civarındaki değerler ile uyumlu sonuçların üretildiği söylenebilir. Tüm indeksler, aynı benzetim için körfezde ve özellikle yağışın üretildiği bölgelerde çok yüksek sonuca ulaşmıştır. 20 Mayıs 2015 14.00 TSİ ile 15.00 TSİ için, körfez boyunca CAPE indeksi 1000 J/kg, Total Totals indeksi 55 °C, SWEAT indeksi 500 ve K indeksi 40 °C üzerine çıkmıştır. Diğer iki benzetime bakıldığında; 1E30CY1 olan en düşük kararsızlık değerlerine sahipken, 1EI30CY1 benzetiminden üretilen sonuçların değerleri GFS girdi verisi ile üretilen kararsızlık indekslerinin sonuçlarına benzerdir. 1EI30CY1 için 20 Mayıs 2015 14.00 TSİ ile 15.00 TSİ tarihinde ve körfez boyunca CAPE indeksi 1000 J/kg, Total Totals indeksi 55 °C üstüne çıkarken; SWEAT indeksi 300-400 ve K indeksi 25 °C-30 °C arasında üretilmiştir. 1E30CY1 çözümlemesine aynı tarih ve bölge için bakıldığında; CAPE indeksi 0-100 J/kg, Total Totals indeksi 50 °C-52,5 °C, SWEAT indeksi 0-100 ve K indeksi 10 °C-15 °C arasında üretilmiştir. ERA-Interim ile GFS girdi verileri ile üretilen benzetim sonuçları kararsızlığı hesaplayabilmişken; ERA5 kullanılarak üretilen hesaplamalarda ise atmosfer, diğer iki girdi verisine göre kararlı olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.13 20 Mayıs 2015 12.00 TSİ ile 17.00 TSİ tarih aralığı için, 1E30CY1, 1EI30CY1 ve 1G30CY1 benzetimlerine ait CAPE indeksi görselleri.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Öncesinde tahmin edilemeyen sağanak yağışlara bağlı gerçekleşen ani sel baskınları, çevreye verdikleri zarar ile dünya çapında bir sorun olmaktadır. Öngörülemediği için önlem de alınamayan bu meteorolojik olay, Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz gibi çok fazla şiddetli fırtınalara ev sahipliği yapan orta enlemlerde, daha da önem arz etmektedir. Bu sebeple, ani gelişen bulutlar ve onlara bağlı oluşan yağışların öngörülebilmesi amacıyla, 20 Mayıs 2015 tarihinde İzmir Körfezi'nde gerçekleşen şiddetli sağanak yağış olayı incelenmiştir. Hızlıca gelişen fırtına bulutlarına bağlı 14.00 ile 15.00 TSİ aralığında düşen yağış, özellikle şehirleşmenin yoğun olduğu bölgede kısa sürede sele dönüşmüş ve günlük yaşamı olumsuz etkilemiştir. Ardından kısa süre içerisinde daha kuzeye yönelerek körfezden uzaklaşmıştır.

Yapılan çalışmada İzmir'de gerçekleşen yağışı hesaplayabilmek amacıyla, WRF-ARW modeli ile 39 farklı model kurulumu denenmiştir. Bölgeye, mevsime ve iklime en uygun olan yöntem bulunarak sistem çözümlendirilmek istenmiştir. Bu bağlamda “model yatışma süresi”, “en iç alanın yatay çözünürlüğü”, “deniz yüzeyi sıcaklığı”, “coğrafi veri girdisi”, “fiziksel parametrizasyonlar” ile birlikte “girdi verileri” üzerinde değişiklikler yapılmıştır; “*grid nudging*” yöntemi uygulanmıştır. Kontrol deneyinde kullanılan fiziksel parametrizasyonlar “Thompson Graupel” mikrofizik, “YSU” atmosferik sınır tabakası, “RRTM” uzun dalga boylu radyasyon, “Goddard Shortwave” kısa dalga boylu radyasyon, “Termal Difüzyon” arazi yüzeyi ve “Monin-Obukhov Similarity” yüzey katmanı olmakta; ayrıca ne deniz yüzeyi sıcaklığında değişiklik ne de “*grid nudging*” hesaplaması yapılmıştır. ERA5, ERA-Interim, GFS atmosferik verileri; CORINE, MODIS uydularından elde edilen topoğrafya verileri; 1-2-3-4 günlük model yatışma süreleri; “*Thompson Graupel*”, “*Morrison 2-Moment*”, “*WDM 6-Class*” mikrofizik (mp) şemaları; “YSU” ve “*Mellor-Yamada-Janjic (ETA) TKE*” atmosferik sınır tabakası (bl_pbl) şemaları; “RRTM” ve “RRTMG” uzun dalga boylu radyasyon (ra_lw) şemaları; “*Goddard Kısa Dalga*” ve “RRTMG” kısa dalga boylu radyasyon (ra_sw) şemaları; “Termal Difüzyon” ile “*Noah Land-Surface Model*” arazi yüzeyi (sf_surface) şemaları; “*Monin-Obukhov Benzerliği*” ve “*Monin-Obukhov (Janjic Eta) Benzerliği*” yüzey katmanı (sf_sfclay) şemaları kullanılmış;

“*grid nudging*” yapılma durumuna bakılarak deniz yüzeyi sıcaklığı +1 °C arttırılmış ve en iç alan 0,5 km ile 1 km olmak üzere iki farklı çözünürlükte düzenlenmiştir.

Olay gününden ne kadar geri gidildiğinde hem şiddet hem de alansal olarak daha uyumlu sonuca ulaşıldığını öğrenmek amacıyla belirlenen 1-2-3-4 günlük model yatışma süreleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, hem alansal hem de şiddet olarak bakıldığında, en uygun model yatışma süresi 1 gün olarak bulunmuştur. Gün sayısı arttıkça yağış şiddetinde azalış söz konusudur. 4 günlük yapılan hesaplamalarda yağış alanında küçülme görülmüştür.

Üretilen değerlerin ızgaralar boyunca zorlanarak girdi verisine yaklaştırılma durumu olarak basitçe özetlenen “*grid nudging*” hesaplaması, etkisi hem farklı girdi verileri hem de model yatışma süreleri ile denenmiştir. İzmir Körfezi’ni içeren alandaki saatlik yağış değerleri değerleriyle karşılaştırıldığında, “*grid nudging*” uygulanan ERA-Interim ve GFS girdi verileriyle yapılan benzetimlerde daha fazla yağış üretilmiştir. Ancak bu durum ERA5 için tam tersi olmuştur. 1 mm/saat üzerinde yağış neredeyse hiç üretememiş olan ERA5 benzetimlerinde, “*grid nudging*” uygulanmamış olanlar daha yüksek sonuç üretmiştir. Günlük toplam yağış değerlerine bakıldığında, “*grid nudging*” yapılmış GFS benzetimi neredeyse hiç yağış görmemiş bölgelerde de yağışa neden olmuştur. Yağış konumları karşılaştırıldığında, en iyi sonuç “*grid nudging*” yapılmamış hesaplamada üretilmiştir. ERA5 ve ERA-Interim ile yapılan çözümlemeler yeterince şiddetli yağış üretemediği için, GFS ile yapılanlardaki gibi yağış alanları hatalarına sebep olmamıştır.

0,5 km × 0,5 km ile 1 km × 1 km olmak üzere iki farklı alansal çözünürlükte yapılan benzetimler karşılaştırıldığında, daha yüksek çözünürlükte olan hesaplamadaki yağış değerlerinin Sakız Adası’nı geçemediğine ulaşılır. Ayrıca yine burada olması gerekenden daha şiddetli; Aliğa ve daha doğusunda kalan bölgedeki yağışı daha küçük bölgede ve daha düşük şiddette yağış bulmuştur. Ancak, 1 km × 1 km çözünürlüğe sahip benzetimler hem alansal hem de şiddet olarak daha uyumlu sonuç vermiştir.

Deniz yüzeyi sıcaklığının 1 °C arttırılması, rüzgarın körfeze doğru esmesi yağış değerlerinde artışa sebep olmuştur. Genel yağış alanları benzer bir örüntüye sahip olmasına rağmen İzmir Körfezi’ndeki yağış değerleri incelendiğinde, ERA verilerinde üretilen yağışlarda artışa sebep olduğundan bahsedilebilir. Ancak, sıcaklık

değerlerinin yüksek olması ve rüzgarın nemi yeterince taşıyamaması ise bu durumun tam tersi sonuca sebep olacaktır. Bu sebeple de, en yüksek yüzey sıcaklığına sahip 1EI30CY1 çözümlemesinden elde edilen sonuçlarda körfez üzerinde anlamlı yağış üretilmiştir.

MODIS uydu verisi ile üretilen topoğrafya verilerine göre daha yüksek çözünürlüğe sahip olan CORINE verisi özellikle GFS ile üretilen benzetimlerde daha belirgin farka nedenken, tüm girdi verileri için artışa sebep olmuştur. 1G30MY1 çözümlemesinde İzmir Körfezi'nde saatlik en yüksek yağış değeri 12,913 mm/saat iken, 1G30CY1 olanda ise 28,817 mm/saat değerine ulaşmıştır. 1G30MY1 benzetimindeki yağış örüntüsü, gözlem ile daha uyumlu olmuştur. Ancak, 1G30CY1 benzetiminde iki saatte toplam 60 mm kadar yağış üretilmiştir.

Fiziksel parametrisasyonlardaki farklılıklara bakıldığında mikrofizik şemaları içinde en uyumlu yağış örüntüsünü “WDM 6-Class”; en uyumlu yağış şiddetini ise, özellikle Sakız Adası üzerindeki yağışın şiddeti sebebiyle, “Morrison 2-Moment” vermiştir. Radyasyon şemalarına bakıldığında birbirinden çok farklı yağış alanına sahip değilken özellikle Sakız Adası ve Karaburun Yarımadası üzerinde gerçekleşen yağış örüntüsünün uyumluluğu sebebiyle “RRTMG” ile yapılan benzetimler deha iyi sonuç vermiştir denilebilir. Arazi yüzeyi ve atmosferik sınır tabakası şemaları birlikteliğine bakıldığında, şiddet ve yağış alanı uyumunun en yüksek olduğu benzetimin “Noah Arazi Yüzeyi Modeli” arazi yüzeyi ile “Mellor-Yamada-Janjic TKE” atmosferik sınır tabakası şemaları ile üretildiğine ulaşılır. Ayrıca “Monin-Obukhov” yüzey tabakası şeması kullanılarak daha şiddetli ve geniş alanda yağış verileri üretilmiştir.

Girdi verisi olarak kullanılan ERA5, ERA-Interim ve GFS içerisinden hem şiddet bakımından hem de olay konumunu tutturması bakımından en uygun sonuçlar, GFS ile üretilen benzetimlerde elde edilmiştir. ERA5 ile ERA-Interim, 20 Mayıs 2015 tarihi için İzmir Körfezi'nde 5mm/saat üzerinde yağış üretemezken; GFS 20 mm/saat üzerinde değerlere ulaşabilmiştir.

1E30CY1, 1EI30CY1 ve 1G30CY1 benzetimlerinin sonuçlarından üretilen kararsızlık indeksleri, birbirilerinden farklı değerler ortaya koymuştur. ERA5 ile üretilen sonuçlara bakıldığında diğer iki girdi verisinden çok daha yüksek atmosferik kararsızlık olduğuna ulaşılır. 1G30CY1 ve 1EI30CY1 benzetimleri için CAPE ve Total Totals indeks sonuçları benzer kararsızlık değerlerini gösterirken, Sweat ile K

indeks sonuçları 1G30CY1 benzetiminde daha yüksektir. Bu bağlamda, İzmir Körfezi ve civarı için en kararsız atmosfer 1G30CY1 benzetiminde bulunmaktadır. ERA5 ile ERA-Interim verileri arasında yatay çözünürlüğe sahip olan GFS çıktılarının diğerlerinden en belirgin farkı, deniz yüzeyi sıcaklığıdır. Diğer iki veri setinin de deniz yüzeyi sıcaklığı 16 °C ile 20 °C arasında iken, GFS çıktılarındaki 20 °C ile 24 °C arasında değişmektedir. Deniz yüzeyi sıcaklıklarının ERA5 ve ERA-Interim üzerindeki etkilerine bakıldığında, çok büyük nicel farklılık olmamakla beraber; sıcaklık değerlerinin artması yağışı da arttırmıştır. Daha önceden yapılan çalışmalarda (Pastor, 2018; Turunçoğlu, 2014) görüldüğü üzere İzmir gibi etrafı denizlerle çevrili bir bölgedeki yağışlar, deniz sıcaklığından oldukça etkilenmektedir. Sıcaklığın artışı, nem açısından zengin olan denizler üzerindeki buharlaşmayı da hızlandıracağından, ani gelişen bulutların oluşumuna katkı sağlayacaktır. Deniz yüzeyi sıcaklığındaki artış, konvektif bulutların daha şiddetli yağış üretmesine neden olacağı için; özellikle yoğun şehirleşmenin olduğu bölgelerde, yeryüzünün yağış suyunu emme miktarındaki azalışıyla daha ciddi çevre sorunlarına sebep olacaktır. Gerçekleşen yağışın etkisi daha fazla hissedilecektir.

Yapılan tüm benzetimler içerisinde en belirgin yağış farklılıklarına, girdi verilerindeki değişiklik sebep olmuştur. GFS girdi verisi ile beraber kullanılan CORINE verisinden üretilen arazi yüzeyi bilgisinin modele dahil edilmesi ile İzmir gibi içerisinde çeşitli yükseltiler barındıran bir bölgedeki yağış daha iyi hesaplanabilmiştir. Bu sebeple, İzmir ile onun iklimine ve konumuna sahip bir bölge için en etkili değişikliklerden birinin başlangıç ve sınır koşullarındaki deniz yüzeyi sıcaklığı bilgisi olduğuna ulaşılabilir. İleride benzer özelliklere sahip bölgeler için yapılacak WRF-ARW model koşturmalarında, en başarılı benzetim sonuçlarının GFS girdi verisi ile elde edilebileceği öngörülmektedir. Ayrıca arazi kullanımının iyileştirilmesi ani gerçekleşen yağışların hesaplanmasında artı rol oynarken; bu çalışmada denenmeyen fiziksel parametrisasyon değişiklikleriyle beraber daha şiddetli ve daha tutarlı örüntüye sahip yağış değerlerine erişilebilir.

KAYNAKLAR

- Altınbilek, D., Barret, E.C., Oweis, T., Salameh, E. ve Siccardi, F.** (1997). Rainfall climatology on the Mediterranean, EU-AVI 080 Project ACROSS—analyzed climatology rainfall obtained from satellite and surface data in the Mediterranean basin [Akdeniz'de yağış klimatolojisi, EU-AVI 080 ACROSS Projesi — Akdeniz havzasındaki uydu ve yüzey verilerinden elde edilen iklimsel yağışların analizi].
- Argüeso, D., Hidalgo-Muñoz, J.M., Gámiz-Fortis, S.R., Esteban-Parra, M.J., Dudhia, J. ve Castro-Díez, Y.** (2011). Evaluation of WRF parameterizations for climate studies over Southern Spain using a multistep regionalization [WRF parametreizasyonlarının Güney İspanya üzerindeki iklim çalışmaları için çok adımlı bir bölgeselleşme kullanılarak değerlendirilmesi]. *American Meteorological Society*. doi: 10.1175/JCLI-D-11-00073.1
- Berrisford, P, Dee, DP, Poli, P, Brugge, R, Fielding, K, Fuentes, M, Kállberg, PW, Kobayashi, S, Uppala, S, Simmons, A** (2011). The ERA-Interim archive Version 2.0. ERA Report Series 1, <http://www.ecmwf.int/en/elibrary/8174-era-interim-archive-version-20>
- Bianco, L.** (2008). Surface layer parametrization in WRF [WRF'te yüzey tabakası parametrizasyonu]. Erişim adresi: http://cires1.colorado.edu/science/groups/pielke/classes/at7500/Bianco_SFC.pdf
- Cassola, F., Ferrari, F. ve Mazzino, A.** (2015). Numerical simulations of Mediterranean heavy precipitation events with the WRF model: a verification exercise using different approaches [WRF modeli ile Akdeniz'deki yoğun yağış olaylarının sayısal benzetimleri: farklı yaklaşımlar kullanılarak yapılan bir doğrulama çalışması]. *ATMOS* 3216. 20 Haziran 2019. doi: 10.1016/j.atmosres.2015.05.010
- Cohen, A. E, Cavallo, S. M., Coniglio, M. C. ve Brooks, E.** (2015). A review of planetary boundary layer parameterization schemes and their sensitivity in simulating southeastern U.S. cold season severe weather environments [Atmosferik sınır tabakası parametrelendirme şemalarının ve bunların güneydoğu ABD soğuk mevsiminde şiddetli hava koşullarının benzetiminindeki hassasiyetinin bir incelemesi]. *Weather and Forecasting*, 30(3), 591-612. doi: 10.1175/WAF-D-14-00105.1
- Conservation Law.** (2018). Encyclopædia Britannica'dan. Erişim adresi: <http://www.britannica.com/science/conservation-law>

- Copernicus Climate Change Service (C3S).** (2017). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate [Veri seti]. ERA5. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS). <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>
- Copernicus.** (2020). CORINE land cover [CORINE toprak örtüsü], Erişim adresi: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
- Çorumluoğlu, Ö. ve Asrı, İ.** (2014). The effect of urban heat island on İzmir's city ecosystem and climate [Kentsel ısı adasının İzmir'in kent ekosistemi ve iklimi üzerindeki etkisi]. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 3202–3211, doi: 10.1016/j.ecss.2005.09.013
- Daniels, M.H., Lundquist, K.A., Mirocha, J.D., Wiersema, D.J., Chow, F.K.** (2016). A New Vertical Grid Nesting Capability in the Weather Research and Forecasting (WRF) Model [WRF için yeni bir dikey ızgara yerleştirme yeteneği]. *Monthly Weather Review*, 144, 3725–3747, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0049.1>.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., ve diğ.** (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system [Veri seti]. ERA-Interim. doi: 10.1002/qj.828
- Doocy, S., Daniels, A., Murray, S. ve Kirsch, T.D.** (2013). The human impact of floods: a historical review of events 1980-2009 and systematic literature review [Taşkınların insan etkileri: 1980-2009 olaylarının tarihsel incelemesi ve sistematik literatür taraması]. *Plos currents disasters*. 16 Nisan 2013. doi: 10.1371/currents.dis.f4deb457904936b07c09daa98ee8171a.
- Dudhia, J.** (2014). Overview of WRF Physics [WRF Fiziğine Genel Bakış] [PowerPoint sunumu]. Erişim adresi: <https://www.climate-science.org.au/sites/default/files/physics-3.9-new-pt1.pdf>
- Dutta, D. ve Herath, S.** (2004). Trends of floods in Asia and flood risk management with integrated river basin approach [Asya'daki sel eğilimleri ve entegre nehir havzası yaklaşımı ile sel riski yönetimi].
- Avrupa Çevre Ajansı.** (2016). Floods and health [Seller ve sağlık]. Erişim adresi: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/floods-and-health-1/assessment>
- Avrupa Çevre Ajansı.** (2018). Catastrophic floods cause human tragedy, endanger lives and bring heavy economic losses [Yıkıcı seller insan trajedisine neden oluyor, hayatları tehlikeye atıyor ve ağır ekonomik kayıplar getiriyor]. Erişim adresi: <https://www.eea.europa.eu/archived/archived-content-water-topic/water-resources/floods>

- Ege Postası.** (2015). İzmir’de sağanak ve dolu hayatı felç etti. Erişim adresi: <https://www.egepostasi.com/izmir/izmir-de-saganak-ve-dolu-hayati-felc-etti-h106970.html>
- Eta vertical coordinate.** (2012). Amerika Meteoroloji Topluluğu’nun Meteoroloji Sözlüğü’nden. Erişim adresi: https://glossary.ametsoc.org/wiki/Eta_vertical_coordinate
- EUMETSAT.** (2020). Satellites [Uydular], Erişim adresi: <https://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/index.html>
- Euroweather.** (2019). İzmir-Adnan Menderes, Erişim adresi: http://www.eurometeo.com/english/condition/city_LTBJ/archive_select/meteo_Izmir-Adnan%20Menderes
- Fernando, H. J. S.** (2003). Convection [Konveksiyon]. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, 528–539. doi:10.1016/b0-12-227090-8/00119-6
- García-Díez, M., Fernández, J., Fita, L. ve Yagüe, C.** (2013). Seasonal dependence of WRF Model biases and sensitivity to pbl schemes over Europe [WRF Model sapmalarının mevsimsel bağımlılığı ve Avrupa'daki atmosferik sınır tabakası şemalarına duyarlılığı]. *Q. J. R. Meteorology Society*, 139: 501–514, doi:10.1002/qj.1976
- Geçer, C.** (2005). Training course on weather radar systems. Module d: radar products and operational applications [Hava radar sistemleri üzerine eğitim kursu. D modülü: radar ürünleri ve operasyonel uygulamaları], Erişim adresi: https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-88_TM-Radars/IOM-88_Module-D.pdf
- Giusti, M ve Guillory, A.** (2020). ERA-Interim: documentation [ERA-Interim dokümantasyonu], Erişim adresi: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA-Interim%3A+documentation>
- Google.** (2021). *İzmir Körfezi*. Erişim adresi: <http://www.earth.google.com/>
- Gray, J., Sulla-Menashe, D. ve Friedl, M.** (2020). MODIS/Terra+Aqua land cover dynamics yearly 12 global 500 m sin grid [MODIS/Terra+Aqua toprak örtüsü dinamikleri yıllık 12 küresel 500 m sin ızgara], Erişim adresi: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd12q2v006/>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., ve diğ.** (2020). The ERA5 global reanalysis [ERA5 küresel reanaliz]. *Q J R Meteorol Soc.* 2020; 146: 1999– 2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Holton, J.R.** (2004). *An introduction to dynamic meteorology [Dinamik meteorolojiye giriş]*. Academic Press.
- Houze, R. A.** (1993). *Cloud dynamics [Bulut dinamiği]*, Academic Press.
- Hu, X. M., Klein, P. M., Xue, M.** (2013). Evaluation of the updated YSU planetary boundary layer scheme within WRF for wind resource and air quality assessments [Rüzgar kaynağı ve hava kalitesi değerlendirmeleri için

WRF içerisinde güncellenmiş YSU gezegen sınır tabakası şemasının değerlendirilmesi]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 18.

Iacono, M. J., Pincus, R. ve Hannay, C. (2006). Representing sub-grid scale cloud variability with Monte Carlo Independent column approximation and RRTMG in the National Center For Atmospheric Research Community Atmosphere Model, CAM3 [Ulusal Atmosferik Araştırma Topluluğu Atmosferi Modeli, CAM3'te Monte Carlo Bağımsız sütun yaklaşımı ve RRTMG ile alt ızgara ölçeği bulut değişkenliğini temsil eder]. *Sixteenth ARM Science Team Meeting Proceedings*, Mart 2006.

İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı Nazım Plan Şube Müdürlüğü. (2012). *1/25000 ölçekli İzmir Büyükşehir bütünü çevre düzeni planı açıklama raporu*. Erişim: 17.01.2021, Erişim adresi: http://izmimod.org.tr/docs/RAPOR_IBSBCDP.pdf

Jeworrek, J., West, G. ve Stull, R. (2019). Evaluation of Cumulus and Microphysics Parameterizations in WRF across the Convective Gray Zone [Konvektif Gri Bölgede WRF'de Kümüls ve Mikrofizik Parametrizasyonlarının Değerlendirilmesi]. *American Meteorology Society*, 34, 1097-1115.

Kessler, E. (1969). On the distribution and continuity of water substance in atmospheric circulation [Atmosferik çevrimdeki su maddesinin dağılımı ve sürekliliği hakkında]. *American Meteorology Society*.

Lei, H., Guo J, Chen, D. ve Yang J. (2019). Comparison of two double-moment microphysicsschemes in aspects of warm-rain droplet spectral and raindrop budget [Sıcak yağmur damlacığı spektrumları ve yağmur damlası bütçesi açısından iki çift-momentli mikrofizik şemasının karşılaştırılması]. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 12:6, 424-433, doi:10.1080/16742834.2019.1664882.

Lim, K.S.S. ve Hong, S.Y. (2010). Development of an effective double-moment cloud microphysics scheme with prognostic cloud condensation nuclei (CCN) for weather and climate models [Hava durumu ve iklim modelleri için prognostik bulut yoğunlaşma çekirdekleriyle (CCN) etkili bir çift momentli bulut mikrofizik şemasının geliştirilmesi]. *Monthly Weather Review*, 138, 1587–1612.

Lionello, P., Bhend, J., Buzzi, A., Della-Marta, P. M. (2006). Cyclones in the Mediterranean region: Climatology and effect on the environment [Akdeniz bölgesindeki siklonlar: Klimatoloji ve çevreye etkisi]. *Developments in Earth and Environmental Sciences*. Elsevier.

Lorenz, E.N. (1996). *Evolution of dynamic meteorology [Dinamik meteorolojinin evrimi]*. Springer.

Lynch, A.L. ve Cassano, J.J. (2006). *Applied atmospheric dynamics [Uygulamalı atmosferik dinamik]*. Wiley.

