



Bodrum Sel ve Hortum Felaketi: 29 Kasım 2018 Olay Araştırması ^[*]

Oğuzhan KOLAY^{1*} Emrah Tuncay ÖZDEMİR² Ömer YETEMEN³

¹ Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Milas-Bodrum Uluslararası Havalimanı Meteoroloji Ofisi, 48200, Milas, Muğla, Türkiye.

² Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Atatürk Uluslararası Havalimanı Meteoroloji Ofisi, 34149, Yeşilköy, İstanbul, Türkiye.

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 34469, Maslak, İstanbul, Türkiye.

Geliş/Received: 28.06.2020

Kabul/Accepted: 01.10.2020

Atf yapmak için: Kolay, O., Özdemir, E.T. & Yetemen, Ö. (2020). Bodrum Sel ve Hortum Felaketi: 29 Kasım 2018 Olay Araştırması. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 5(4), 491-497.

How to cite: Kolay, O., Özdemir, E.T. & Yetemen, Ö. (2020). Flash Flood and Tornado Disaster in Bodrum: Case Study of November 29, 2018. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 5(4), 491-497.

*ID: <https://orcid.org/0000-0002-2335-2450>
ID: <https://orcid.org/0000-0003-4764-1625>
ID: <https://orcid.org/0000-0003-1593-3519>

*Sorumlu yazarın:

Oğuzhan KOLAY
Meteoroloji Genel Müdürlüğü Milas-Bodrum
Uluslararası Havalimanı Meteoroloji Ofisi
48200, Milas, Bodrum, Türkiye.
✉: oguzhankolay@gmail.com
Cep telefonu : +90 (505) 570 66 26
Telefon : +90 (252) 523 01 25
Faks : +90 (252) 523 01 25

Öz: 29 Kasım 2018 tarihinde 10:00 UTC'de Bodrum (Muğla) Yarımadası'nın güneyinde başlayan gök gürültülü sağanak yağış, devam eden saatler içinde şiddetini artırmış ve yarımada geneline yayılmıştır. 15:00 UTC'ye kadar aralıksız şekilde devam eden yağış sonucunda, Bodrum Kaymakamlığı'ndan alınan resmi rapora göre 175 konut, 140 işyeri ve 60 araç hasar görmüş, ilçenin altyapısında büyük zarar oluşmuştur. Bu çalışmanın amacı, meydana gelen bu şiddetli gök gürültülü sağanak yağışı; yer gözlemleri (otomatik meteoroloji gözlem istasyonları (OMGI)), yer kartı, yüksek seviye meteorolojik ürünler (Skew-T Log-P diyagramı ve 500 hPa seviye haritası), radar ürünleri (Maximum Display (MAX), Surface Rainfall Intensity (SRI) ve RAINN), uydu görüntüleri (HRV-IR10.8 kompozit uydu görüntüsü) ve sayısal model ürünleri (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ve Application of Research to Operations at Mesoscale (AROME)) yardımı ile araştırarak analiz etmektir. Elde edilen sonuçlara göre; oraj hüccresinin maksimum eko değerinin 60 dBZ'e yaklaştığı ve bulut tepe yüksekliğinin de 15 km civarına ulaştığı tespit edilmiştir. Bölge üzerinden geçen trofa (oluk) bağlı sağanak hattı, bu hortum ve sel felaketinin yaşanmasına neden olmuştur. Yer gözlemlerinin, oluşan yağışı analiz etmede yetersiz kaldığı ve meteorolojik uzaktan algılamamanın, özellikle radar ürünlerinin hem gözlem hem de kısa vadeli hava öngörüsü için ne kadar önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Ani sel, Bodrum, hortum, radar görüntüsü, su baskını, uydu görüntüsü.