MGM. (2016a). *Meteorolojik karakterli doğal afetler 2015 yılı değerlendirmesi*. Erişim: 15.03.2020, Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr/files/genel/kitaplar/dogalafet-2015.pdf>

- MGM.** (2016b). *2015 yılı iklim değerlendirmesi*. Erişim:15.03.2020, Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2015-iklim-raporu.pdf>
- MGM.** (2020a). “İllere ait mevsim normalleri (1981-2010)”, Erişim: 15.03.2020, Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=IZMIR>
- MGM.** (2020b), Radar reflektivite görüntüleri [Harita]. Radar ölçüm verileri.
- MGM.** (2020c), Meteoroloji gözlem istasyonlarına ait gözlem verileri [Veri Seti]. Ölçüm verileri.
- Mlawer, E. J., Taubman, S. J., Brown, P. D., Iacono, M. J. & Clough, S. A.** (1997). Radiativetransfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the long-wave [Homojen olmayan atmosfer için radyatif transfer: RRTM, uzun dalga boyu için doğrulanmış korelasyonlu k modeli]. *Journal of Geophysical Reseach*, 102, 16663–16682
- Morrison, H., Curry, J.A.ve Khvorostyanov, V. I.** (2005). A new double-moment microphysics parameterization for application in cloud and climate models, Part I: Description [Bulut ve iklim modellerinde uygulama için yeni bir çift momentli mikrofizik parametreleştirme, bölüm I: açıklama]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 62, 1665–1677.
- Morrison, H. ve Milbrandt, J.A.** (2015). Parameterization of ice microphysics based on the prediction of bulk particle properties [Kütle parçacık özelliklerinin tahminine dayalı olarak buz mikrofiziğinin parametrelendirilmesi]. Part 1: Scheme description and idealized tests. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 72, 287–311
- Morrison, H. ve Pinto, J.O.** (2006). Intercomparison of bulk microphysics schemes in mesoscale simulations of spring time Arctic mixed-phase stratiform clouds [İlkbahar dönemi Arktik karışmış fazlı stratiform bulutlarının orta ölçekli benzetimlerinde toplu mikrofizik şemalarının karşılaştırılması]. *Monthly Weather Review*, 134, 1880–1900.
- Morrison, H., Thompson, G. ve Tatarskii, V.** (2008). Impact of cloud microphysics on the development of trailing stratiform precipitation in a simulated squall line: comparison of one and two-moment schemes [Bulut mikrofiziğinin simüle edilmiş bir fırtına hattında takip eden tabakalı yağışın gelişimi üzerindeki etkisi: bir ve iki momentli şemaların karşılaştırılması]. *Monthly Weather Review*, 137, 991–1007.
- NCAR.** (2020). WPS V4 geographical static data downloads page [WPS V4 topoğrafik statik veri indirme sayfası], Erişim adresi: https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/download/get_sources_wps_geog.html
- NOAA.** (2015). Global Forecast System (GFS) [Veri seti]. GFS-ANL (0.5°). Erişim adresi: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forcast-system-gfs>

- NOAA.** (2018). Global Forecast System (GFS) [0.5 Deg.] [Küresel tahmin sistemi (GFS) [0.5 Derece]], Erişim adresi: <https://data.nodc.noaa.gov/cgi-bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C00634>
- Pastor, F., Valiente, J.A. ve Palau, J.L.** (2018). Sea Surface Temperature in the Mediterranean: Trends and Spatial Patterns (1982–2016) [Akdeniz'in deniz yüzeyi sıcaklığı: Değişimi ve zamansal örüntüsü (1982-2016)]. *Pure and Applied Geophysics*, 175, 4017–4029.
- Precipitation.** (2020). Encyclopædia Britannica'dan. Erişim adresi: <http://www.britannica.com/science/precipitation>
- Price, E., Mielikainen, J., Huang, M., Huang, B., Huang, B. A. ve Lee, T.** (2014). Gpu-accelerated longwave radiation scheme of the rapid radiative transfer model for general circulation models (RRTMG) [Genel sirkülasyon modelleri (RRTMG) için hızlı radyatif transfer modelinin Gpu ile hızlandırılmış uzun dalga radyasyon şeması]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7, 8, 3660-3667, doi: 10.1109/JSTARS.2014.2315771
- Robinson, P. J. ve Henderson-Sellers, A.** (1999). Contemporary climatology [Modern iklimoloji]. (İkinci baskı). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315842660>
- Simscale.** (2020). What are boundary conditions? [Sınır koşulları nelerdir?], Erişim: 10.11.2020, Erişim adresi: <https://www.simscale.com/docs/simwiki/numerics-background/what-are-boundary-conditions/>
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B, Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M, Duda, M.G., Huang, X, Wang, W. ve Powers, J.G.** (2019). “A description of the advanced research WRF version 4” [4. versiyon WRF ileri araştırmanın tanımlanması]. NCAR, Erişim tarihi: 08 Kasım 2020, erişim adresi: https://figshare.com/articles/A_Description_of_the_Advanced_Research_WRF_Version_4/7369994/4
- Stergiou, I., Tagaris, E. ve Sotiropoulou, R.E.P.** (2017). Sensitivity assessment of WRF parameterizations over Europe [WRF parametrelerinin Avrupa üzerindeki hassasiyet değerlendirmesi]. *The 2nd International Electronic Conference on Atmospheric Sciences*, 16-31 Temmuz 2017. Erişim adresi: <http://sciforum.net/conference/ecas2017>
- Thunderstorm24.** (2020), Historical data [Harita]. Yıldırım ölçüm verileri. Erişim adresi: http://thunderstorm24.com/historical_maps_eu-en.cfm
- Torrecillas, A. M.** (2017). A study of the shortwave schemes in the Weather Research and Forecasting model [WRF modelindeki kısa dalga şemaları üzerine bir çalışma]. Erişim: 13.01.2021, Erişim adresi: https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/401501/AMT_4de10.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Turunçoğlu, U.U.** (2015). Identifying the sensitivity of precipitation of Anatolian peninsula to Mediterranean and Black Sea surface temperature [Anadolu yarımadasındaki yağışların Akdeniz ve Karadeniz yüzey sıcaklığına duyarlılığının belirlenmesi]. *Clim Dyn* 44, 1993–2015 (2015). <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2346-7>

- Wang, P.** (2013). *Physics and Dynamics of Clouds and Precipitation*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511794285
- Wetter3.** (2021). Archiv-version des animationstools [Harita].
- WHO.** (2019). *WHO aids flood-hit populations across Africa and the Eastern Mediterranean Region [DSÖ, Afrika ve Doğu Akdeniz Bölgesi'nde selden etkilenen nüfuslara yardım ediyor]*. Erişim: 07.11.2020, Erişim adresi: <https://public.wmo.int/en/media/news/flash-flood-guidance-system-saves-lives>
- WMO.** (2020). *Flash flood guidance system saves lives [Ani sel yönlendirme sistemi hayat kurtarır]*. Erişim: 16.01.2021, Erişim adresi: <https://www.who.int/news/item/08-11-2019-who-aids-flood-hit-populations-across-africa-and-the-eastern-mediterranean-region>
- Wyoming Üniversitesi Atmosferik Bilimler Departmanı** (2020), Sounding data [Veri seti]. Ravinzonde verileri. Erişim adresi: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.



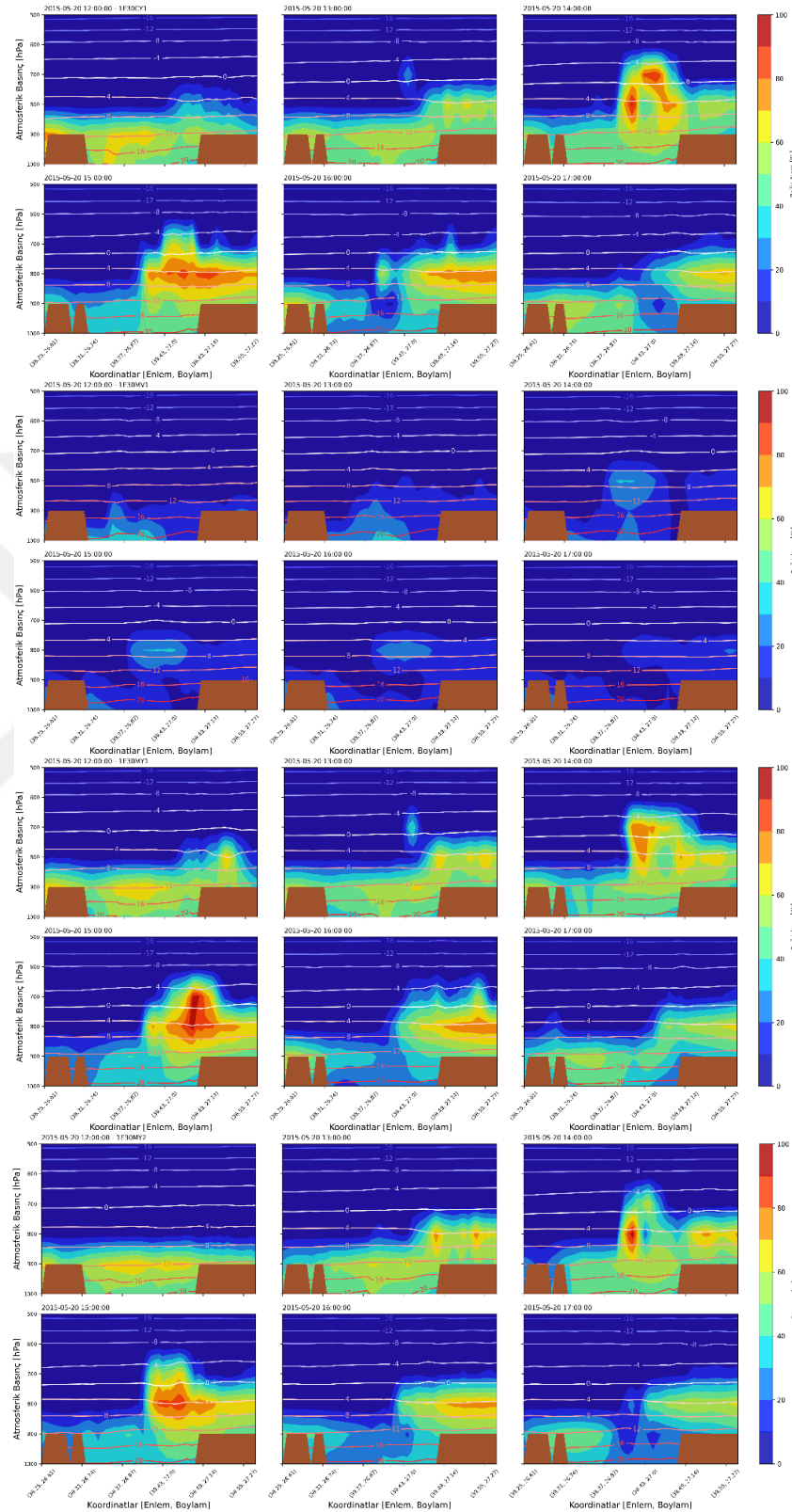
EKLER

EK A: 20 Mayıs 2015 tarihi için üretilen benzetim sonuçları.

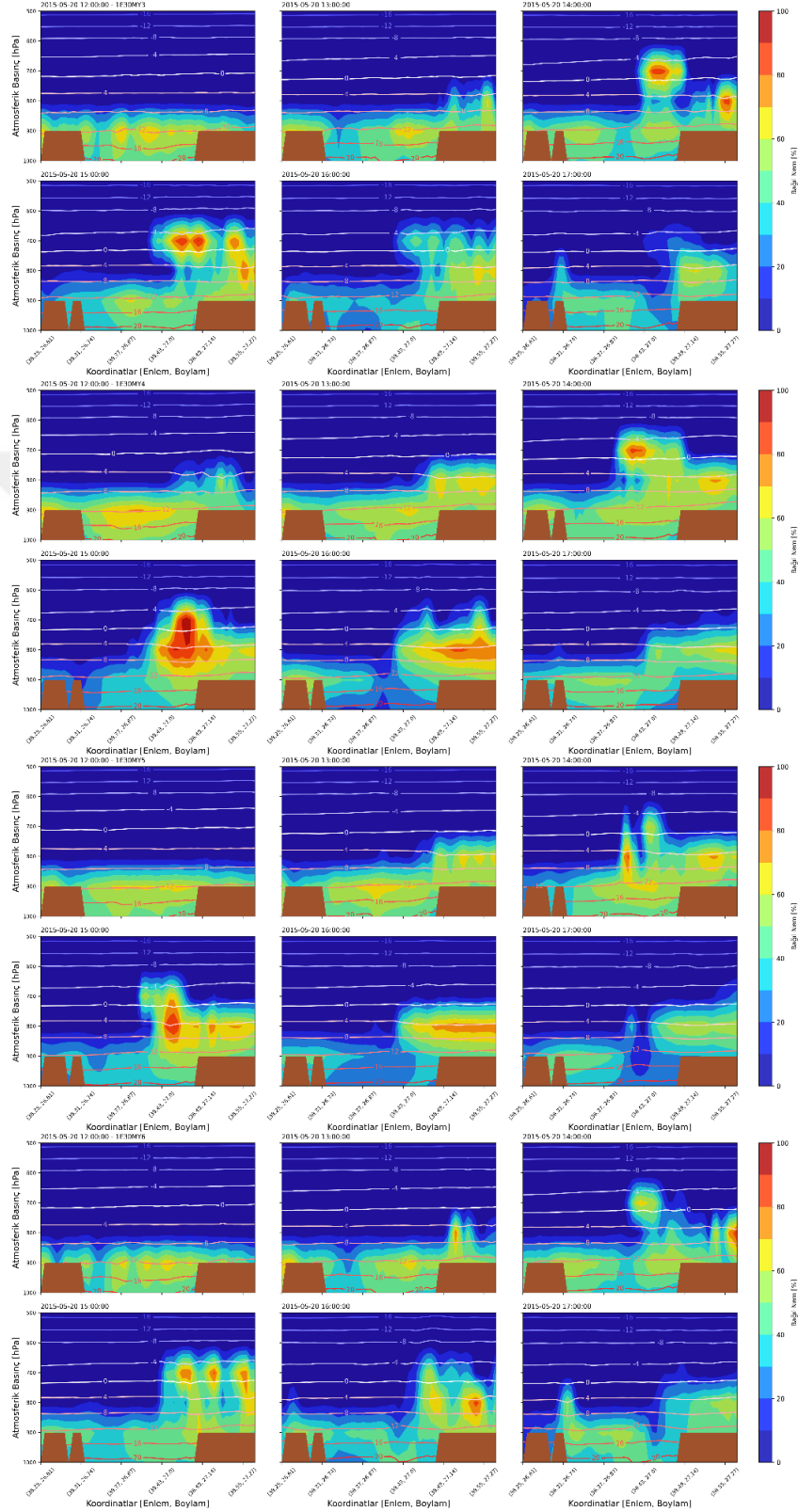




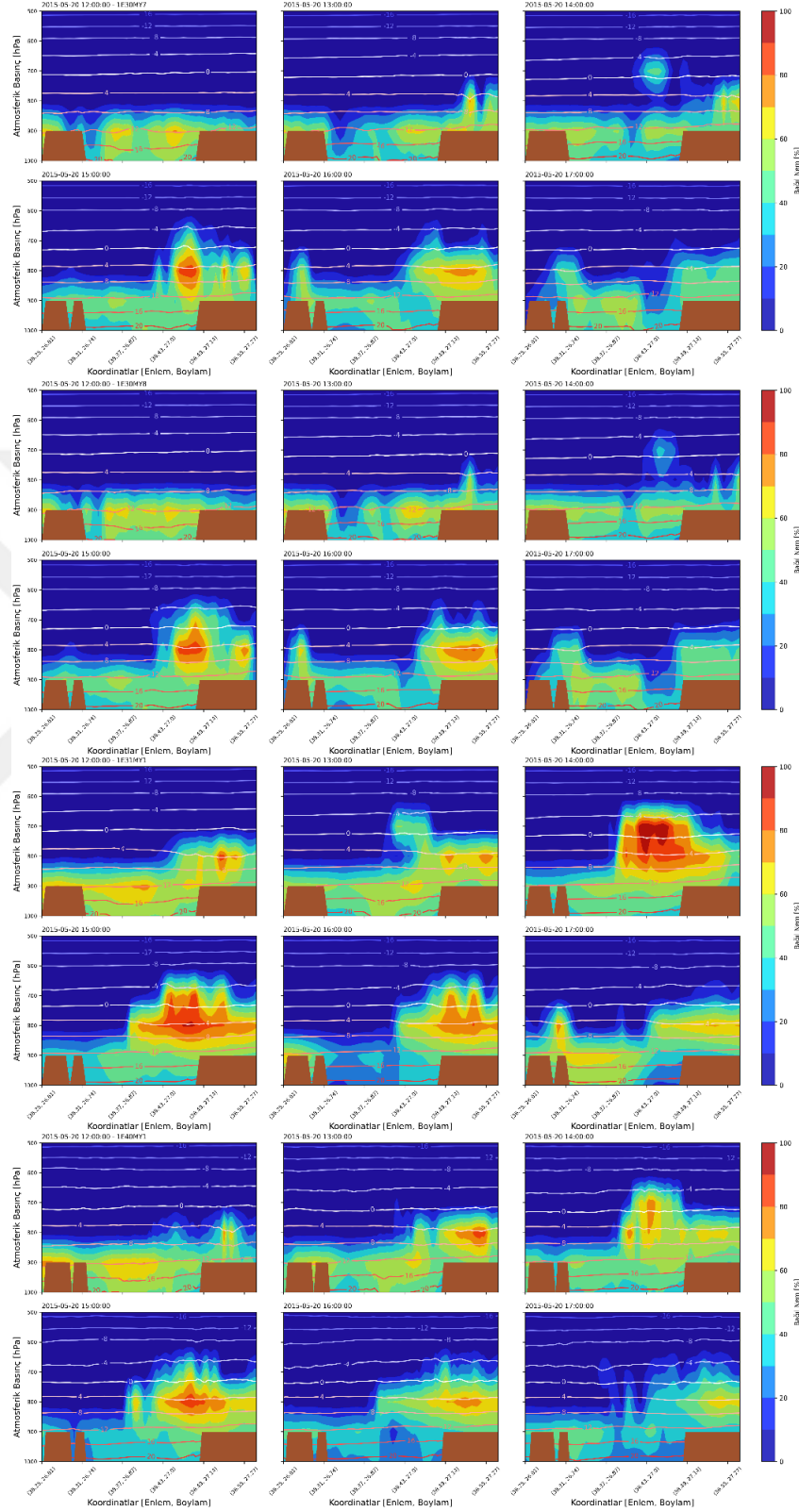
EK A



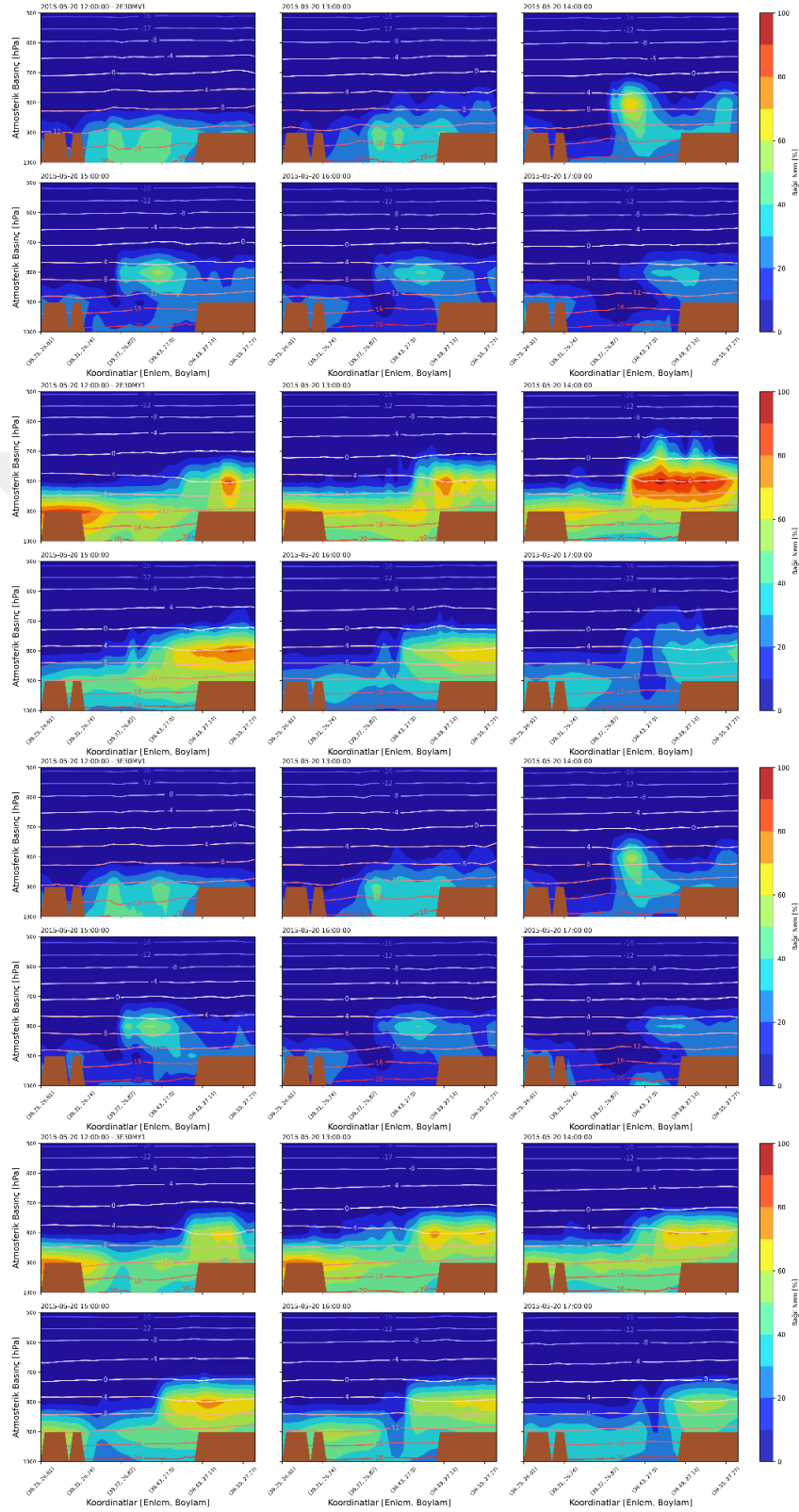
Şekil A.1 : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen bağıl nemin ve sıcaklığın yer seviyesinden 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine kadar olan düşey kesit görselleri.



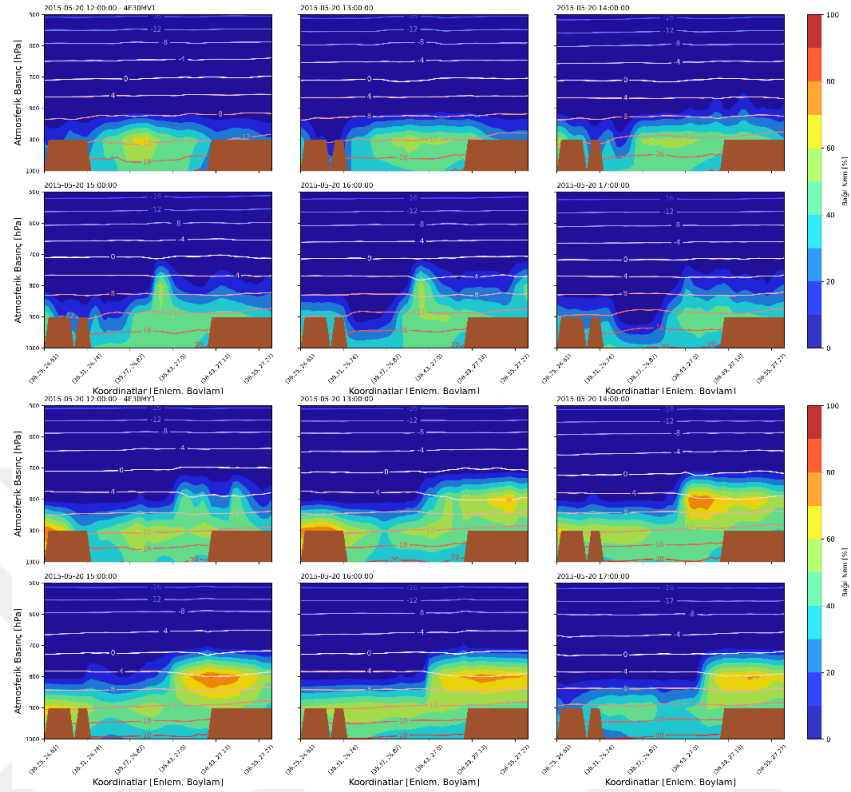
Şekil A.1 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen bağıl nemin ve sıcaklığın yer seviyesinden 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine kadar olan düşey kesit görselleri.



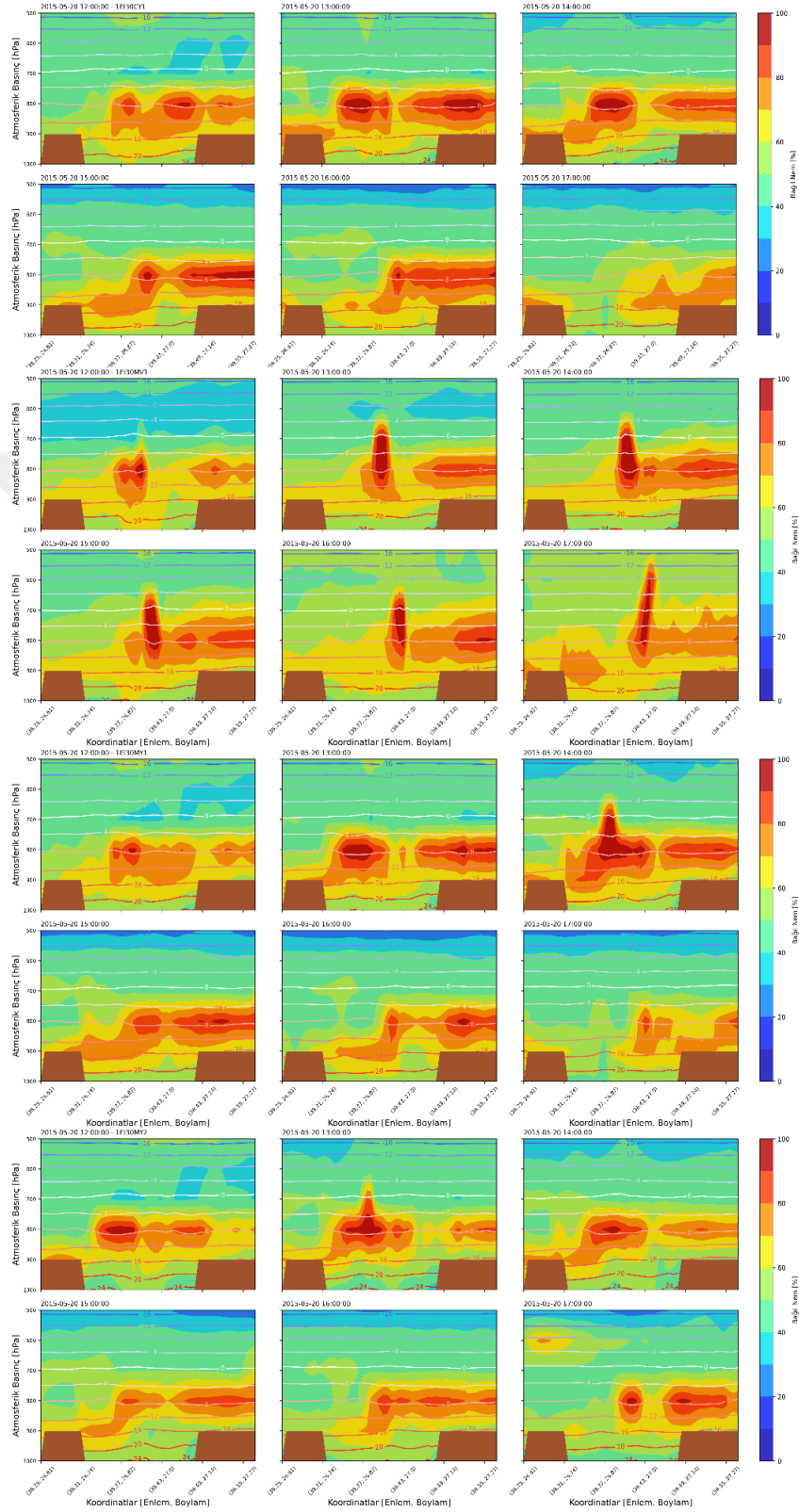
Şekil A.1 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen bağıl nemin ve sıcaklığın yer seviyesinden 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine kadar olan düşey kesit görselleri.