Flash Flood and Tornado Disaster in Bodrum: Case Study of November 29, 2018

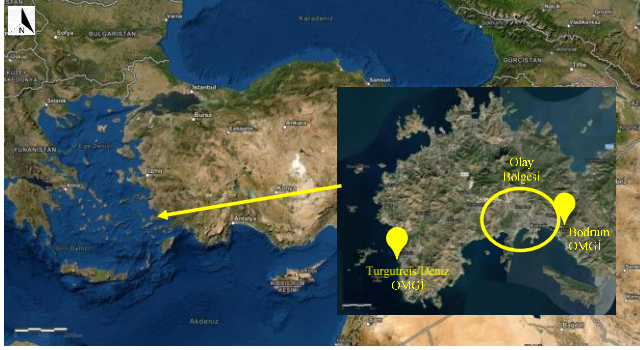
Abstract: On 29 November 2018, the thunderstorm with shower that started at 10:00 UTC over the south portion of Bodrum (Muğla) Peninsula, later it increased its severity in the following hours and spread throughout the peninsula. As a result of the rain, which continued uninterruptedly until 15:00 UTC. According to the official report from the Bodrum District Governorate, 175 houses, 140 workplaces, and 60 vehicles were damaged, and major damages occurred in the infrastructure of the district. The aim of this study is to analyze the heavy thunderstorm with help of ground observations (automated meteorological observation stations (OMGI)), surface pressure charts, upper-level charts (Skew-T Log-P diagram and 500 hPa charts), radar products (Maximum Display (MAX), Surface Rainfall Intensity (SRI) and RAINN), satellite images (HRV-IR10.8 composite satellite image), numerical weather prediction products (European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), and Application of Research to Operations at Mesoscale (AROME)). According to the analyze results, it was determined that the maximum echo value of the thunderstorm cell approached 60 dBZ and the height of the cloud top reached up to 15 km. The rain band connected to the trough passing through the region caused this tornado and flash flood. It is concluded that the ground observations are insufficient in determining the precipitation and meteorological remote sensing, especially radar products are quite important for both observation and short-term weather forecasts.

Keywords: Bodrum, flash flood, radar products, satellite products, tornado.

^[*] Bu çalışma "29 Kasım 2018 Bodrum (Muğla) Selinin İncelenmesi" bildirisinin güncellenmiş ve gözden geçirilmiş halidir. *Bildiri*, IV. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu, 11-15 Kasım 2019, Antalya'da sunulmuş ve bildiriler kitabında basılmıştır (Kolay vd., 2019).

GİRİŞ

Bodrum, Türkiye'nin güneybatısında yer alan, Muğla İli'ne bağlı, Yunanistan'a ait On İki Adalar (Dodecanese) ile denizden komşu ve Bodrum Yarımadası üzerinde yer alan bir ilçedir. İlçe merkezi, yarımada'nın güneydoğusunda konumlanmıştır (Şekil 1). Bodrum, Türkiye'nin en önemli turizm merkezlerinden biri olup, 2019 yılı itibarı ile nüfusu 175 bin 435'dir (TÜİK, 2020).



Şekil 1. Bodrum İlçesi'nin konumu (ArcGIS Webmap, 2020).
Figure 1. Position of Bodrum District (ArcGIS Webmap, 2020).

29 Kasım 2018'de yerel saat ile 14:00 civarında, On İki Adalar'a bağlı Kos (İstanköy) Adası'nın güneybatı açıklarında gözlemlenen hortumun (Şekil 2a) hemen ardından Bodrum Yarımadası'nın güneyinden itibaren başlayan çok şiddetli gök gürültülü sağanak yağmur ve dolu hadisesi meydana gelmiştir. Özellikle, Bodrum İlçe Merkezi, Konacık ve Bitez Bölgeleri'nde etkili olmuştur. Aşırı yağışlarla birlikte, bölgede bulunan dere yatakları taşarak birçok noktada su baskınlarına sebep olmuştur. Taşıtlar oluşan sele kapılarak sürüklenmiştir (Şekil 2b). Yağış sonucunda herhangi bir can kaybı yaşanmamıştır. Ana arterler su baskını sebebiyle geçici olarak kapanmıştır (Şekil 2c) (NTV, 2020). Aşırı yağışlarla ilgili olarak Bodrum Kaymakamlığı'ndan alınan resmi rapora göre, sel felaketinden zarar gören 175 konut ve 140 iş yeri için acil yardım ödeneği ve altyapı tesislerinde oluşan zarar içinde Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'ndan alt yapı hasar ödeneği talep edilmiştir.

Türkiye'de vuku bulan şiddetli yağış hadiselerini inceleyen belli başlı çalışmalara bakıldığında, rapor edilen başlıca ekstrem meteorolojik parametreler ve bunlara eşlik edilen radar araştırmaları aşağıda verilmiştir. 15 Temmuz 2013 tarihinde Esenboğa Uluslararası Havalimanı'nda meydana gelen şiddetli gök gürültülü fırtına sırasında en yüksek maksimum rüzgar hamle değeri 60,9 knot olarak ölçülmüştür. 14 dakikalık zaman aralığında 16,2 mm yağış meydana gelmiştir. Radar eko reflektivite değeri maksimum 57 dBZ olarak ölçülmüştür (Özdemir & Deniz, 2016).

Atatürk Uluslararası Havalimanı'nda meydana gelen gök gürültülü fırtınalar 2008 ile 2013 yılları arası için araştırılmıştır. Araştırmada Convective Available Potential

Energy (CAPE) ve Convective Inhibition (CIN) değerleri istatistiksel olarak analiz yapılarak ve bu havalimanı için konveksiyon eşik değerlerine göre sınıflandırma yapılmıştır (Özdemir vd., 2017).



Şekil 2. Yağış öncesinde deniz üzerinde gözlemlenen hortum (a), selde sürüklenen araçlar (b), trafiğe kapanan Bodrum - Turgutreis Karayolu (c) (NTV, 2020).

Figure 2. The waterspot that observed over the sea before the precipitation (a), the vehicles drifting in the flood (b), Bodrum - Turgutreis motorway was closed to the traffic (c) (NTV, 2020).

31 Ağustos 2017 tarihinde Trabzon Şehrinin Yomra ilçesinde dolu yağışı meydana gelmiştir. Dolunun çapı yaklaşık 1.5 cm'dir. Türkiye'de ilk defa kullanılan Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting (TITAN) yazılım programı meteorolojik analizler için kullanılmıştır. Bu çalışmada, 62,5 dBZ reflektivite değerine ulaşan oraj hücresi tespit edilmiştir (Özdemir vd., 2019).

Ekstrem değerlerin meydana geldiği meteorolojik olaylar birçok can ve mal kaybına neden olmaktadır. Bu olayların tahmin edilmesinde ve sonradan analiz edilmesinde gelişen teknolojiyle birlikte kullanım alanı genişleyen meteorolojik uzaktan algılama ürünleri kullanılmaktadır. Türkiye'de ve dünyada bu ürünlerinin kullanıldığı birçok akademik çalışma bulunmaktadır (Sirdas vd., 2017; Özdemir vd., 2018; Özdemir vd., 2019; Özdemir, 2019; Özdemir & Yetemen, 2019; Özdemir & Kolay, 2020; Yavuz vd., 2020).