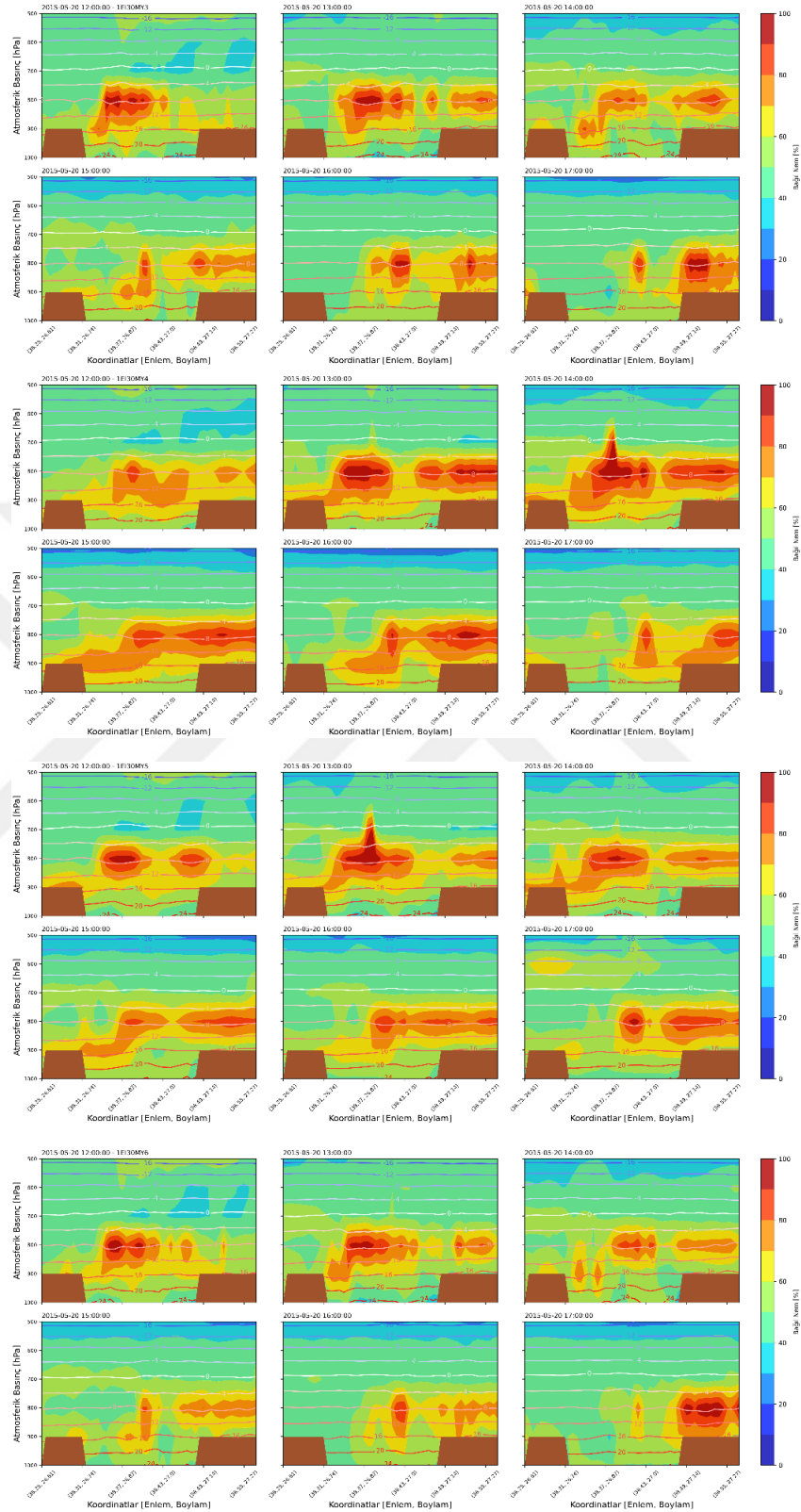
Şekil A.1 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen bağıl nemin ve sıcaklığın yer seviyesinden 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine kadar olan düşey kesit görselleri.



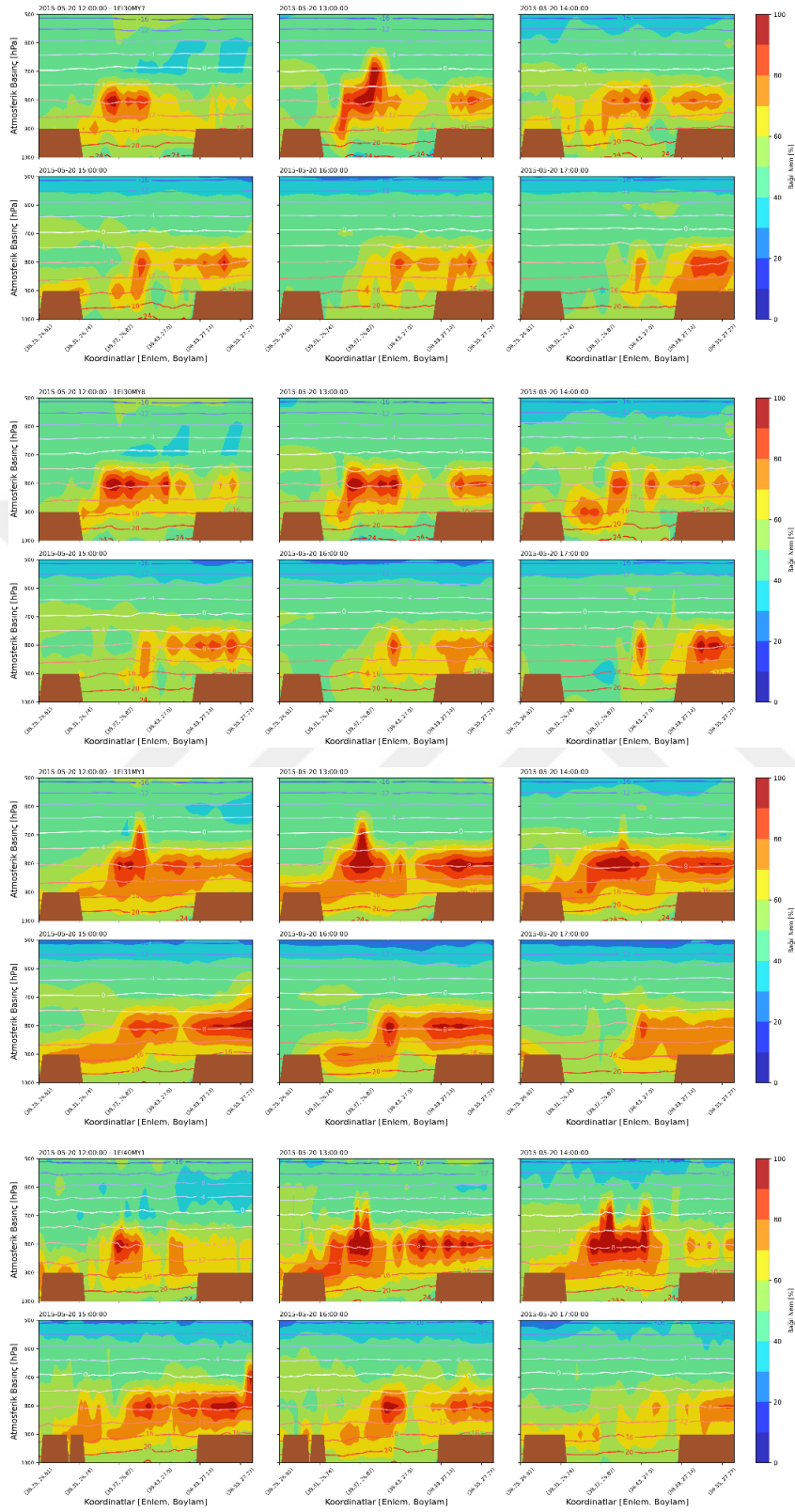
Şekil A.1 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen bağıl nemin ve sıcaklığın yer seviyesinden 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine kadar olan düşey kesit görselleri.



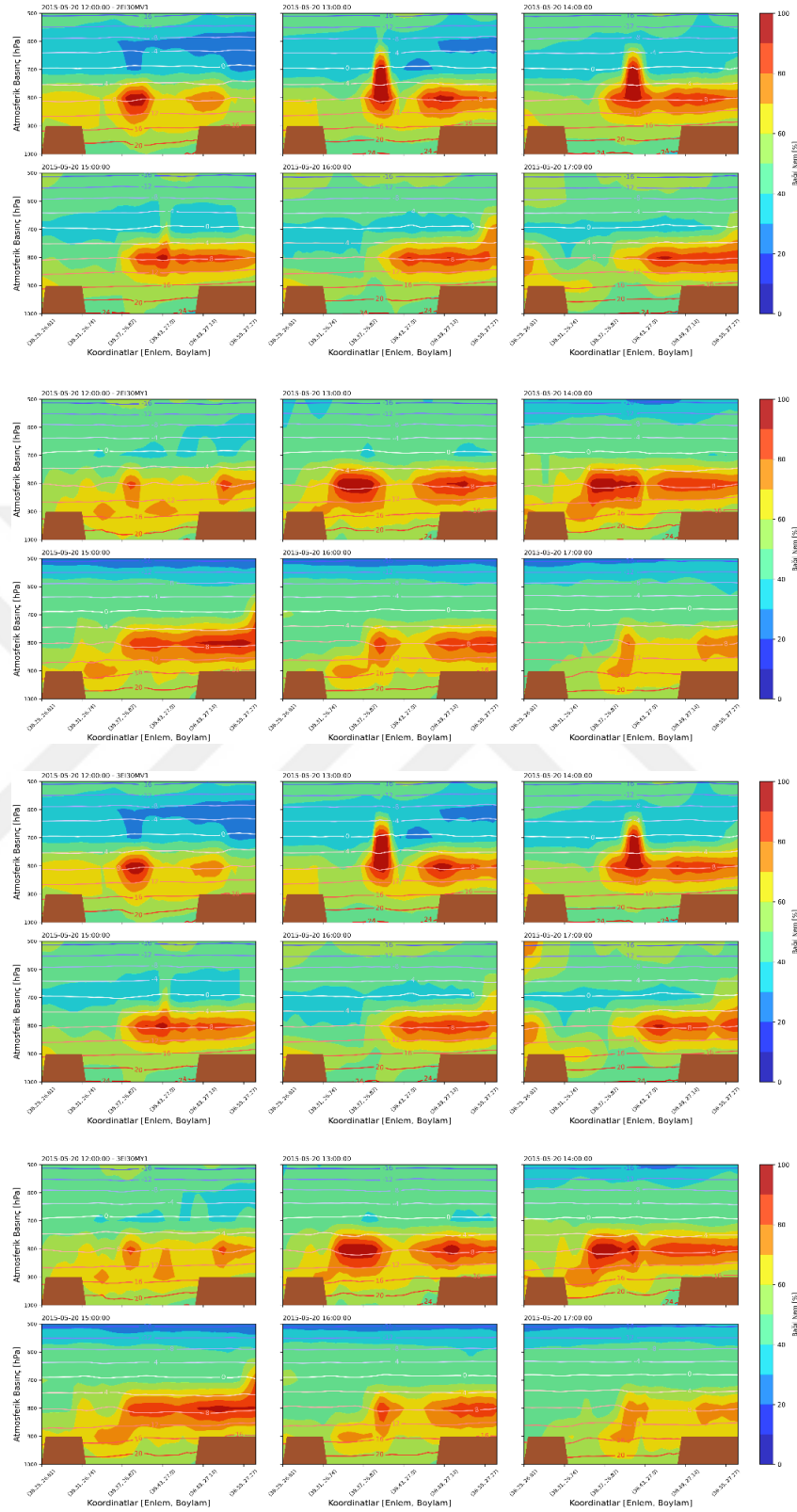
Şekil A.2 : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen bağıl nemin ve sıcaklığın yer seviyesinden 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine kadar olan düşey kesit görselleri.



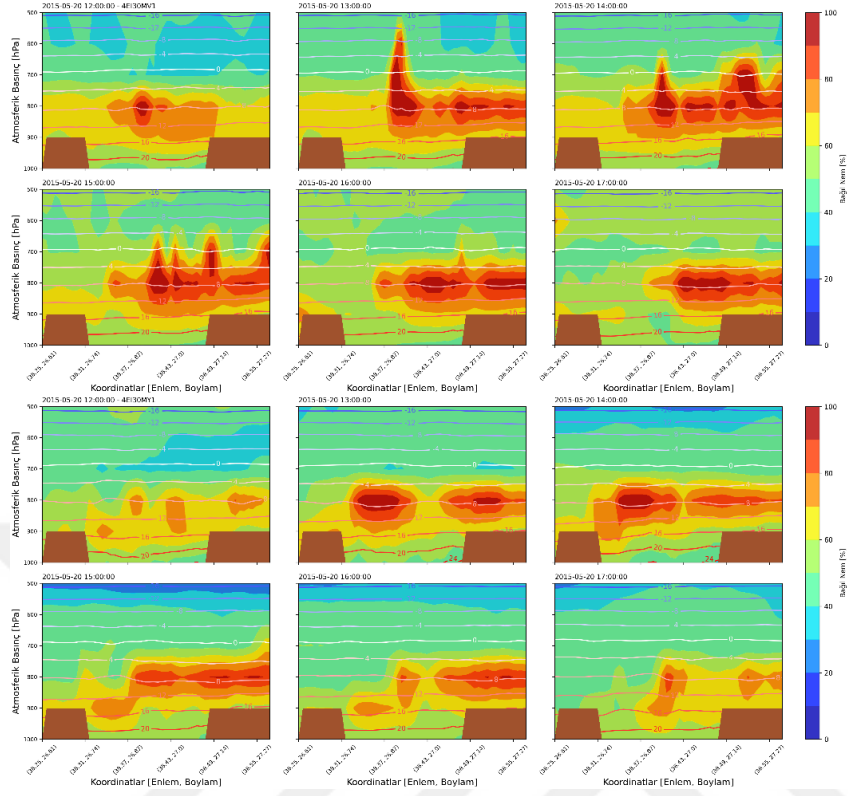
Şekil A.2 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen bağıl nemin ve sıcaklığın yer seviyesinden 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine kadar olan düşey kesit görselleri.



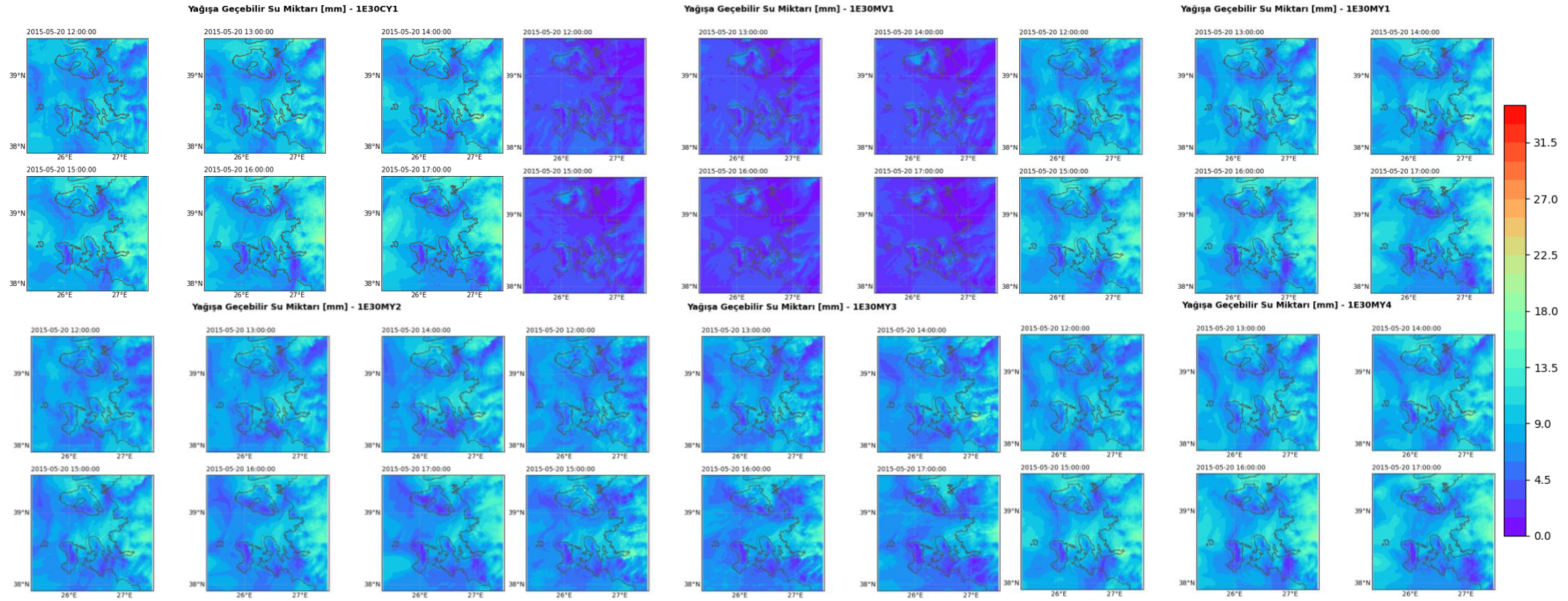
Şekil A.2 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen bağıl nemin ve sıcaklığın yer seviyesinden 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine kadar olan düşey kesit görselleri.

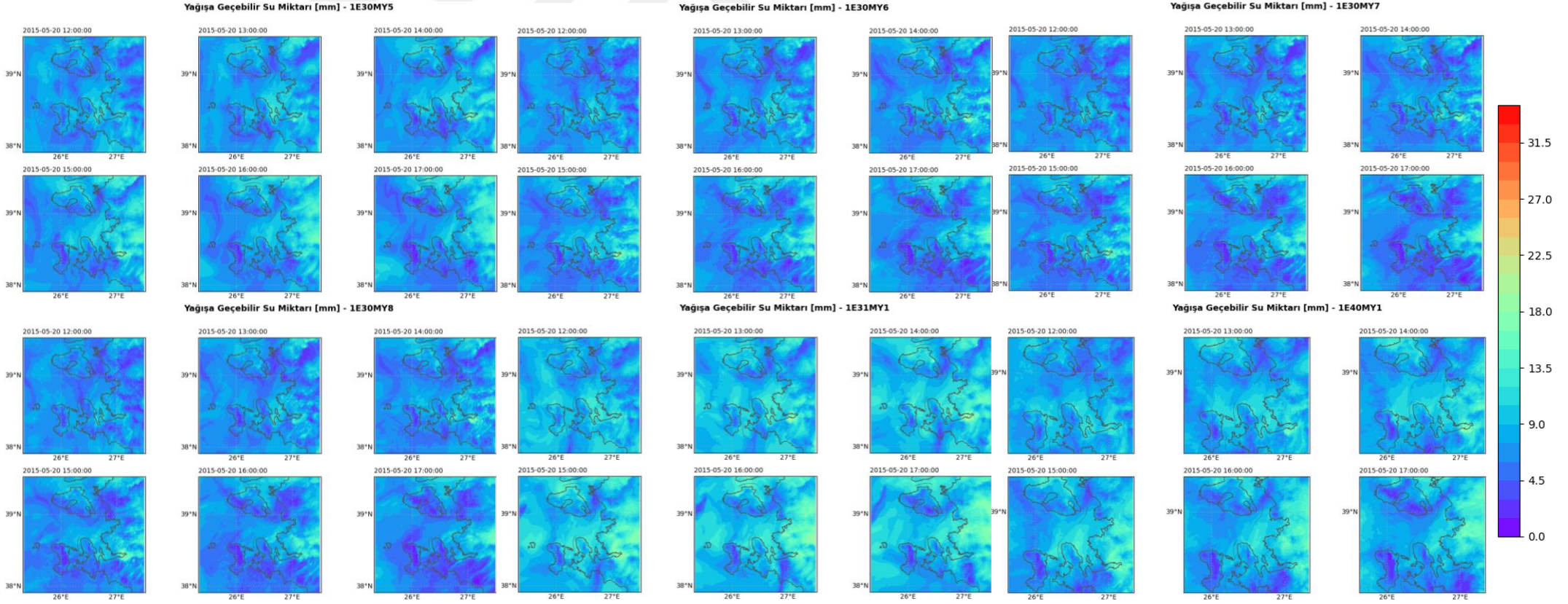


Şekil A.2 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen bağıl nemin ve sıcaklığın yer seviyesinden 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine kadar olan düşey kesit görselleri.

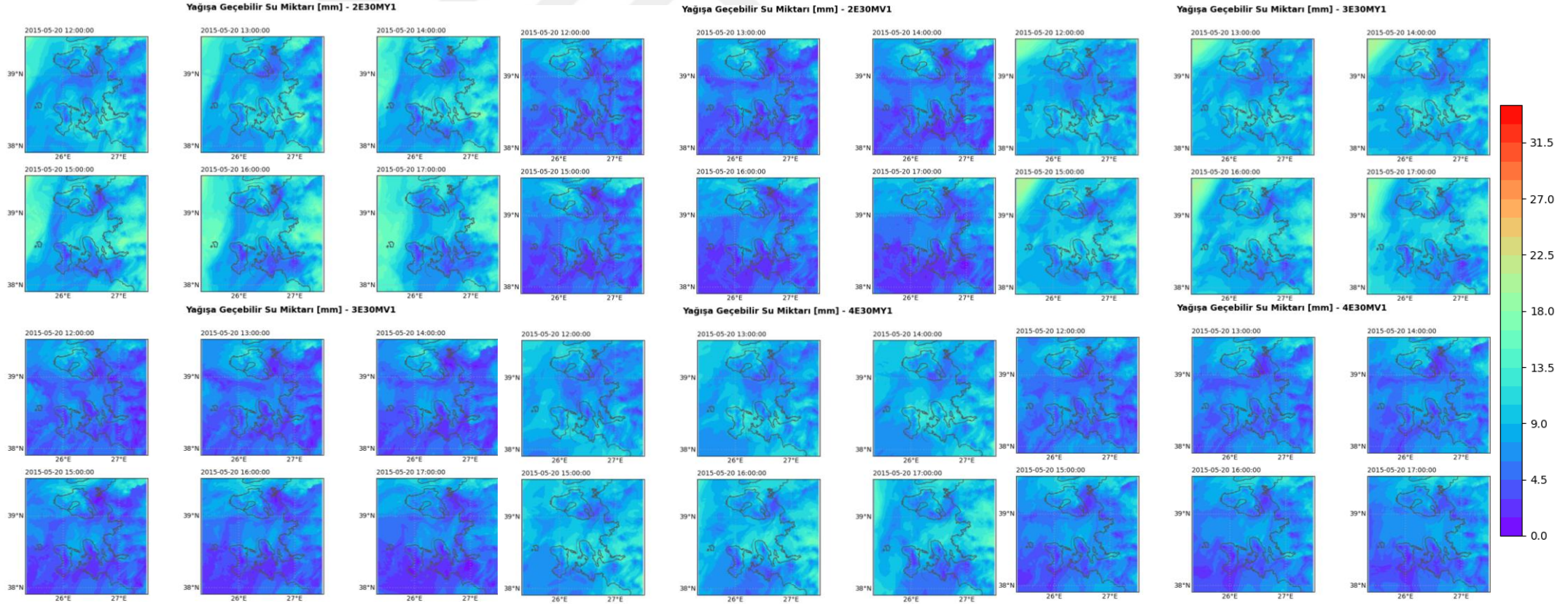


Şekil A.2 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen bağıl nemin ve sıcaklığın yer seviyesinden 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine kadar olan düşey kesit görselleri.