Bu çalışmanın amacı, 29 Kasım 2019 tarihinde Bodrum İlçesi'nde meydana gelen şiddetli gök gürültülü sağanak yağış ve hortum olayını; yer gözlemleri, radar ürünleri, uydu görüntüleri ve sayısal model ürünleri yardımı ile araştırarak analiz etmektir. Bu şiddetli meteorolojik olay sinoptik (yatay ölçeği L ile göstermek üzere; $1000 \text{ km} < L < 5000 \text{ km}$; sinoptik siklonlar), mezo ölçek ($100 \text{ km} < L < 1000 \text{ km}$; cepheler, sağanak hatları) ve küçük ölçekte ($1 \text{ km} < L < 100 \text{ km}$; kümülüs bulutu) incelenerek, oluşum mekanizmaları açıklanmaya çalışılmıştır (Borhan, 2006; Holton & Hakim, 2013). Ayrıca çalışmada meteorolojik yer gözlemleri ve Sayısal Hava Tahmini (SHT) model çıktıları da analiz edilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Çalışmada kullanılan yer gözlem verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) meteorolojik gözlem ağı bünyesinde yer alan otomatik meteoroloji gözlem istasyonlarından (OMGİ), meteorolojik veri bilgi satışı ve sunum sistemi (MEVBİS) aracılığı ile elde edilmiştir (MEVBİS, 2019). Araştırma için, yağış ölçümü yapan Bodrum ve Turgutreis Deniz Meteoroloji İstasyonları seçilmiştir. İstasyonlara ait saatlik yağış miktarları, rüzgar yön ve şiddet değerleri, aktüel basınç ve sıcaklık verileri tablo halinde düzenlenmiş (Tablo 1) ve analiz edilmiştir.

Atmosferik parametreleri analiz edebilmek amacıyla MGM'nin kendi iletişim sağlayıcısı olan intranet sistemine bağlı SHT sayfasından alınan model haritaları kullanılmıştır (SHT, 2019). Kurum dışından erişim sağlanamamaktadır. Analiz için ECMWF ve AROME model çıktıları kullanılmıştır. ECMWF sayısal tahmin modeli İngiltere'de yer alan ECMWF tarafından geliştirilen geniş ölçekli hidrostatik bir hava tahmin modelidir. Her 12 saatte bir yatayda 9 km düşeyde ise 137 katman çözünürlükte çalıştırılarak 10 güne kadar çıktılar üretilir (ECMWF, 2020). AROME ise Meteo-France tarafından 2008 yılından bu yana operasyonel olarak kullanılan bir sınırlı alan hava tahmin modelidir. Kısa vadeli olarak kuvvetli hava olaylarının tahmininde kullanılmaktadır (UMR-CNRM, 2020). Araştırmada kullanılan çıktılar; deniz seviyesine indirilmiş eş basınç haritaları, 500 hPa seviyesi eş sıcaklık ve eş jeopotansiyel yükseklik haritaları, 24 saatlik toplam yağış haritası ve dikey sondaj (Skew-T Log-P) diyagramlarıdır.

Analiz edilen radar ürünleri, MGM Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü'nden alınan Muğla Radarı ürünleridir. Muğla radarı, Muğla, Marmaris'te 960 m irtifada, 30 m yükseklikte bir kule üzerinde yer almaktadır. Radarın çalışma bölgesine yatay uzaklığı 81,1 km'dir. Radar ışınları ile çalışma bölgesi arasında herhangi bir engel bulunmamakta ve en düşük ışın yüksekliği 376 m'de yer almaktadır (UZAL, 2020). Çalışmada, bu ürünlerden üretilen, Maximum Display (MAX) ve Surface Rainfall Intensity (SRI) ve 6 saatlik toplam yere düşen yağış miktarını hesaplayan RAINN ürünleri analiz edilmiştir. MAX ürünü her bir radar pikselinde yer alan en yüksek eko değerini görüntüleyen üründür. Şiddetli hava sahalarının görüntülenmesini sağlar. SRI, her bir radar pikseli için yağış şiddetini hesaplayarak görüntüleyen radar ürünüdür. Bu hesaplamayı ampirik Z-R bağıntısı ile yapar. RAINN ise her bir radar pikseli için N saatlik toplam yağış hesaplamasını yaparak görüntüleyen üründür (MGM, 2020).