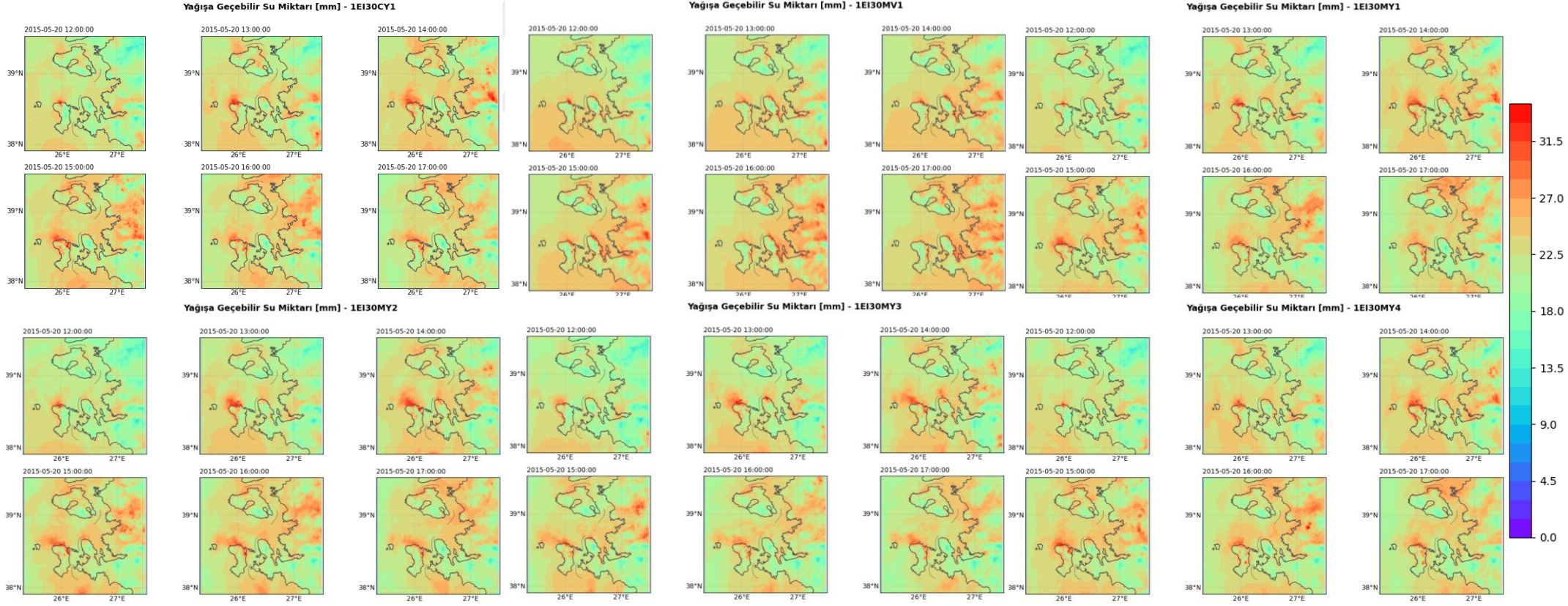




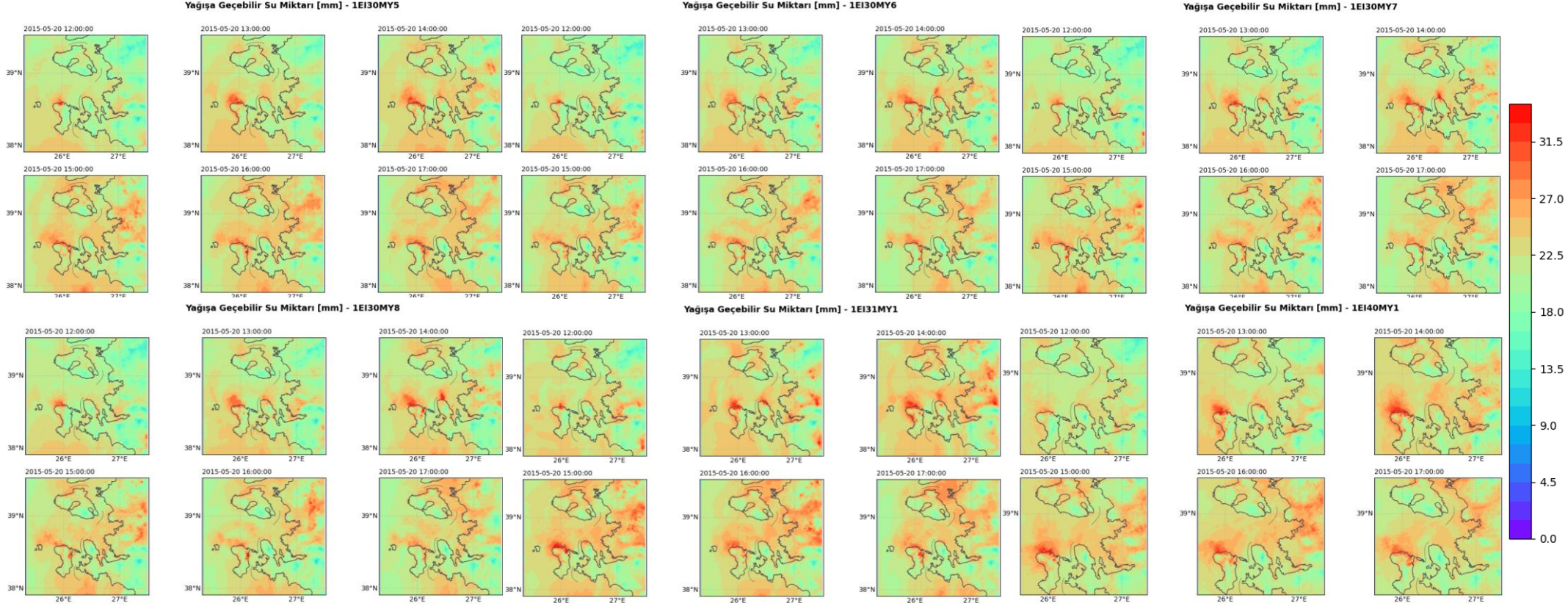
Şekil A.3 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller.



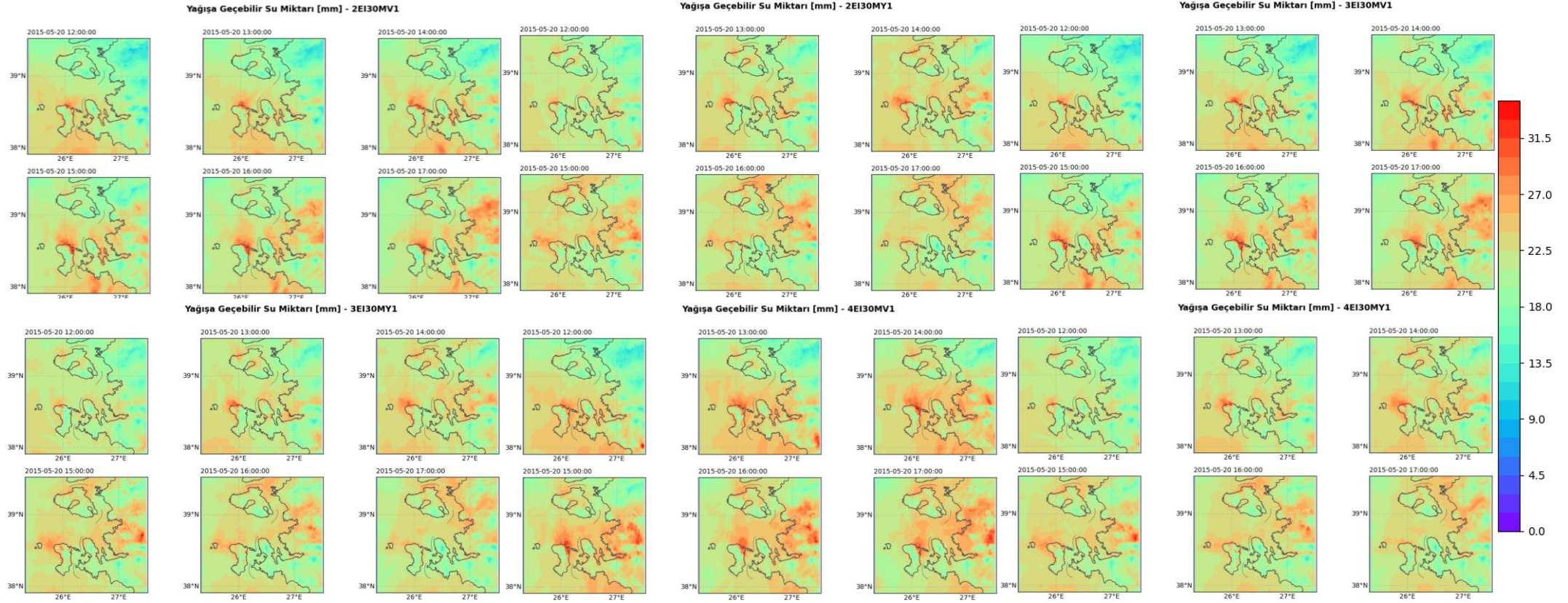
Şekil A.3 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller.



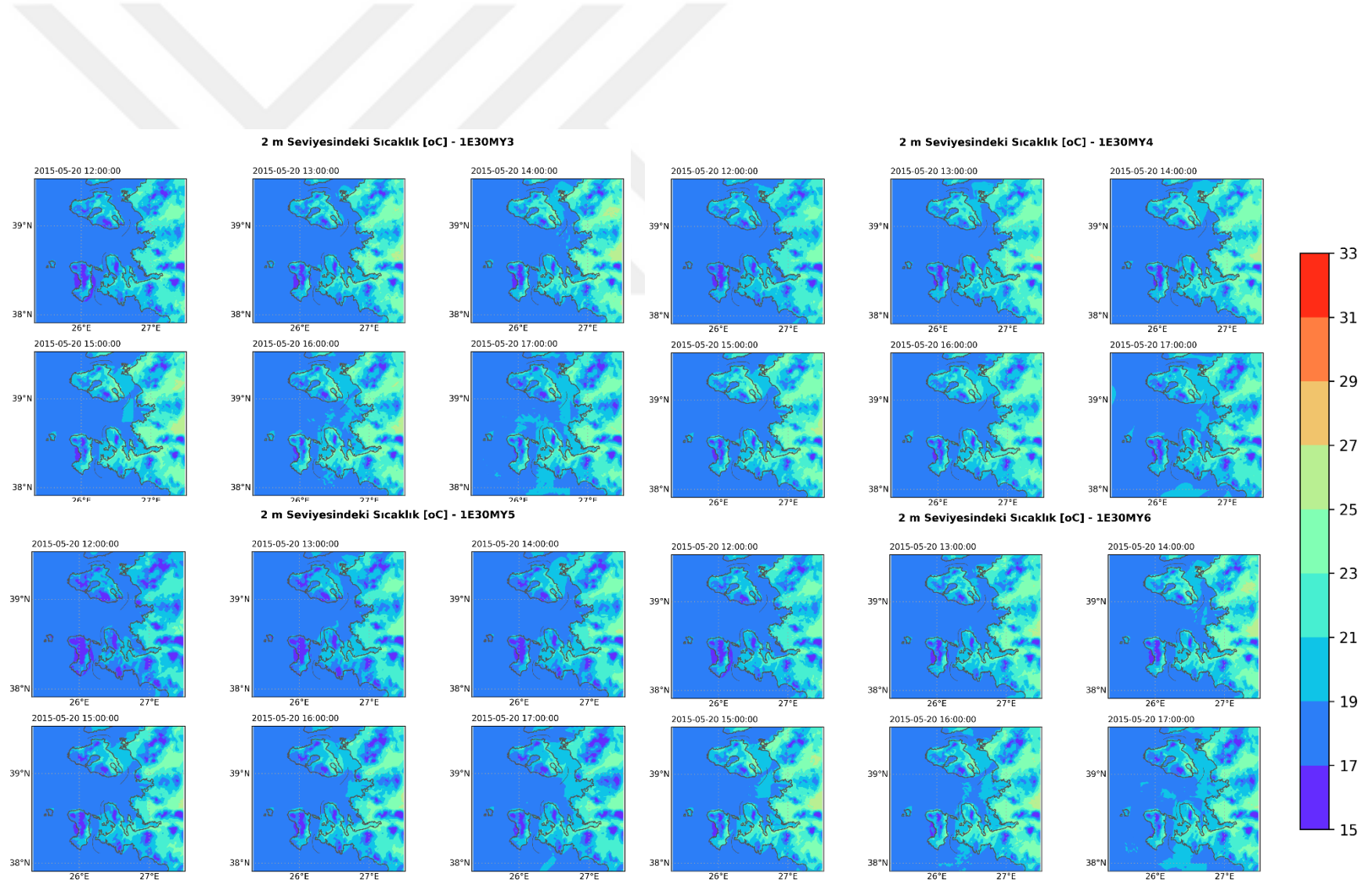
Şekil A.4 : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller.



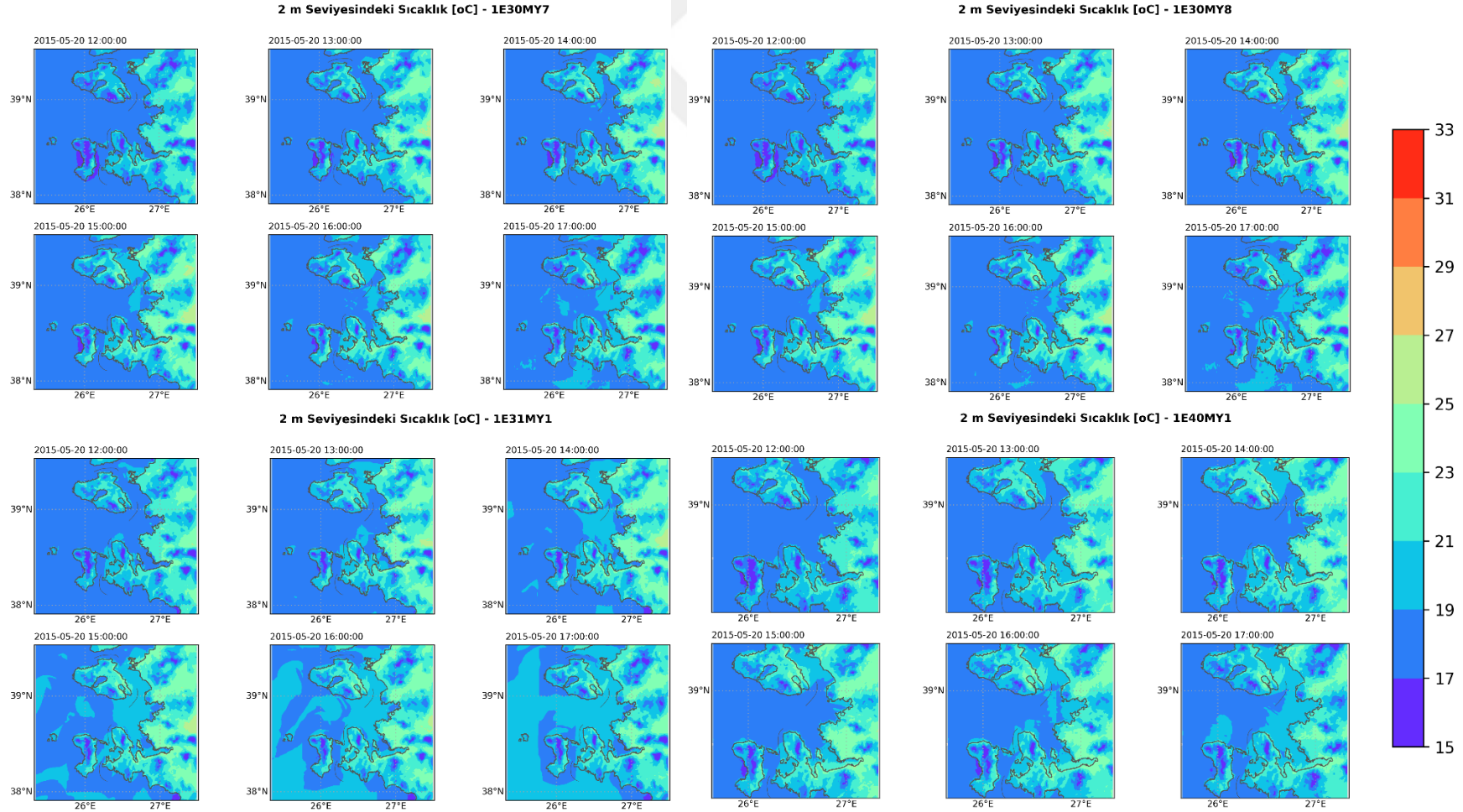
Şekil A.4 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller.



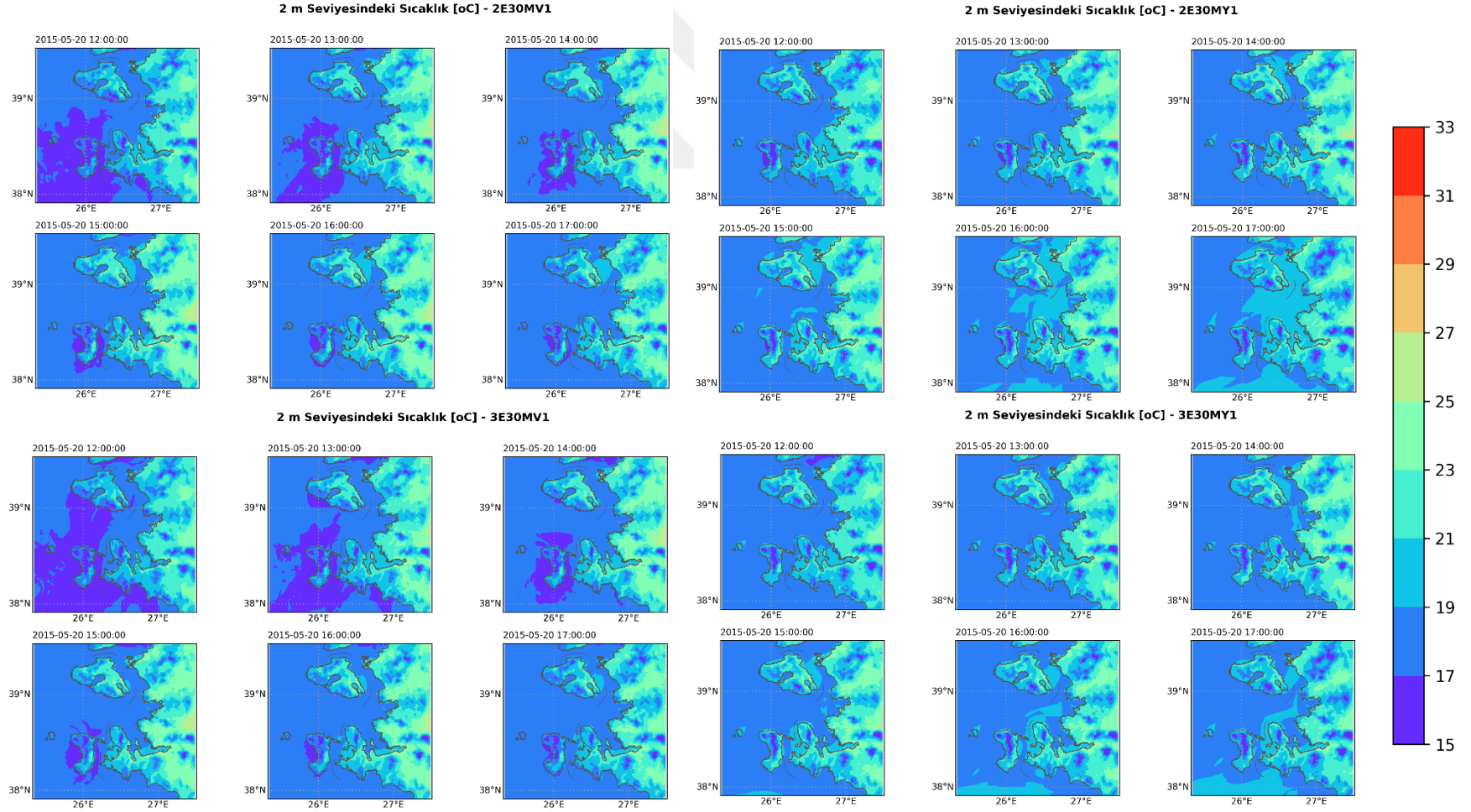
Şekil A.4 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller.



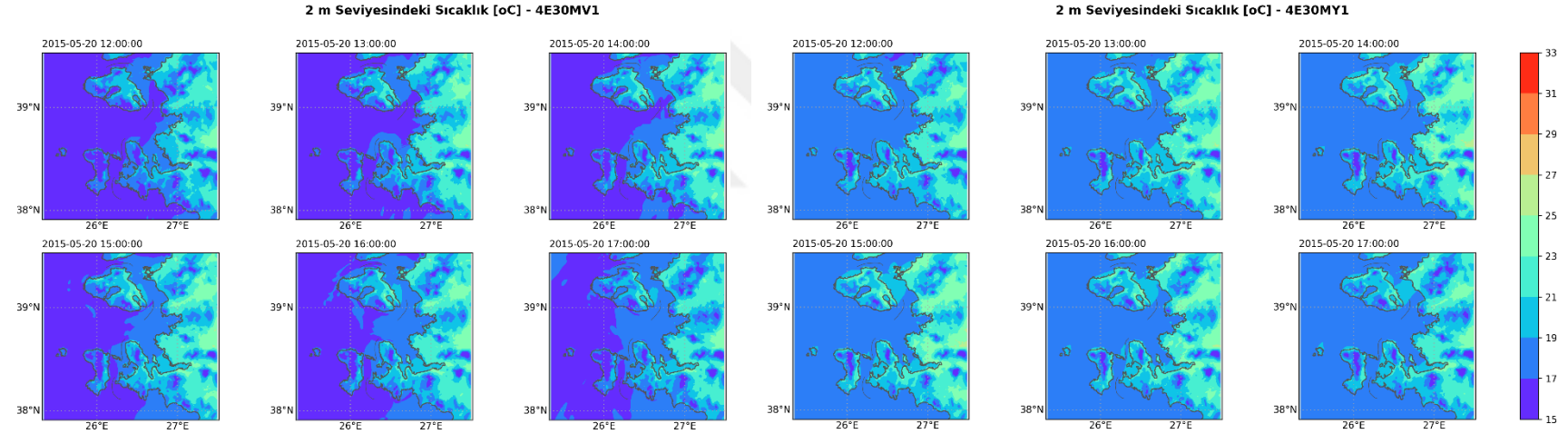
Şekil A.5 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller.



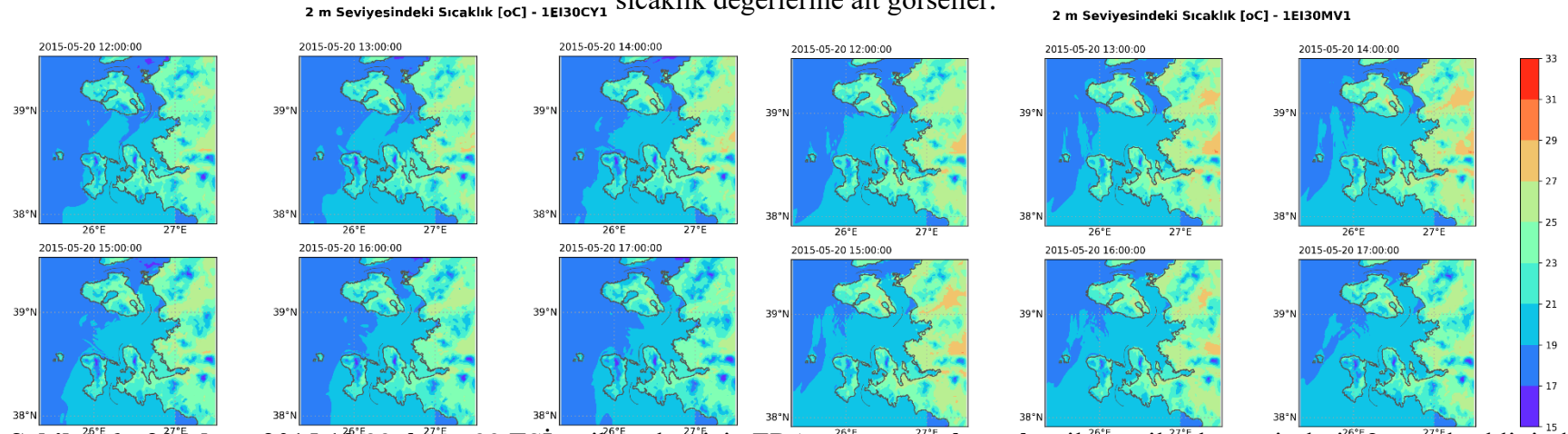
Şekil A.5 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller.



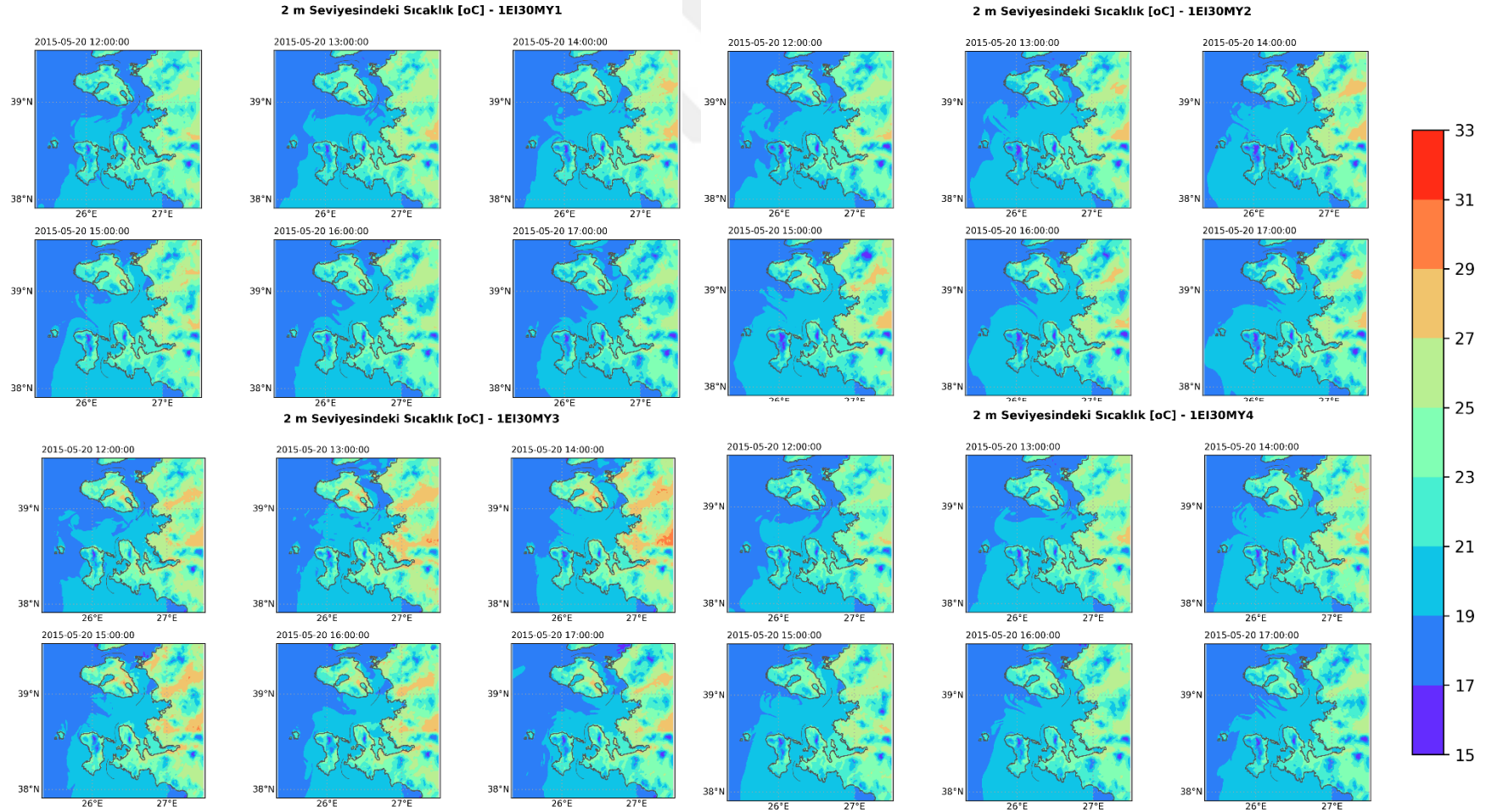
Şekil A.5 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller.



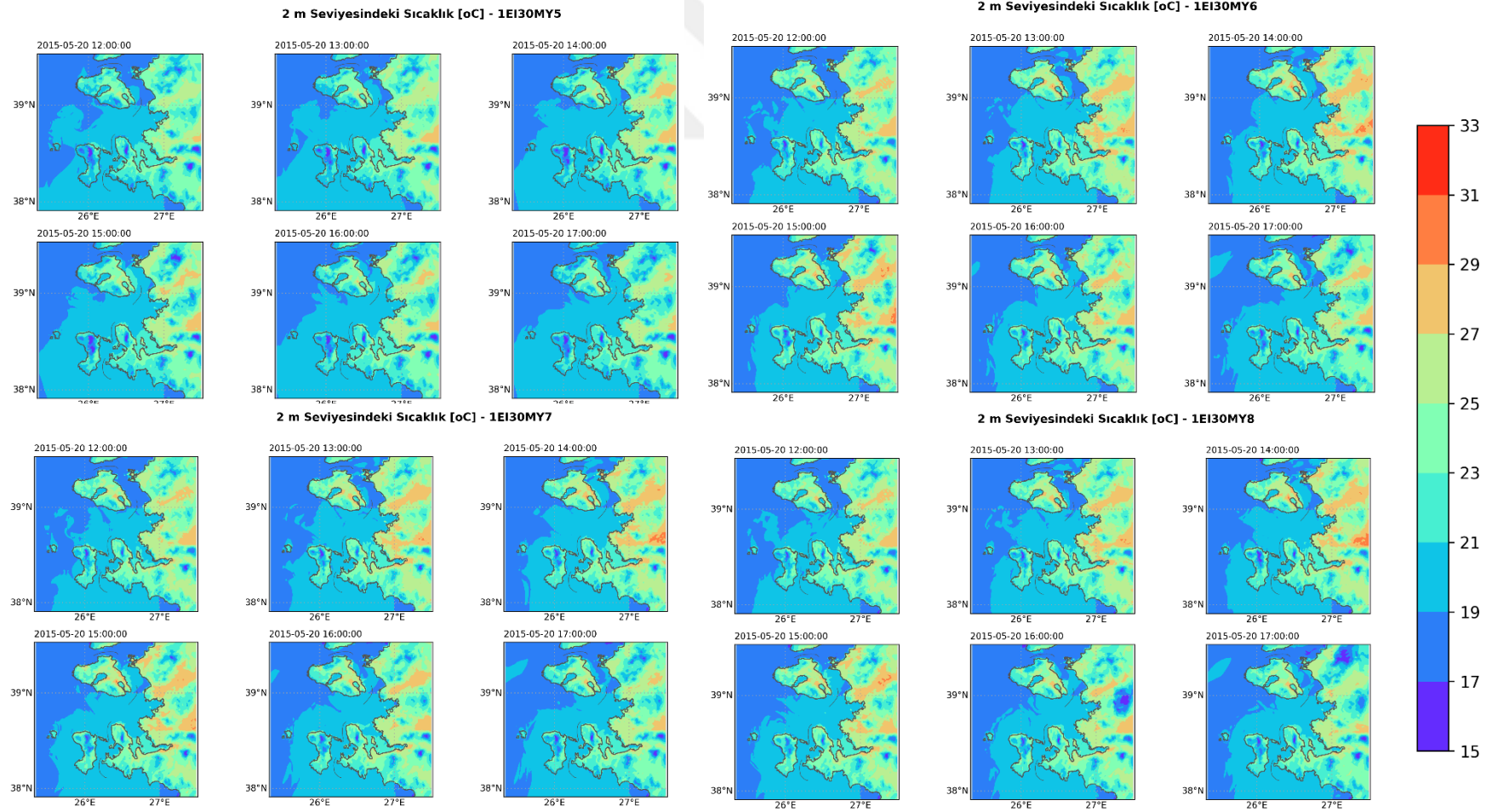
Şekil A.5 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller.



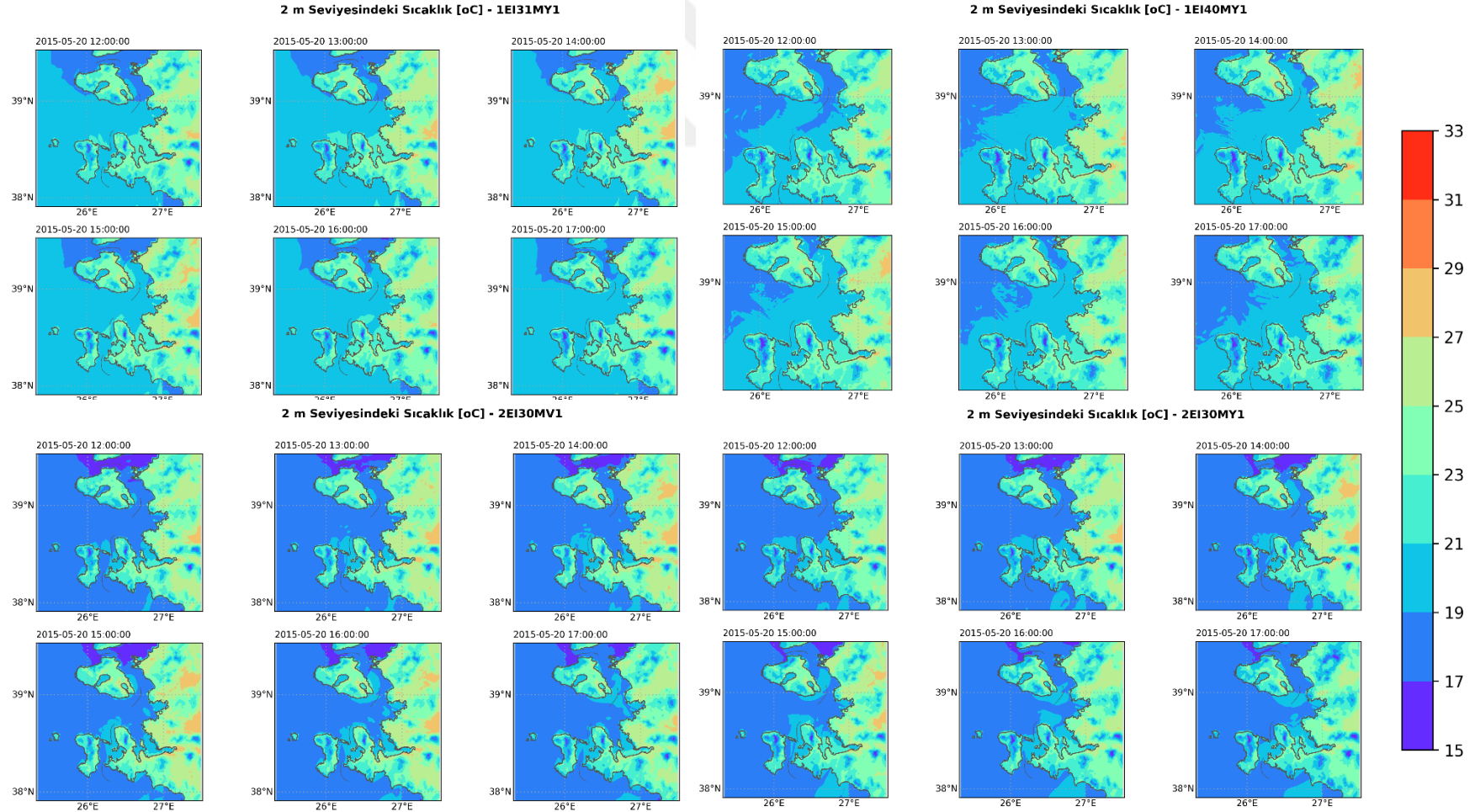
Şekil A.6 : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller.



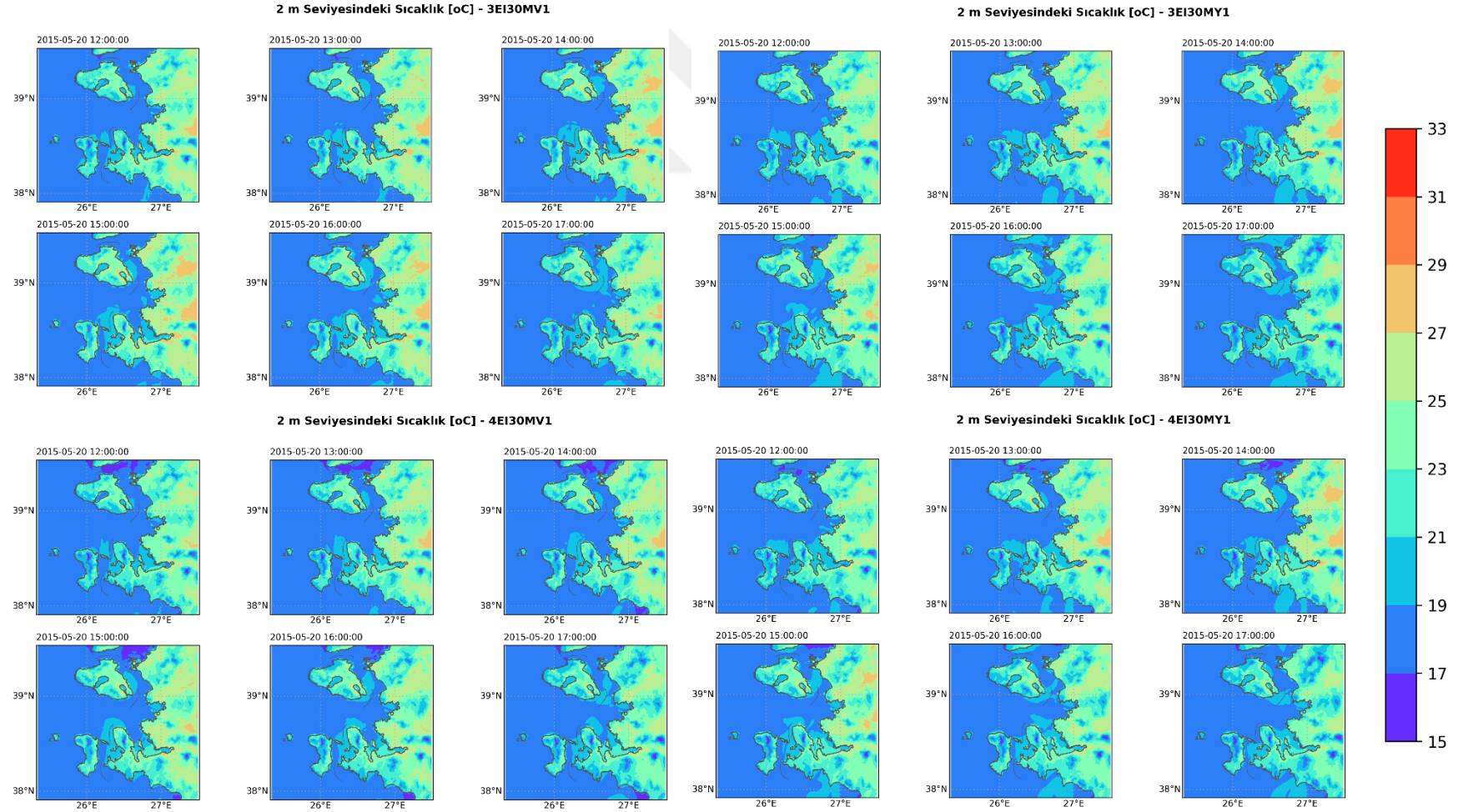
Şekil A.6 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller.



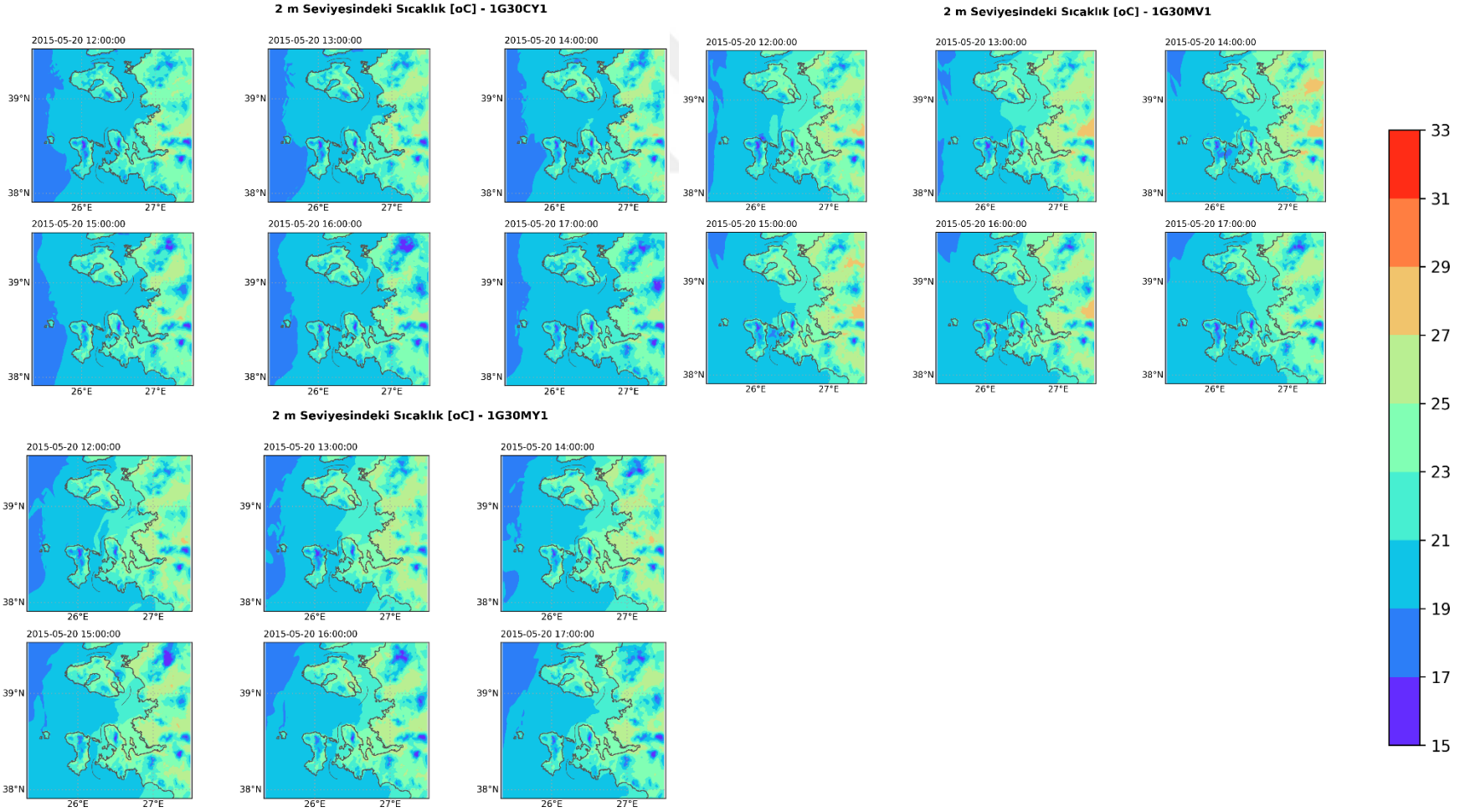
Şekil A.6 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller.



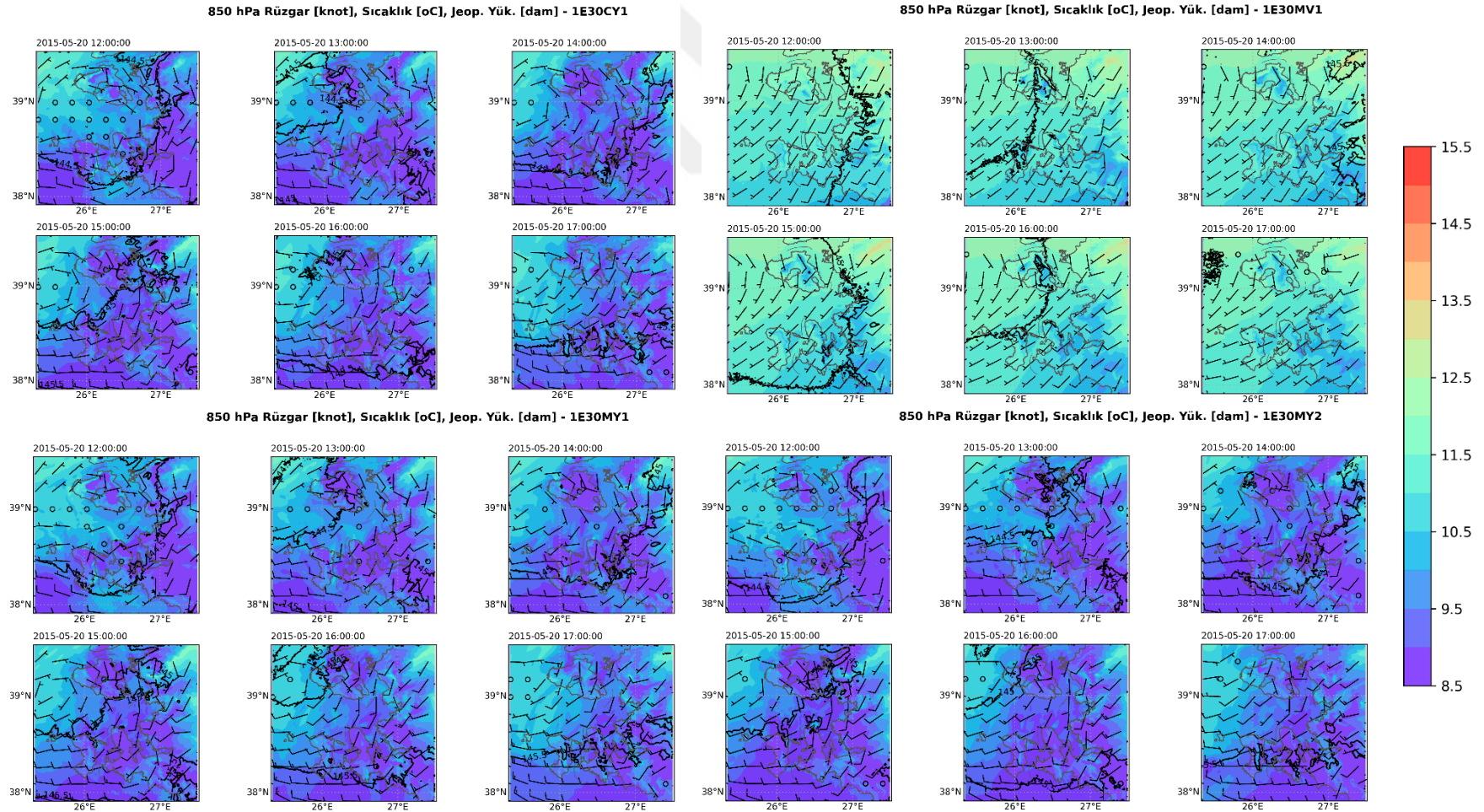
Şekil A.6 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller.



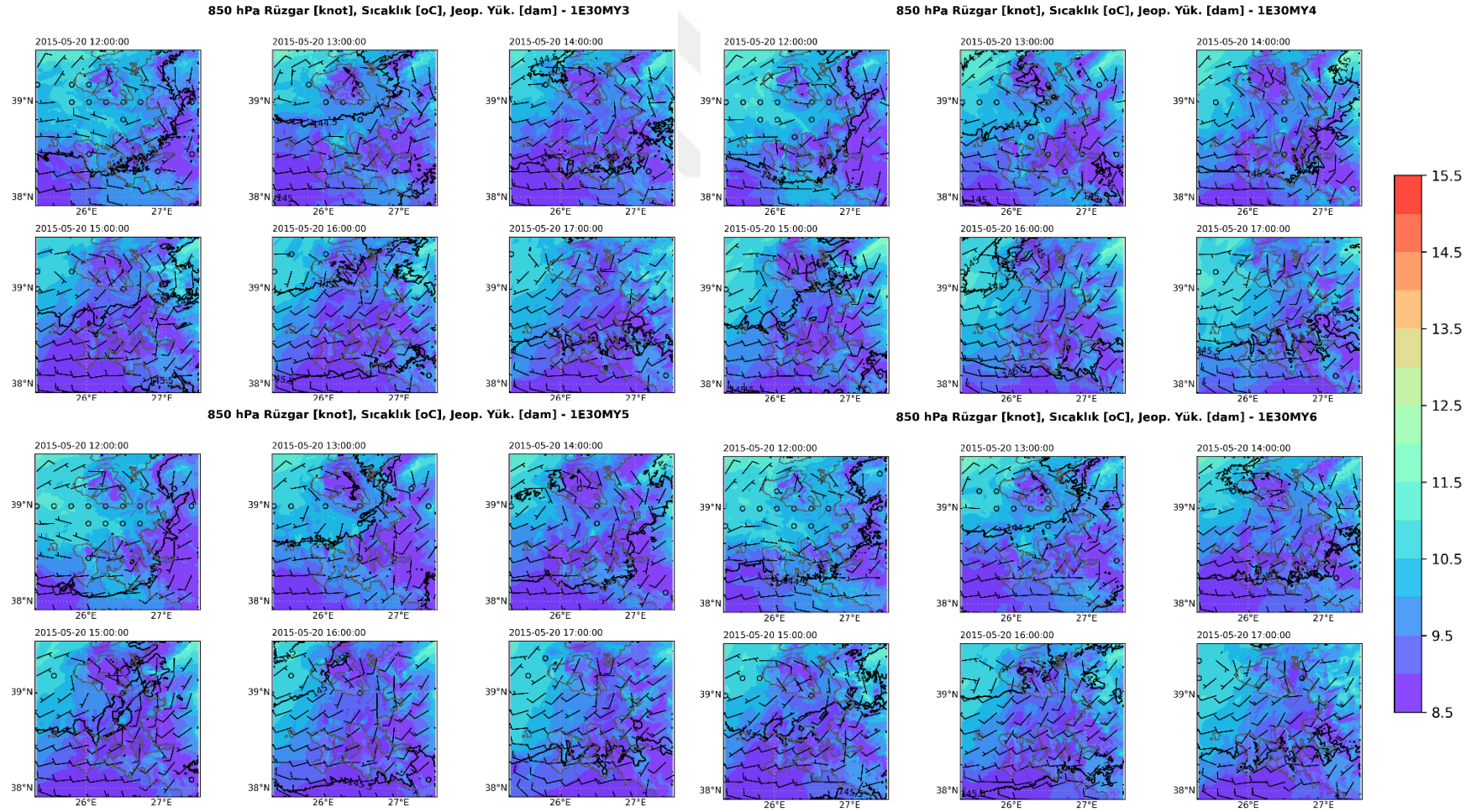
Şekil A.6 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller.



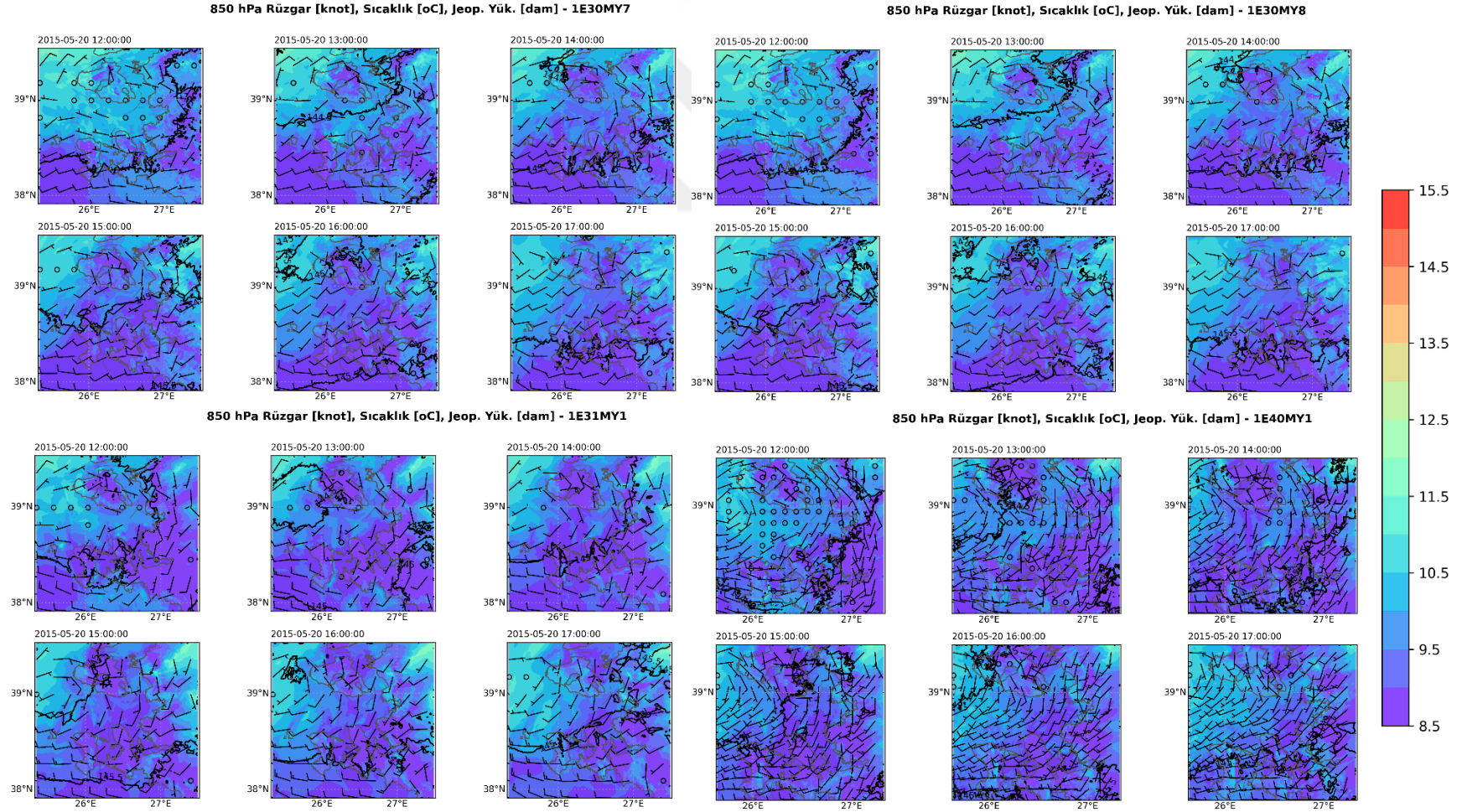
Şekil A.7 : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için GFS girdi ile üretilen benzetimlerin 2 m yüksekliğindeki sıcaklık değerlerine ait görseller.