Çalışmada kullanılan uydu verileri, European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT) User Services Client (USC) web arşiv sayfası üzerinden temin edilmiştir (EUMETSAT, 2019). EUMETSAT üzerinden temin edilen veri, University

Corporation for Atmospheric Research (UCAR) Community Programs, Integrated Data Viewer (IDV) yazılımı ile görüntülenmiş ve analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılmak üzere Meteosat Second Generation (MSG) 0° uydusu, Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager (SEVIRI) Level 1.5 verileri içinden high resolution visible (HRV) ve Infrared (IR) 10.8 kanalları, IDV yazılımı yardımı ile kombine edilmiş ve renklendirilmiştir. Böylece konvektif yapıların rahatlıkla görülebildiği bir son ürün ortaya çıkarılmıştır. IDV yazılımında işlenerek elde edilen HRV-IR 10.8 kompozit uydu ürününde kırmızıya doğru gidildikçe bulut tepe sıcaklığı azalmakta, mavi yönünde ise yükselmektedir. Ayrıca, ürünün alt katmanında bulunan HRV kanalında, güneş ışığının, bulut tepelerinden yansımaları sebebiyle bulutların görünürlüğü artmaktadır. Üretilen ürünlerde parallax düzeltilmesi yapılmamıştır. Parallax etkisi, uydunun pozisyonu ile bulutların pozisyonu arasındaki fark ve bulutların yerden yüksekliği sebebi ile bulutların buldukları konumdan farklı bir noktada görülmesidir. Uydunun, Ekvatorial Batı Afrika'da, 0° boylamı üzerinde, yani olay bölgesine göre güneybatıda bulunduğu düşünülürse, hücrelerin de görüldüklerinden daha güneybatıda yer aldıkları anlaşılabilir (Radová & Seidl, 2008).

BULGULAR

Yer Gözlemleri: Bodrum ve Turgutreis Deniz İstasyonları'ndan (Şekil 1) alınan gözlem verileri (Tablo 1) incelendiğinde, olayın yaşandığı saatlerde ölçülen meteorolojik verilerin normale yakın değerler olduğu ve gerçekleşen yağışın kısa süren bir sağanak hadisesi olduğu düşünülmektedir. Bodrum OMGİ'de 09:00 UTC ile 15:00 UTC arasında ölçülen yağış miktarı 5,6 mm, Turgutreis Deniz OMGİ'de ölçülen miktar ise 11,6 mm'dir. Sadece, 10:00 UTC ile 11:00 UTC arasında yaklaşık 4°C civarında azalan sıcaklık değerleri, yağışın şiddetli olabileceğine dair bir ipucu vermektedir. Bodrum ve Turgutreis Deniz İstasyonları'nda ölçülen deniz suyu sıcaklığı ise 19 °C'dir.

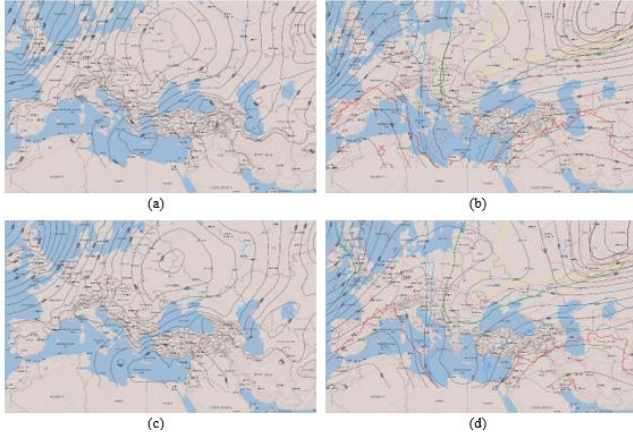
SHT Model Ürünleri: MGM'in SHT sayfasından alınan, 29 Kasım 2018 tarihine ait 06:00 UTC yer kartına göre Yunanistan'ın güneyinde bulunan 1012 hPa'lık alçak basınç merkezi, Türkiye'nin güney batısı üzerinde etkili olmaktadır (Şekil 3a). 500 hPa seviyesine baktığımızda ise, Sibirya üzerinde bulunan alçak merkeze bağlı keskin oluşun (V şeklinde), Balkanlar ve Yunanistan üzerinden Libya'ya kadar uzandığı ve olukla birlikte uzanan soğuk havanın -20 °C ile -22,5 °C sıcaklığa sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3b).