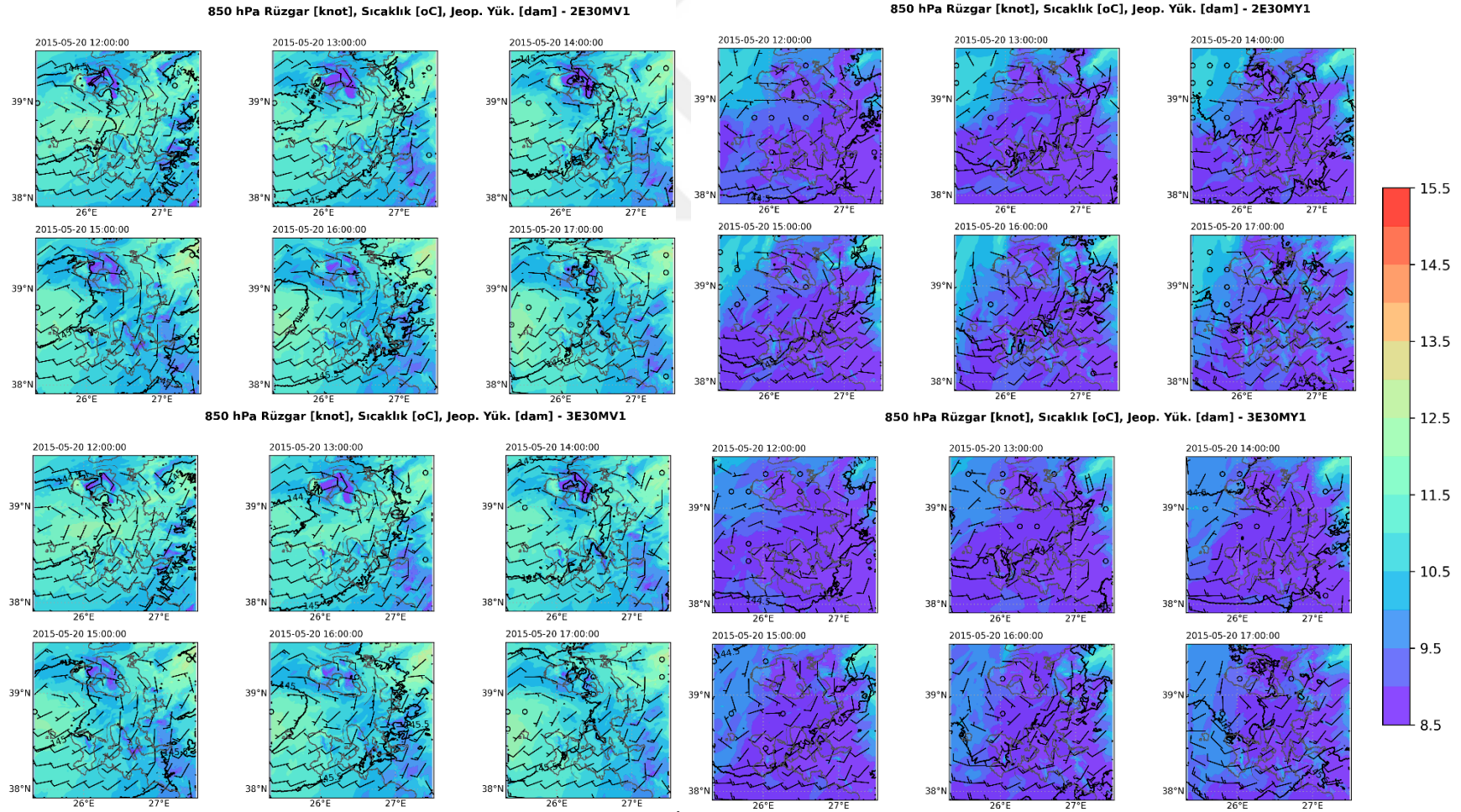
Şekil A.8 : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliklerini, sıcaklık ve rüzgar değerlerini ifade eden görseller. Jeopotansiyel yükseklikler, konturlar ile ifade edilmiştir.



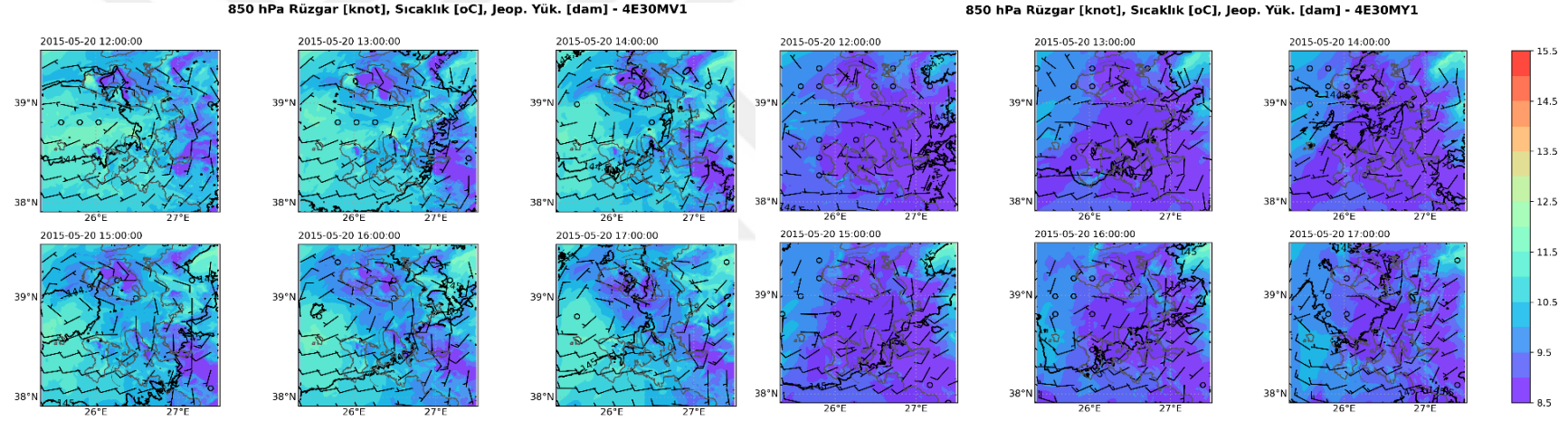
Şekil A.8 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliklerini, sıcaklık ve rüzgar değerlerini ifade eden görseller. Jeopotansiyel yükseklikler, konturlar ile ifade edilmiştir.



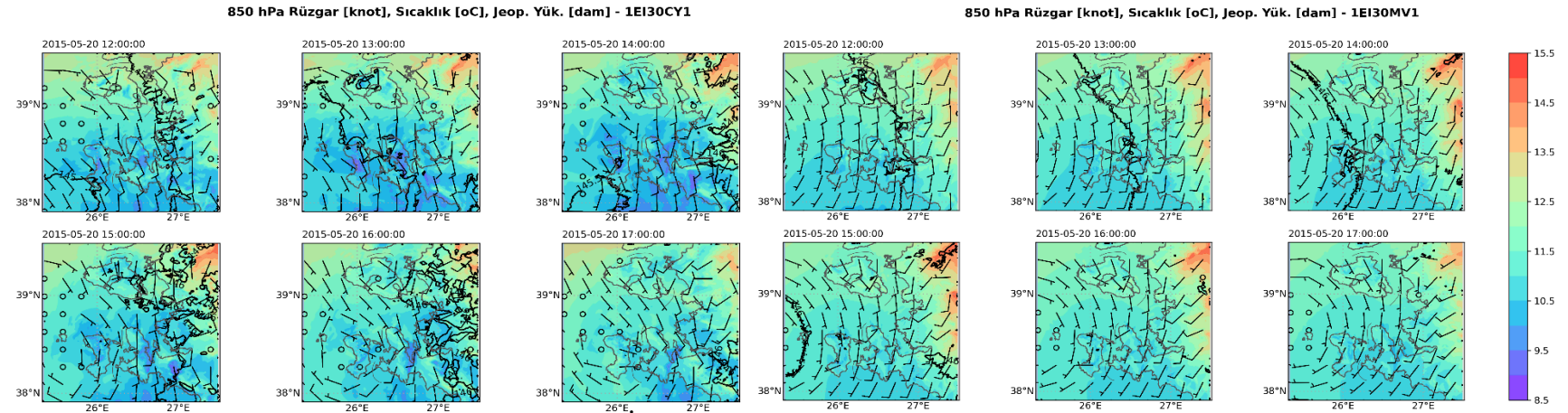
Şekil A.8 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliklerini, sıcaklık ve rüzgar değerlerini ifade eden görseller. Jeopotansiyel yükseklikler, konturlar ile ifade edilmiştir.



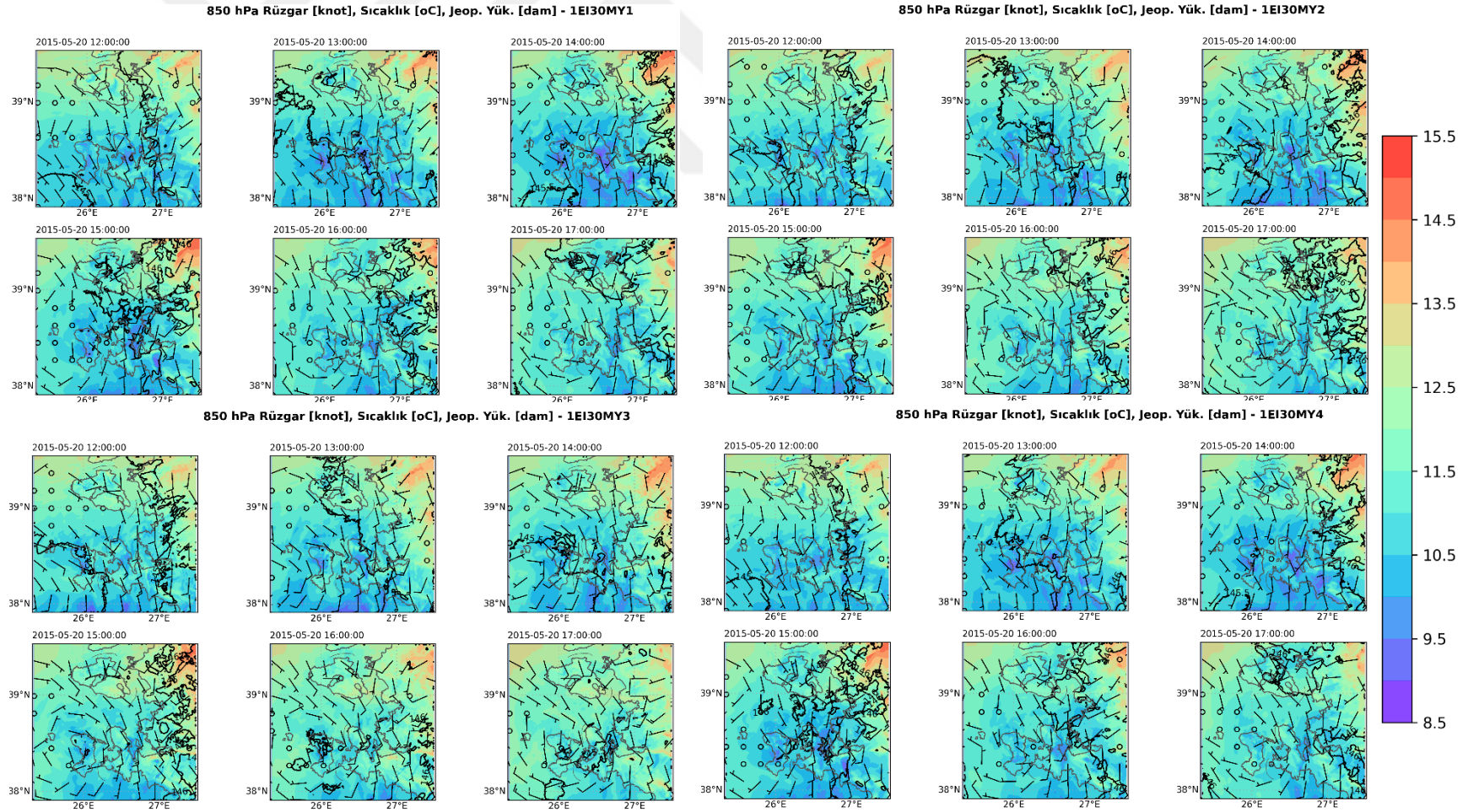
Şekil A.8 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliklerini, sıcaklık ve rüzgar değerlerini ifade eden görseller. Jeopotansiyel yükseklikler, konturlar ile ifade edilmiştir.



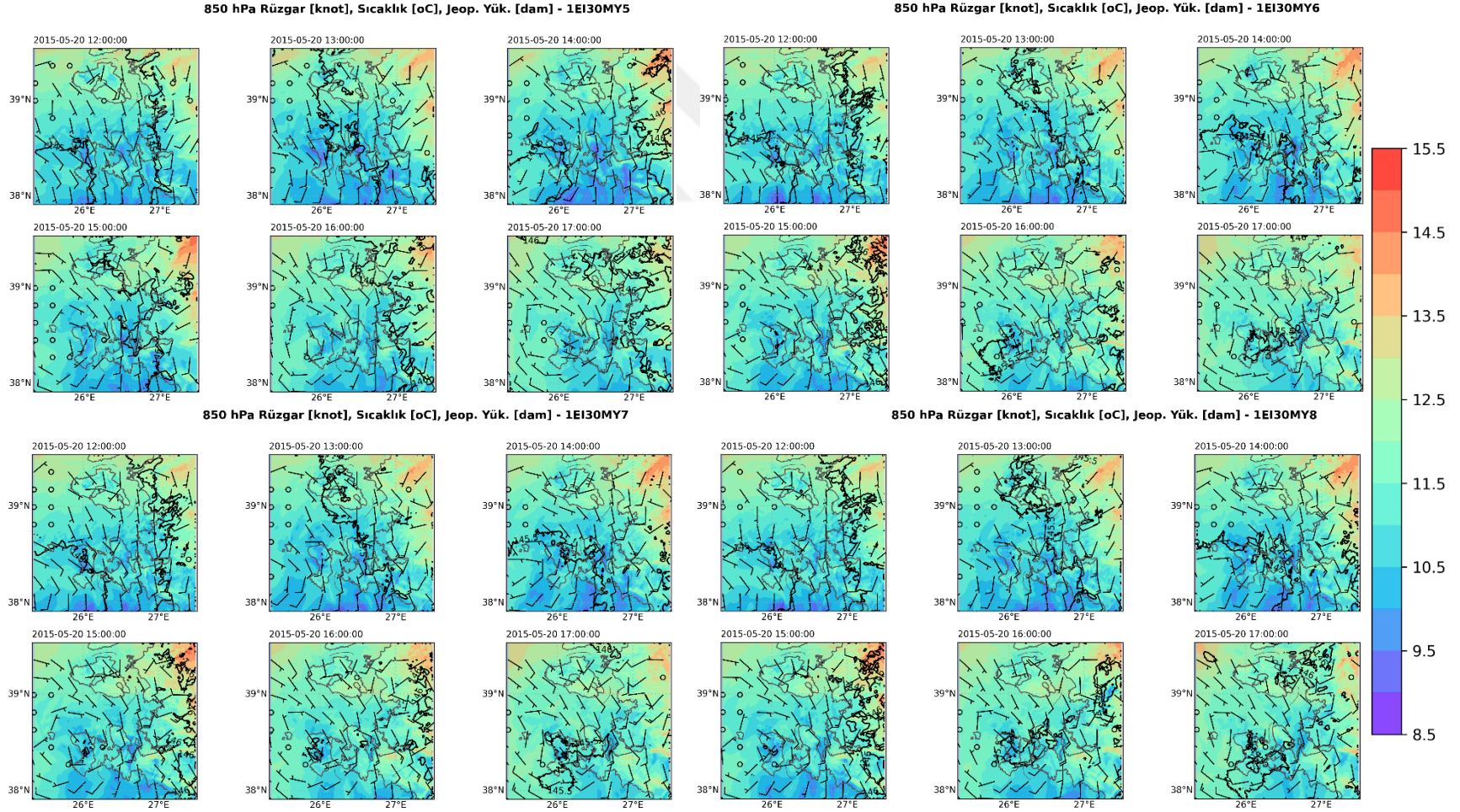
Şekil A.8 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliklerini, sıcaklık ve rüzgar değerlerini ifade eden görseller. Jeopotansiyel yükseklikler, konturlar ile ifade edilmiştir.



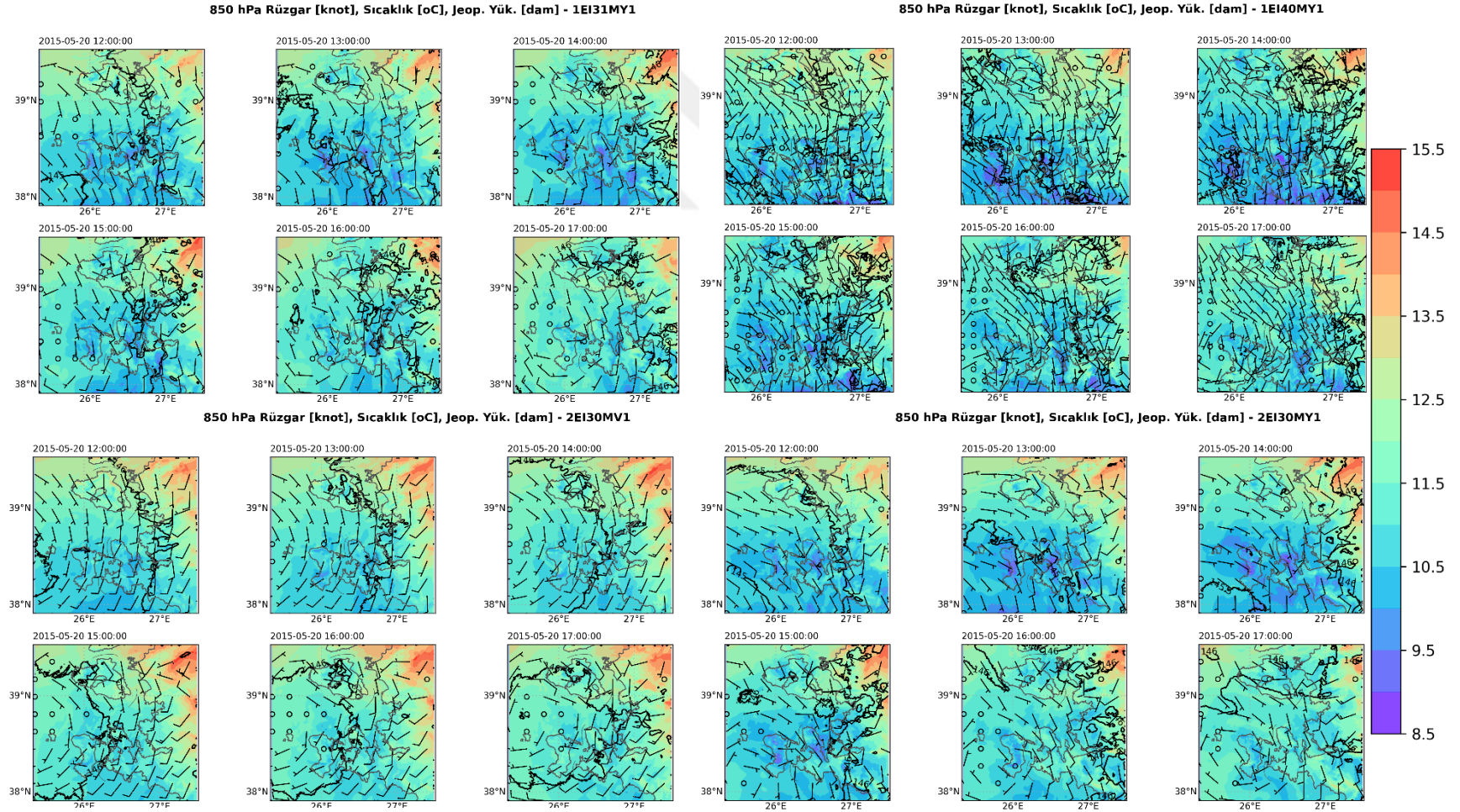
Şekil A.9 : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliklerini, sıcaklık ve rüzgar değerlerini ifade eden görseller. Jeopotansiyel yükseklikler, konturlar ile ifade edilmiştir.



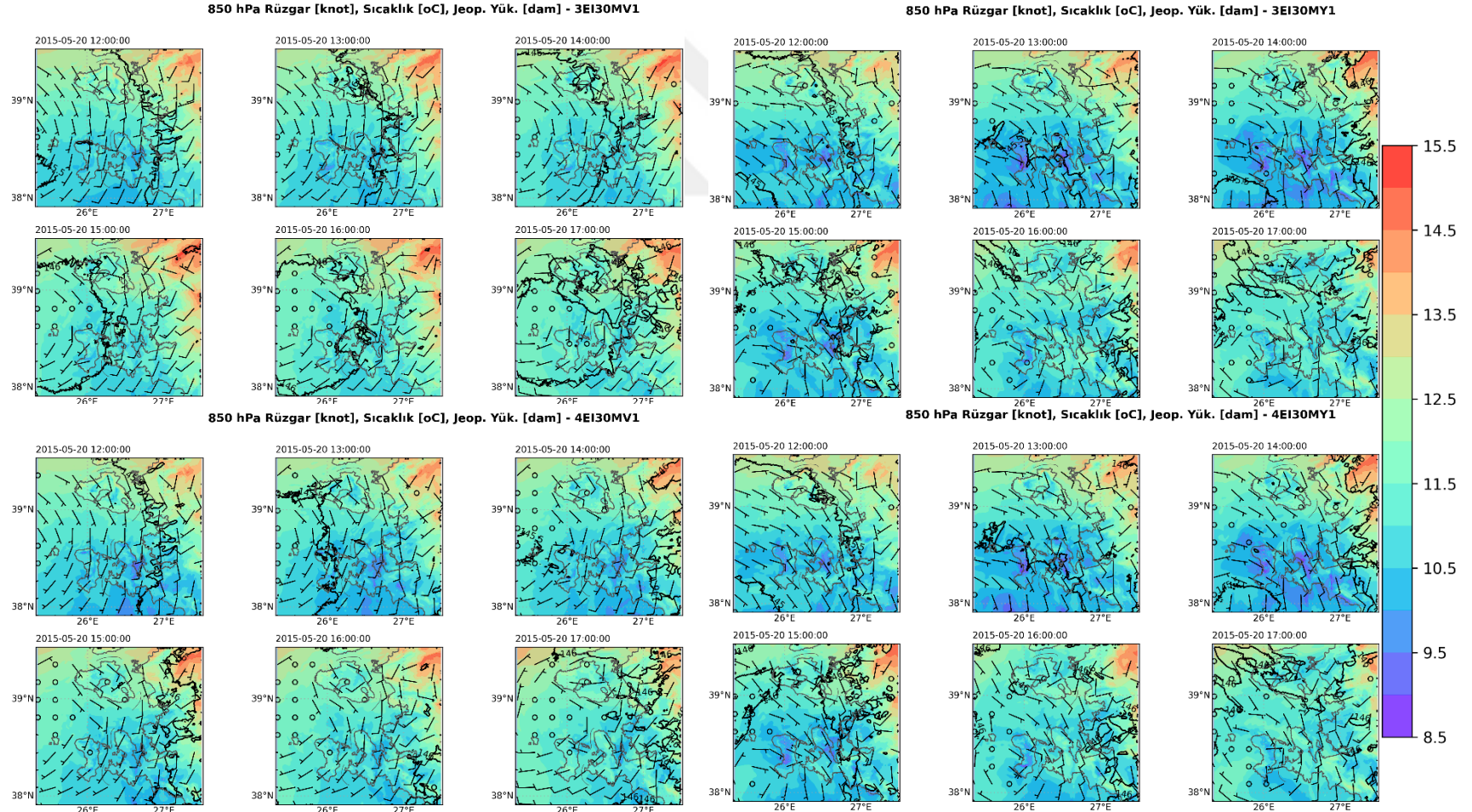
Şekil A.9 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliklerini, sıcaklık ve rüzgar değerlerini ifade eden görseller. Jeopotansiyel yükseklikler, konturlar ile ifade edilmiştir.



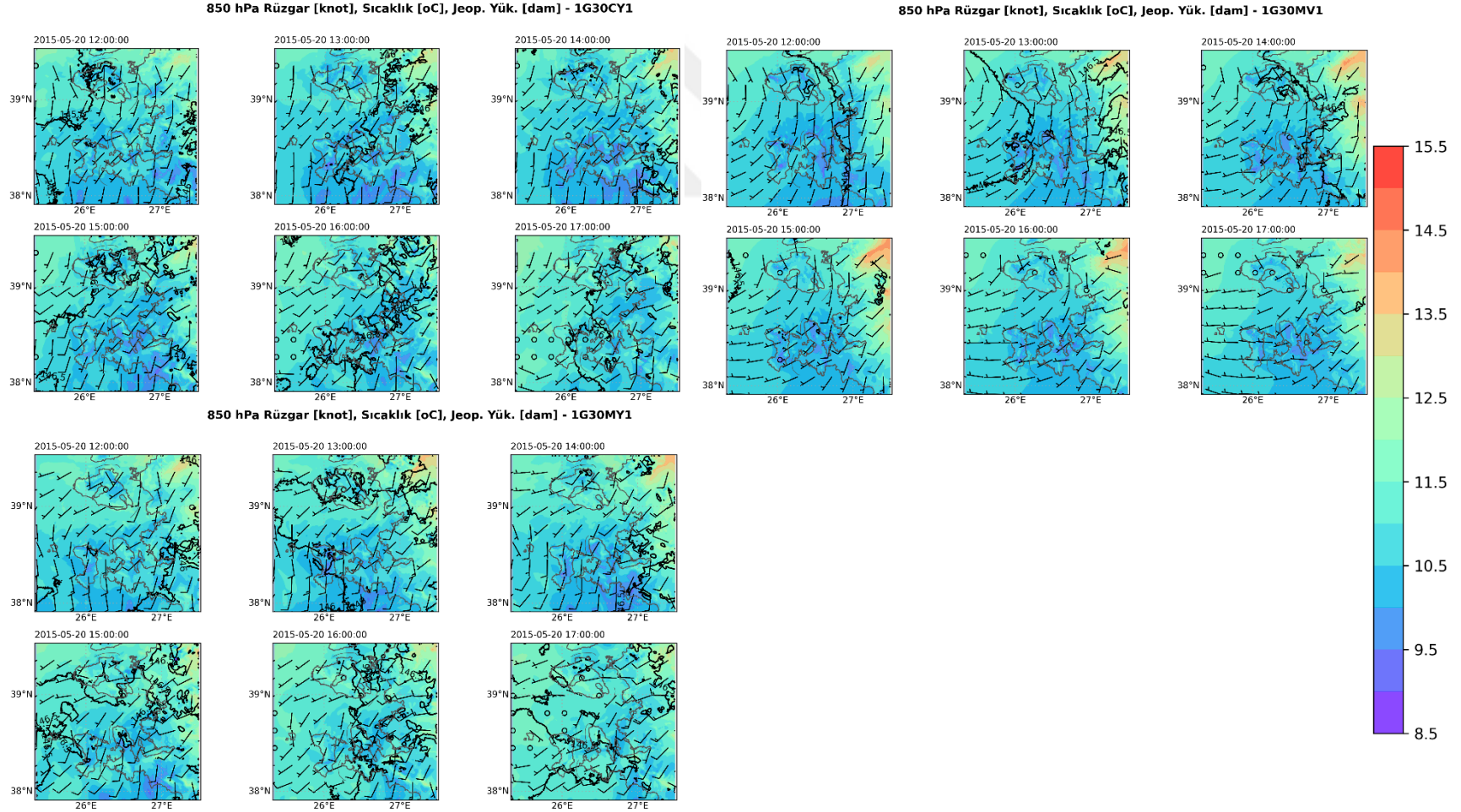
Şekil A.9 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliklerini, sıcaklık ve rüzgar değerlerini ifade eden görseller. Jeopotansiyel yükseklikler, konturlar ile ifade edilmiştir.



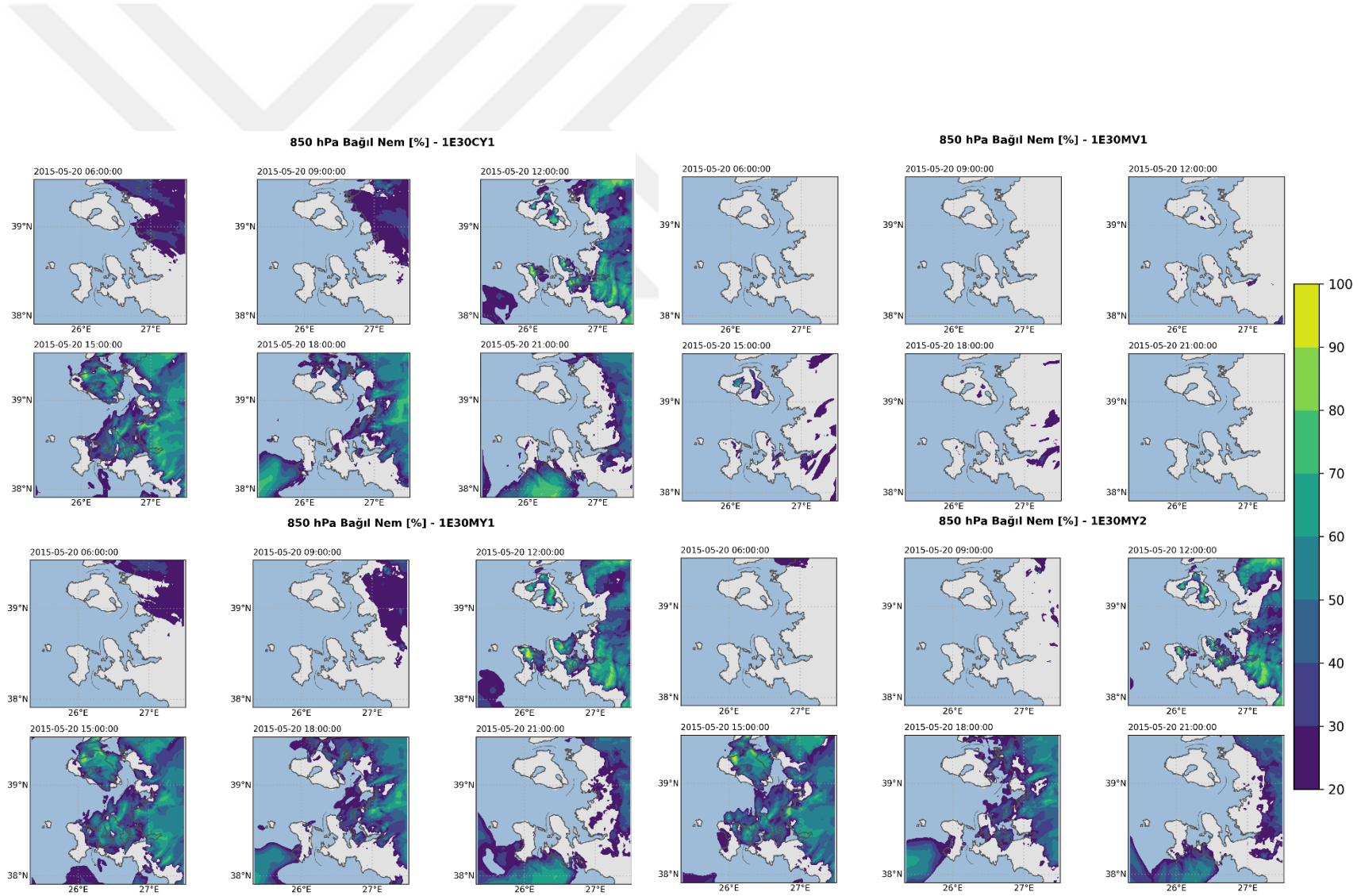
Şekil A.9 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliklerini, sıcaklık ve rüzgar değerlerini ifade eden görseller. Jeopotansiyel yükseklikler, konturlar ile ifade edilmiştir.



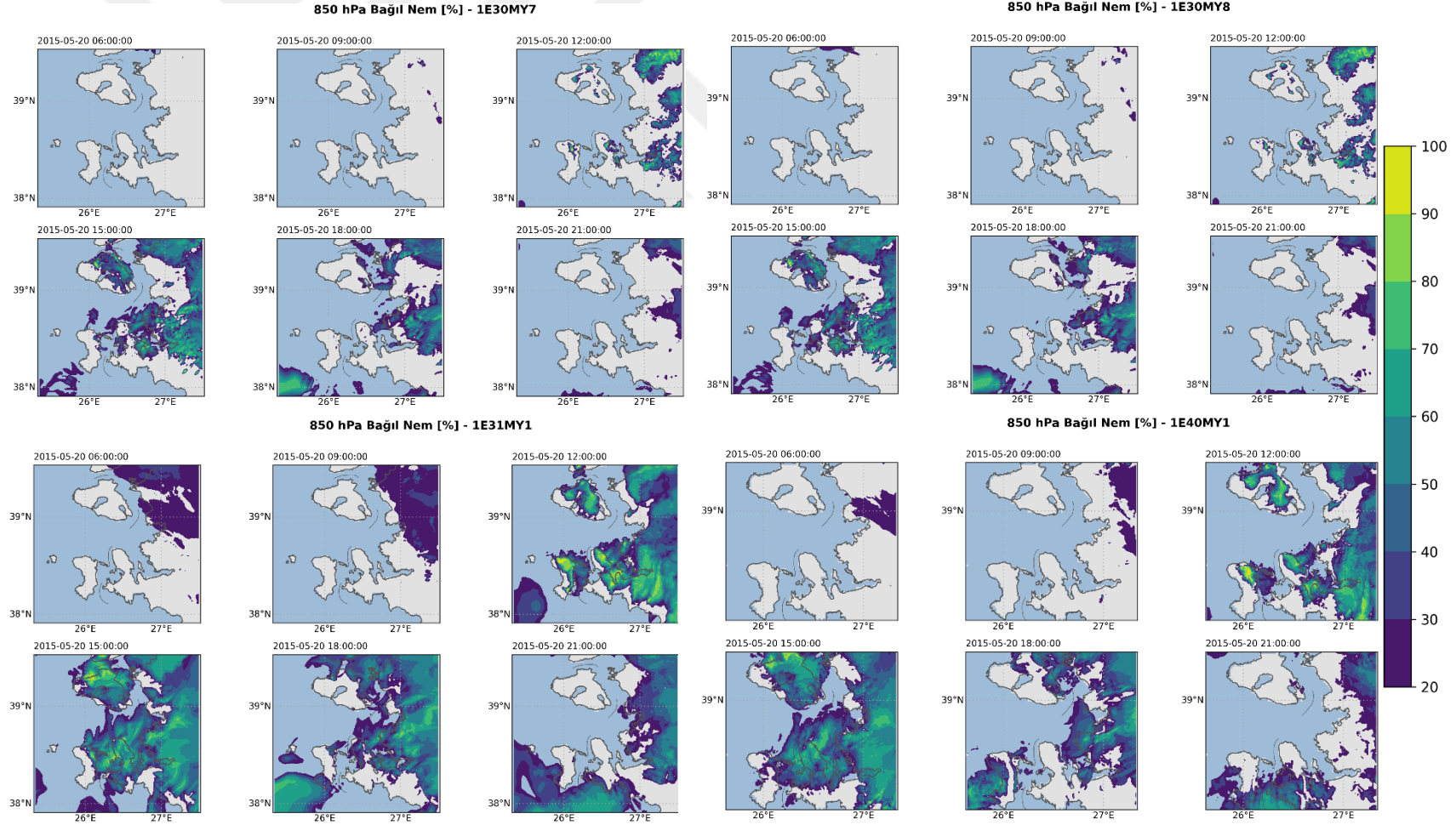
Şekil A.9 (devam) : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliklerini, sıcaklık ve rüzgar değerlerini ifade eden görseller. Jeopotansiyel yükseklikler, konturlar ile ifade edilmiştir.



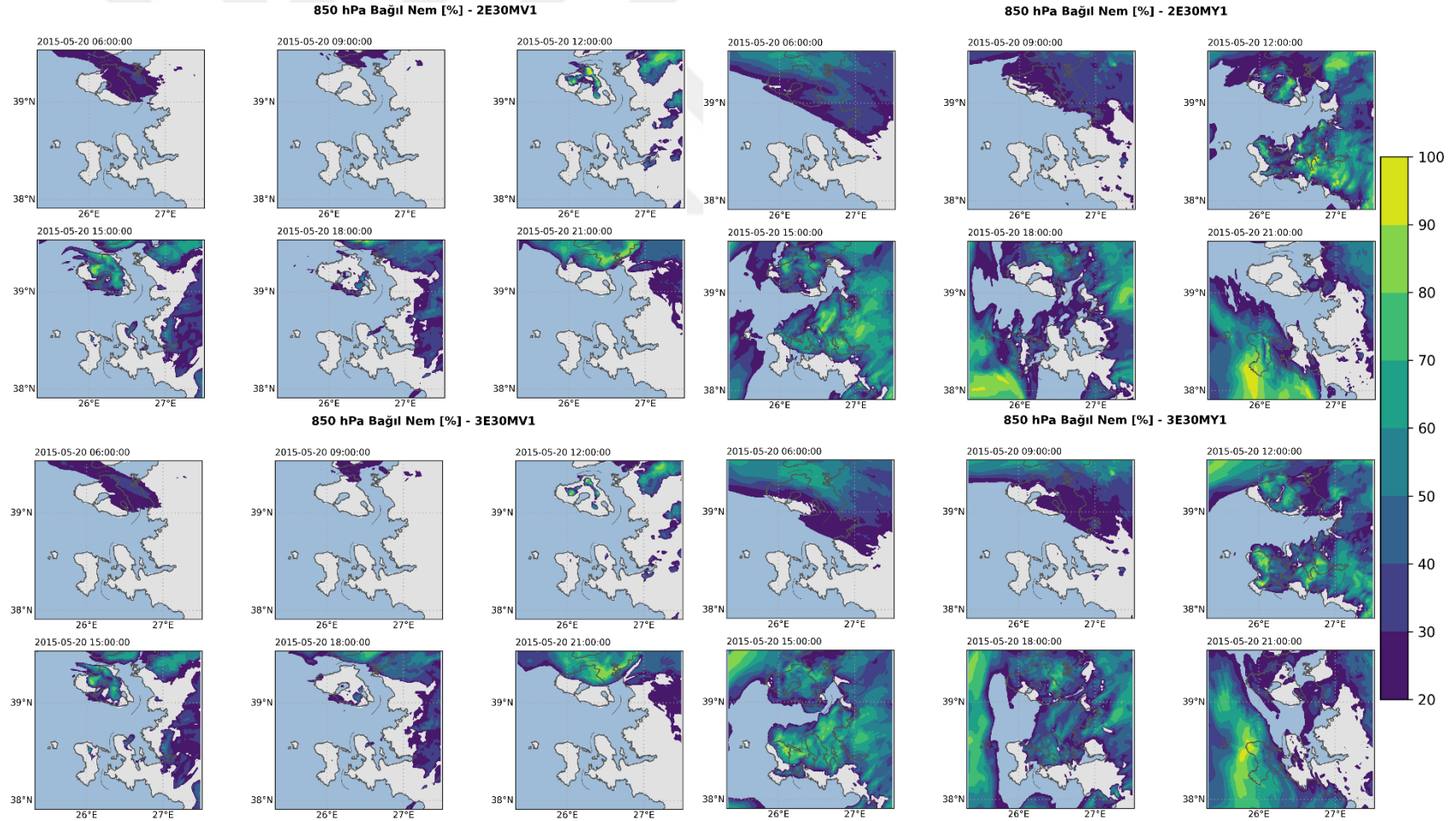
Şekil A.10 : 20 Mayıs 2015 12.00 ile 17.00 TSİ tarih aralığı için GFS girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliklerini, sıcaklık ve rüzgar değerlerini ifade eden görseller. Jeopotansiyel yükseklikler, konturlar ile ifade edilmiştir.



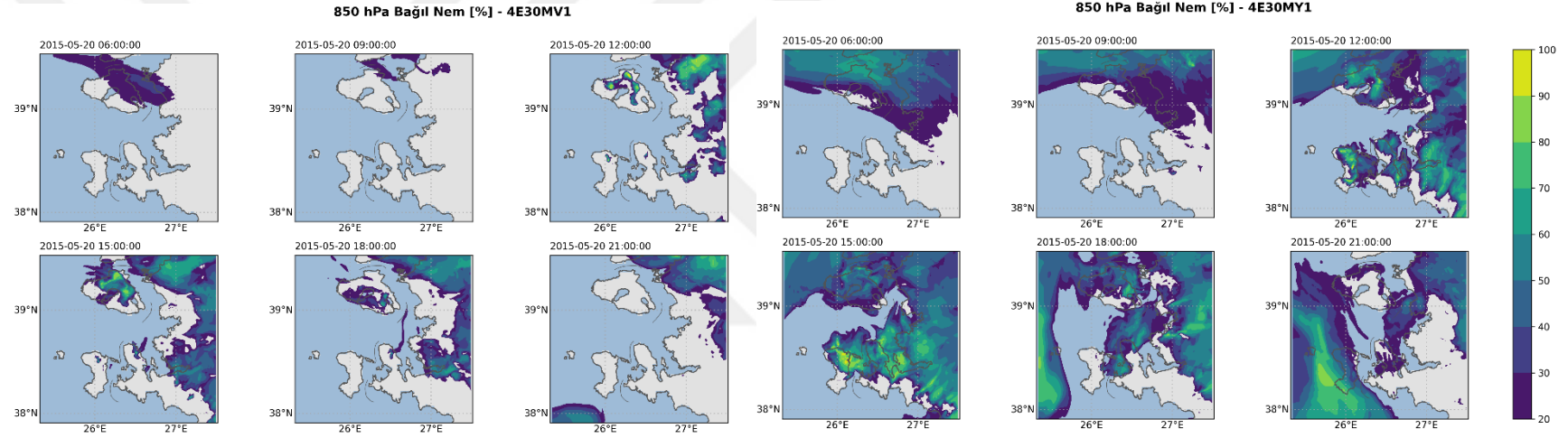
Şekil A.11 : 20 Mayıs 2015 06.00 ile 21.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliğindeki bağıl nemi ifade eden görseller. Haritalardaki değerler saatlik sonuçlara karşılık gelmekte olup her üç saatte bir çizdirilmiştir.



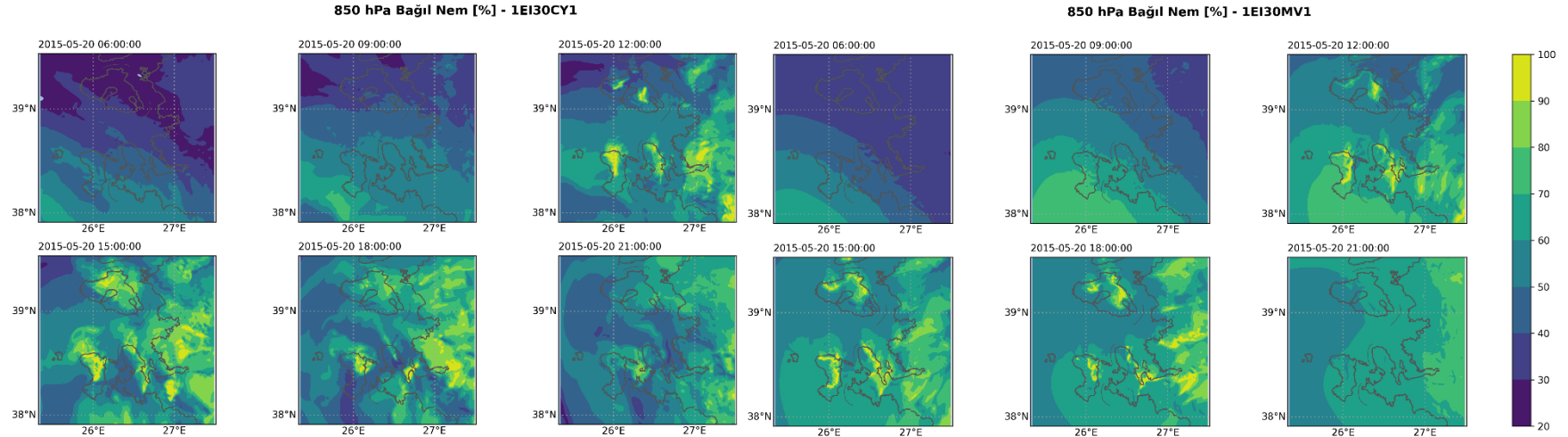
Şekil A.11 (devam) : 20 Mayıs 2015 06.00 ile 21.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliğindeki bağıl nemi ifade eden görseller. Haritalardaki değerler saatlik sonuçlara karşılık gelmekte olup her üç saatte bir çizdirilmiştir.



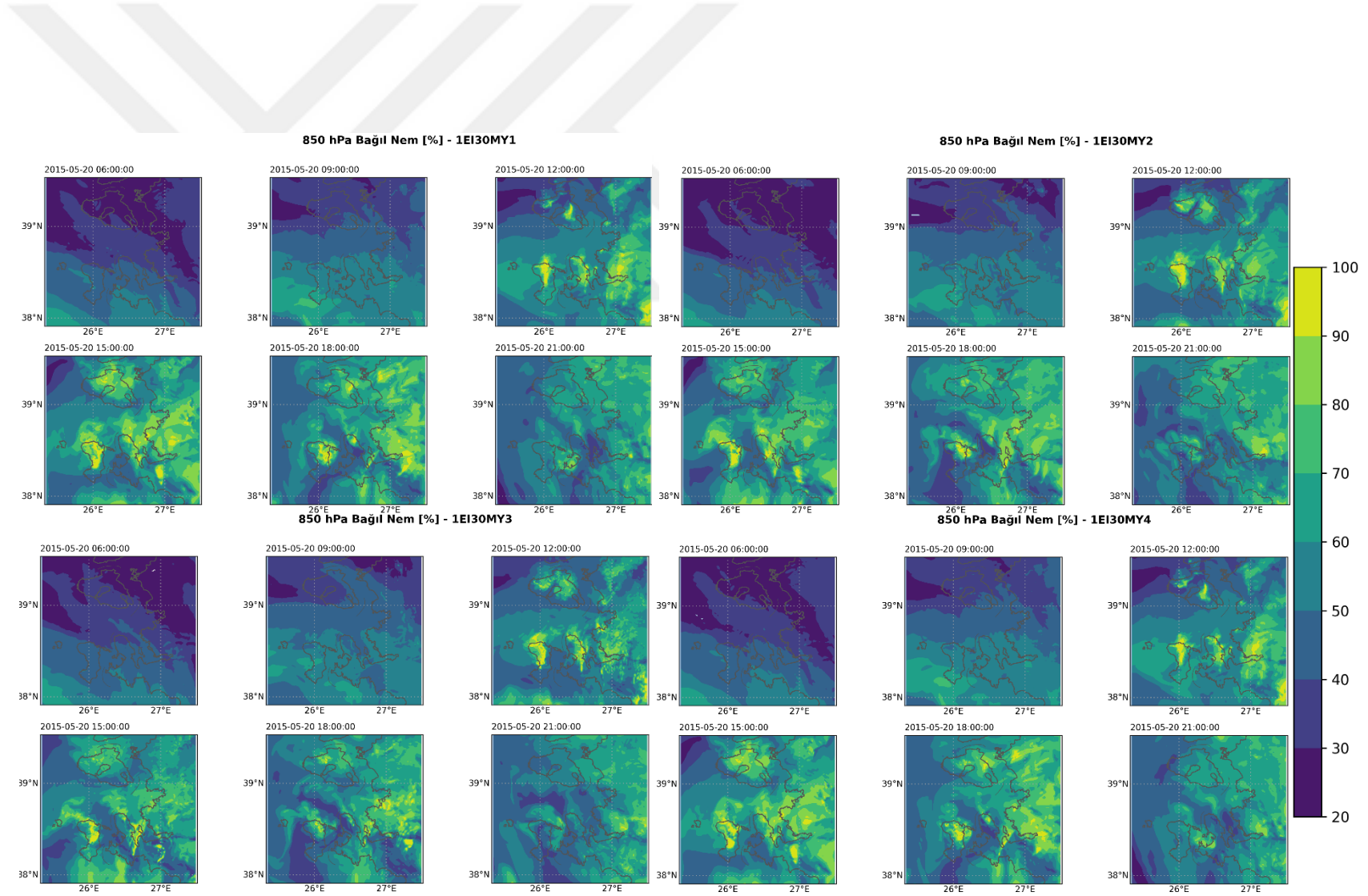
Şekil A.11 (devam) : 20 Mayıs 2015 06.00 ile 21.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliğindeki bağıl nemi ifade eden görseller. Haritalardaki değerler saatlik sonuçlara karşılık gelmekte olup her üç saatte bir çizdirilmiştir.



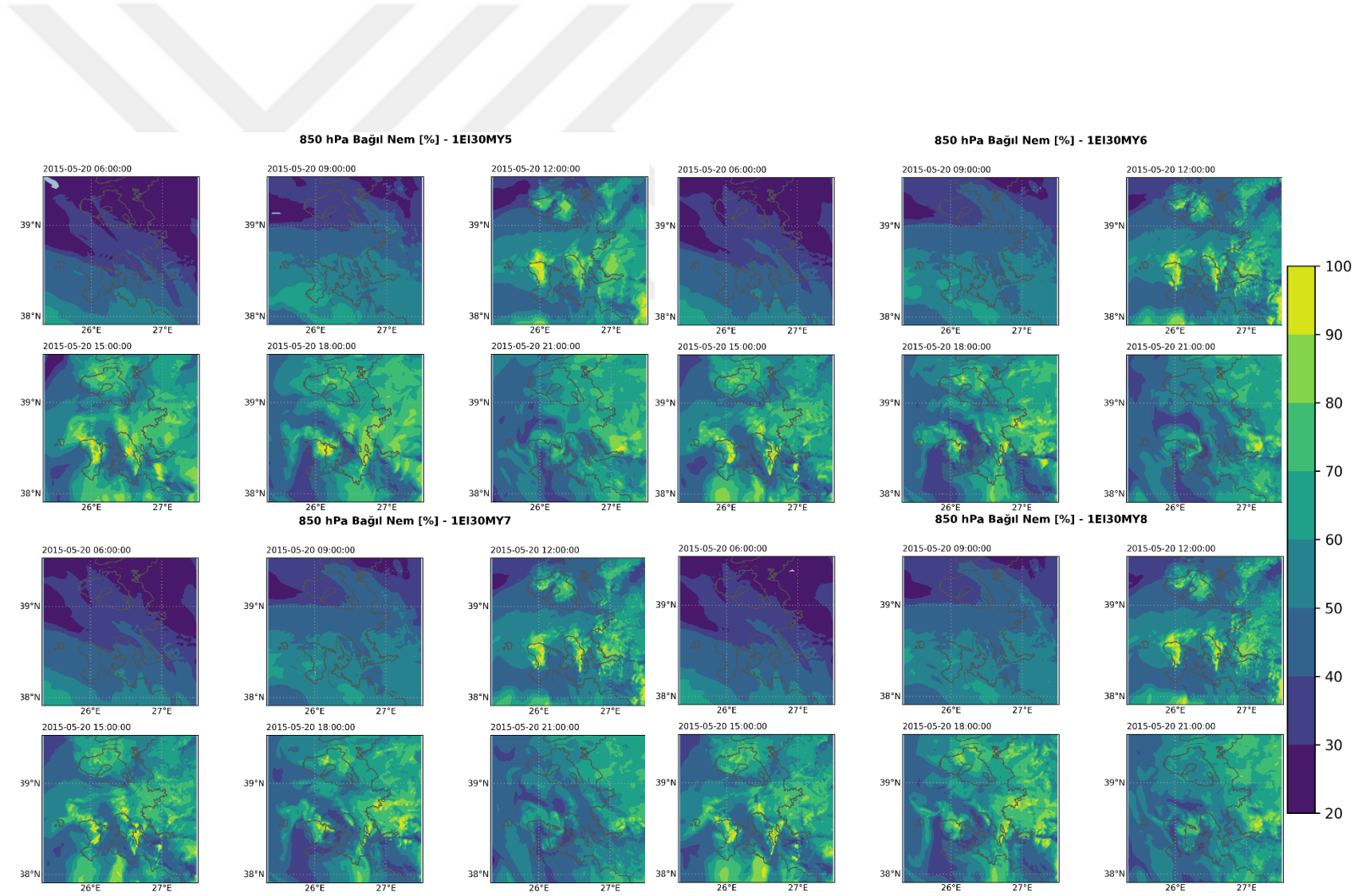
Şekil A.11 (devam) : 20 Mayıs 2015 06.00 ile 21.00 TSİ tarih aralığı için ERA5 girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliğindeki bağıl nemi ifade eden görseller. Haritalardaki değerler saatlik sonuçlara karşılık gelmekte olup her üç saatte bir çizdirilmiştir.



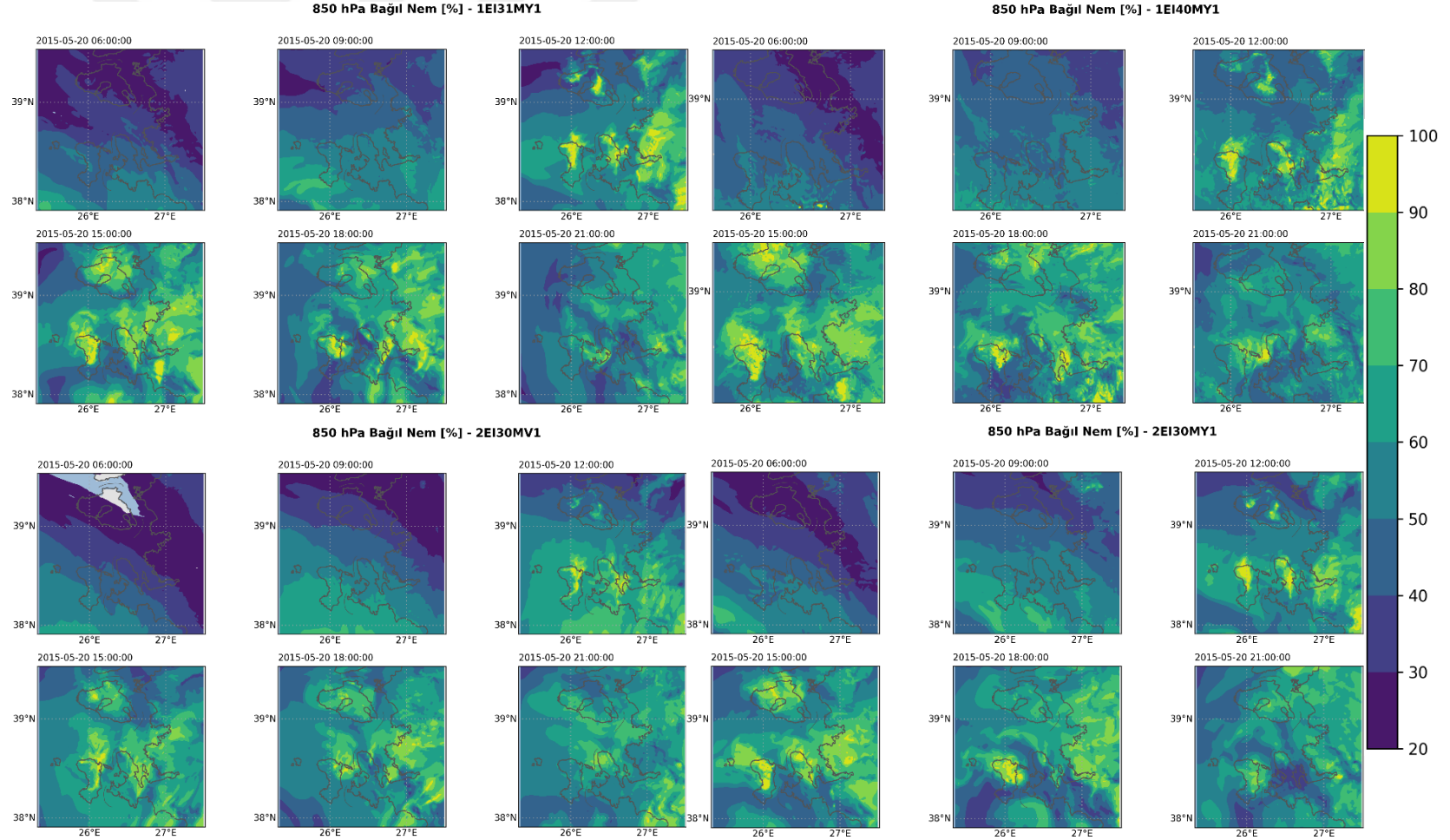
Şekil A.12 : 20 Mayıs 2015 06.00 ile 21.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliğindeki bağıl nemi ifade eden görseller. Haritalardaki değerler saatlik sonuçlara karşılık gelmekte olup her üç saatte bir çizdirilmiştir.



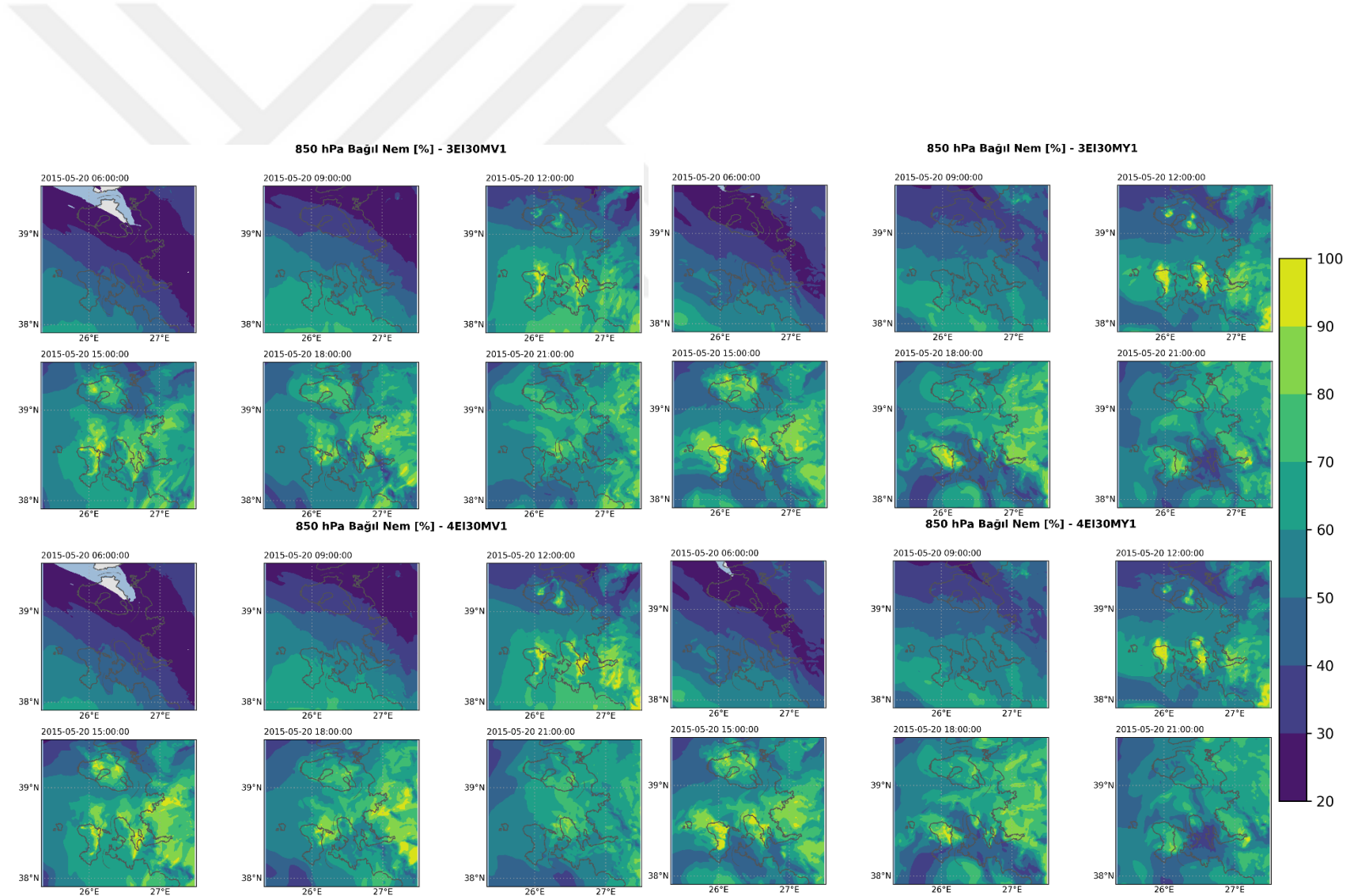
Şekil A.12 (devam) : 20 Mayıs 2015 06.00 ile 21.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliğindeki bağıl nemi ifade eden görseller. Haritalardaki değerler saatlik sonuçlara karşılık gelmekte olup her üç saatte bir çizdirilmiştir.



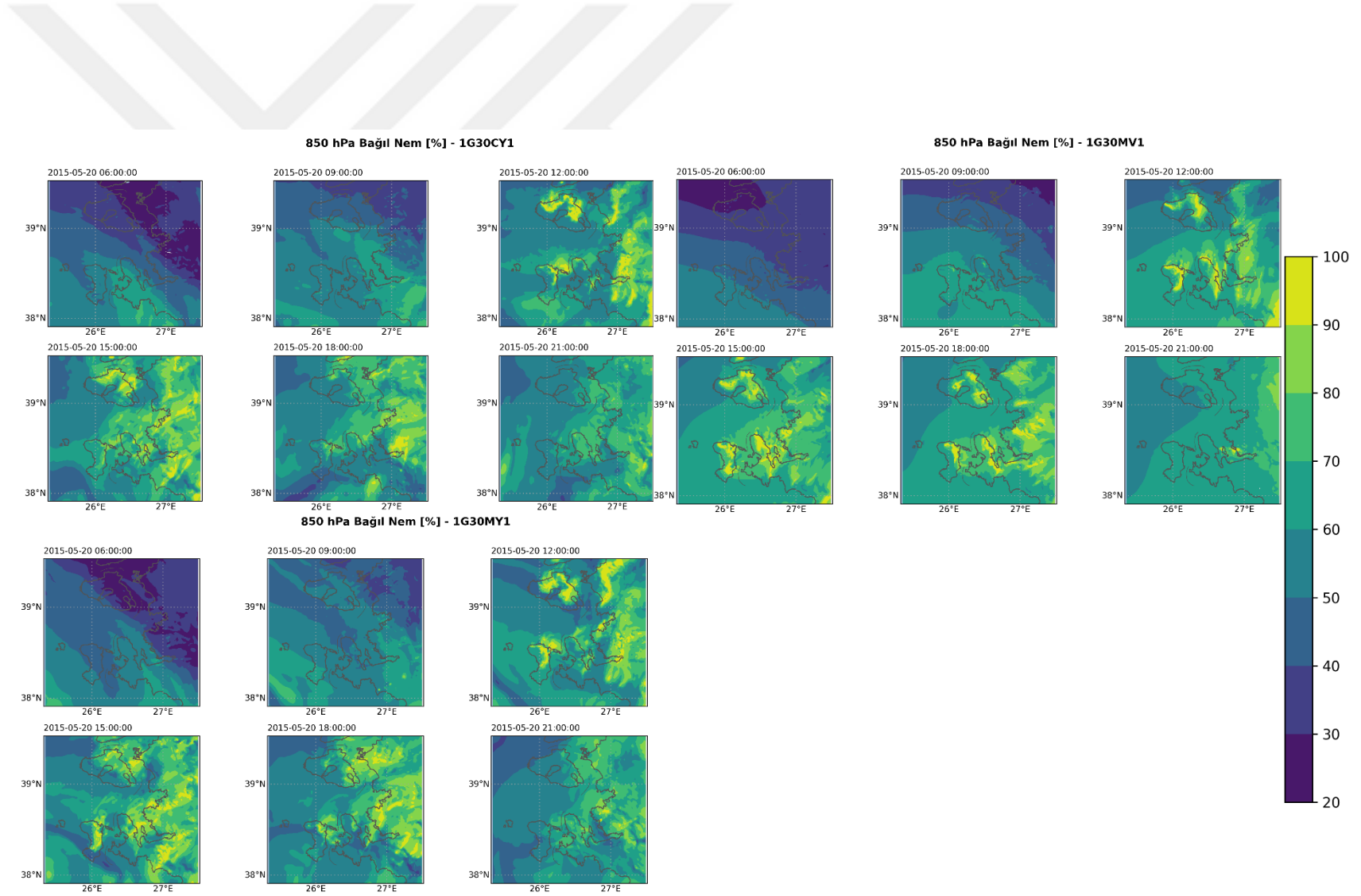
Şekil A.12 (devam) : 20 Mayıs 2015 06.00 ile 21.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliğindeki bağıl nemi ifade eden görseller. Haritalardaki değerler saatlik sonuçlara karşılık gelmekte olup her üç saatte bir çizdirilmiştir.



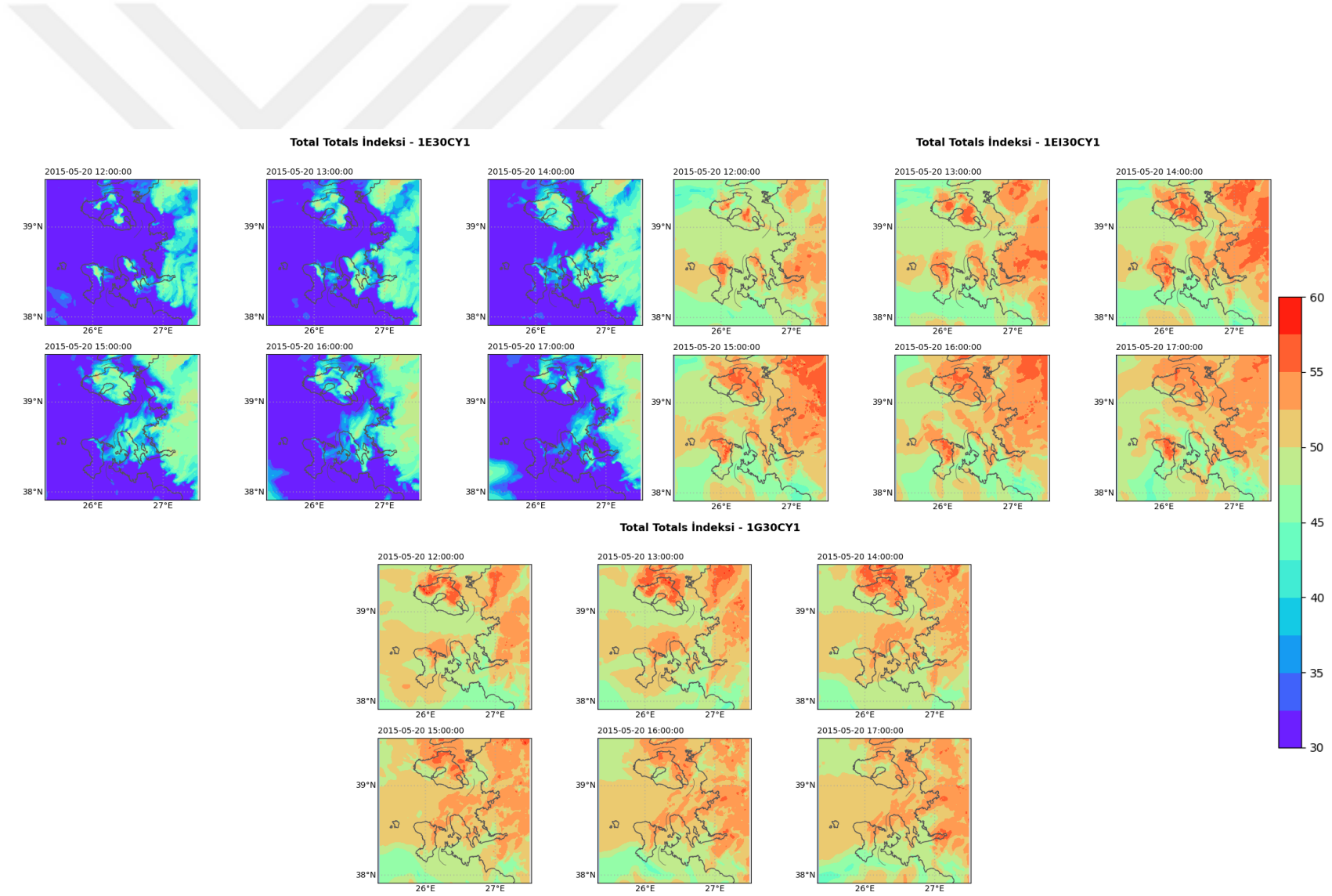
Şekil A.12 (devam) : 20 Mayıs 2015 06.00 ile 21.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliğindeki bağıl nemi ifade eden görseller. Haritalardaki değerler saatlik sonuçlara karşılık gelmekte olup her üç saatte bir çizdirilmiştir.



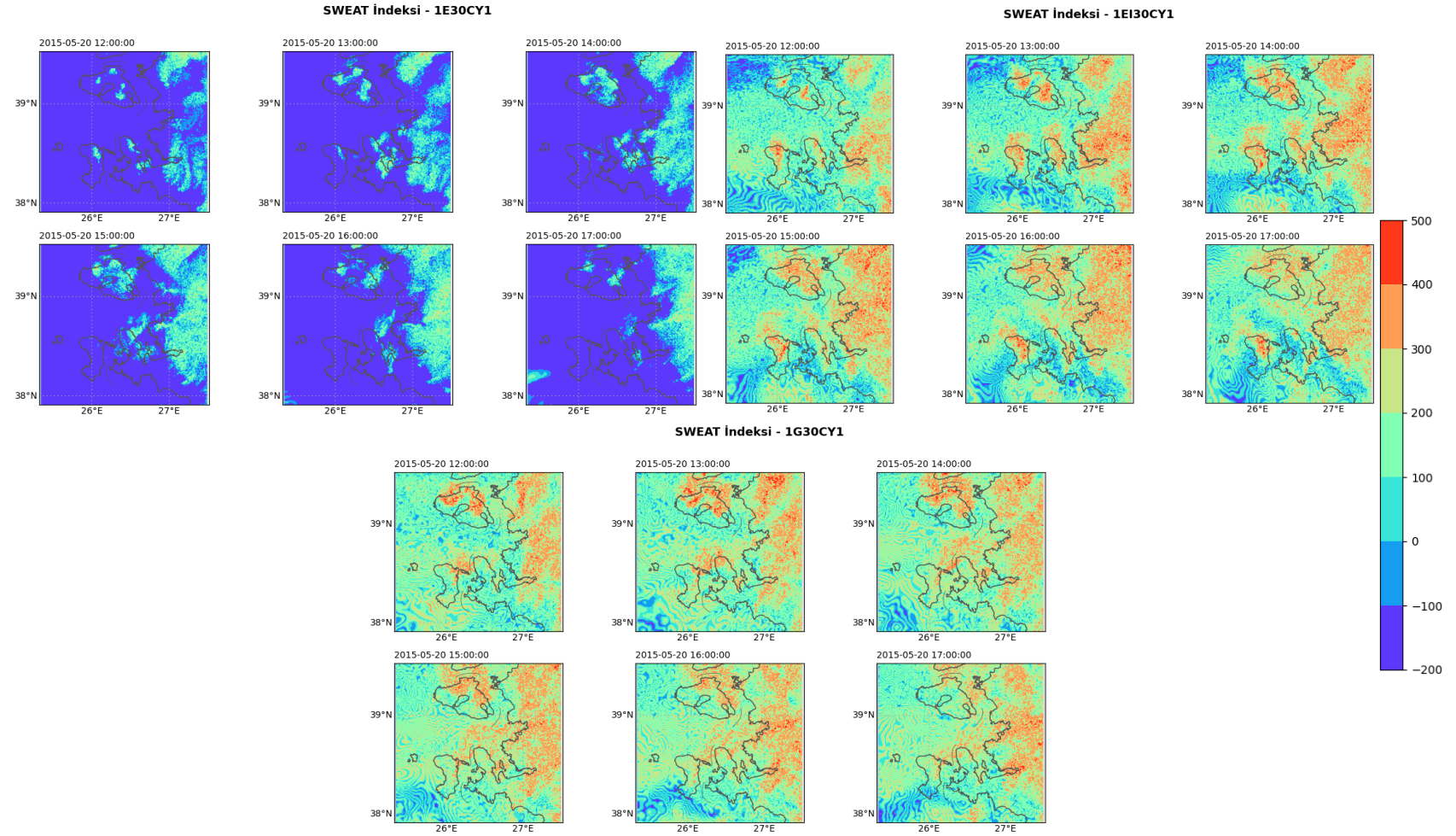
Şekil A.12 (devam) : 20 Mayıs 2015 06.00 ile 21.00 TSİ tarih aralığı için ERA-Interim girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliğindeki bağıl nemi ifade eden görseller. Haritalardaki değerler saatlik sonuçlara karşılık gelmekte olup her üç saatte bir çizdirilmiştir.



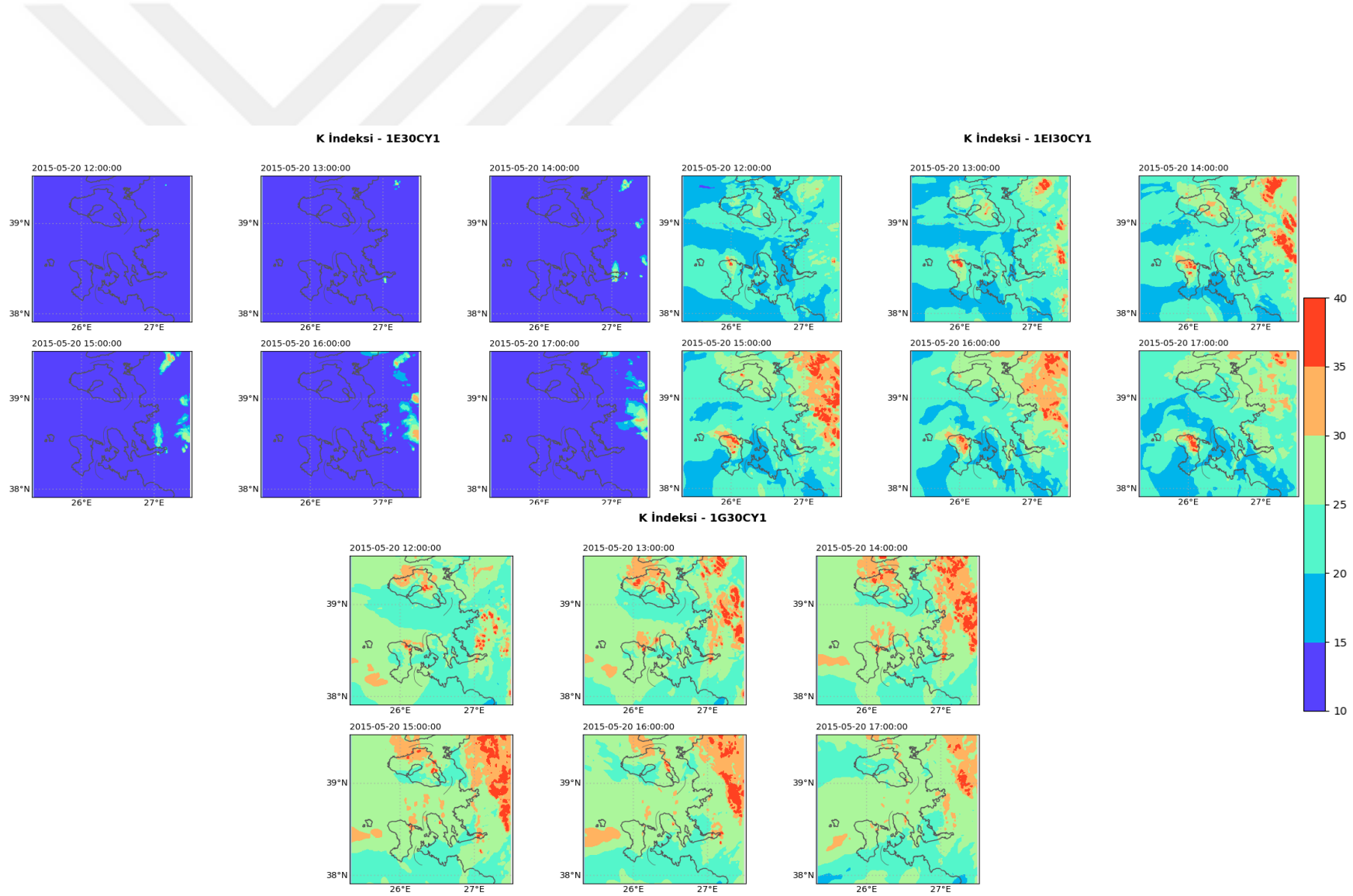
Şekil A.13 : 20 Mayıs 2015 06.00 ile 21.00 TSİ tarih aralığı için GFS girdi verileri ile üretilen benzetimlerin 850 hPa jeopotansiyel yüksekliğindeki bağıl nemi ifade eden görseller. Haritalardaki değerler saatlik sonuçlara karşılık gelmekte olup her üç saatte bir çizdirilmiştir.



Şekil A.14 : 20 Mayıs 2015 12.00 TSİ ile 17.00 TSİ tarih aralığı için, 1E30CY1, 1EI30CY1 ve 1G30CY1 benzetimlerine ait Total Totals indeksi görselleri.



Şekil A.15 : 20 Mayıs 2015 12.00 TSİ ile 17.00 TSİ tarih aralığı için, 1E30CY1, 1E130CY1 ve 1G30CY1 benzetimlerine ait SWEAT indeksi görselleri.



Şekil A.16 : 20 Mayıs 2015 12.00 TSİ ile 17.00 TSİ tarih aralığı için, 1E30CY1, 1EI30CY1 ve 1G30CY1 benzetimlerine ait K indeksi görselleri.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyadı : Öykü CAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği (2013 - 2017)
- **Yüksek Lisans** : İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Atmosfer Bilimleri (2017-)