12:00 UTC yer kartını analiz ettiğimizde, alçak basınç merkezi doğuya doğru hareket ederek, Doğu Akdeniz'in tamamında etkili olmaya başlamıştır (Şekil 3c). 500 hPa yüksek seviye haritasında ise soğuk oluk doğuya

doğru hareket ederek ve etki alanını genişleterek Yunanistan ve Ege Denizi üzerine yerleşmiştir (Şekil 3d).

Table 1. Bodrum ve Turgutreis Deniz İstasyonları'na ait 29 Kasım 2018 tarihli saatlik meteorolojik gözlem verileri.
Table 1. Hourly meteorological observation data of Bodrum and Turgutreis Sea Stations on the 29th of November 2018.

Saat (UTC)	Bodrum				Turgutreis Deniz			
	Saatlik Toplam Yağış (mm)	Sıcaklık (°C)	Aktüel Basınç (hPa)	Rüzgar Yönü (°) ve Şiddeti (m/sn)	Saatlik Toplam Yağış (mm)	Sıcaklık (°C)	Aktüel Basınç (hPa)	Rüzgar Yönü (°) ve Şiddeti (m/sn)
00	0,0	13,0	1009,0	21° 0,8	0,0	15,9	1011,0	126° 4,4
01	0,0	14,4	1008,7	84° 1,1	0,0	15,9	1010,5	123° 5,0
02	0,0	14,7	1008,2	86° 2,3	0,0	15,8	1010,1	124° 4,1
03	0,0	15,1	1008,3	77° 2,1	0,0	17,0	1010,3	134° 3,7
04	0,0	15,3	1008,9	75° 2,5	0,0	16,4	1011,0	113° 3,8
05	25,4	15,5	1008,9	65° 2,8	3,8	16,7	1011,0	128° 3,3
06	0,2	15,9	1009,0	62° 2,7	0,0	16,6	1011,1	107° 4,1
07	0,0	16,4	1008,7	75° 2,6	0,0	16,8	1010,8	111° 3,3
08	1,0	16,4	1009,1	97° 2,7	1,0	17,5	1011,1	127° 4,2
09	0,0	16,8	1008,5	97° 2,7	0,0	17,4	1010,6	119° 4,2
10	0,0	17,3	1007,7	74° 3,3	5,0	17,2	1009,8	126° 4,0
11	-	16,7	1008,1	349° 2,4	0,8	13,6	1010,7	33° 4,1
12	4,0	12,1	1007,7	22° 4,1	1,6	12,3	1010,1	75° 2,5
13	-	12,4	1008,8	21° 3,6	2,8	13,1	1011,1	81° 2,4
14	0,4	11,9	1007,6	34° 2,4	0,0	13,2	1009,6	84° 3,0
15	1,2	12,0	1007,9	45° 3,7	1,4	12,8	1009,7	100° 2,1
16	0,3	12,3	1008,3	65° 4,1	0,4	14,6	1010,5	110° 4,5
17	0,2	12,2	1008,5	63° 3,2	0,0	13,6	1010,4	102° 4,4
18	0,0	12,0	1007,9	33° 2,4	0,0	13,9	1010,0	33° 3,8
19	0,0	11,9	1008,3	38° 1,7	0,0	13,6	1010,6	71° 2,8
20	0,0	12,2	1008,1	23° 1,8	0,0	12,8	1010,5	79° 1,1
21	0,0	12,1	1007,9	30° 1,9	0,0	13,1	1010,1	78° 1,6
22	0,0	12,2	1007,8	326° 1,9	0,0	13,3	1010,2	75° 1,0
23	-	12,0	1007,9	5° 0,8	0,0	13,3	1009,7	60° 1,1

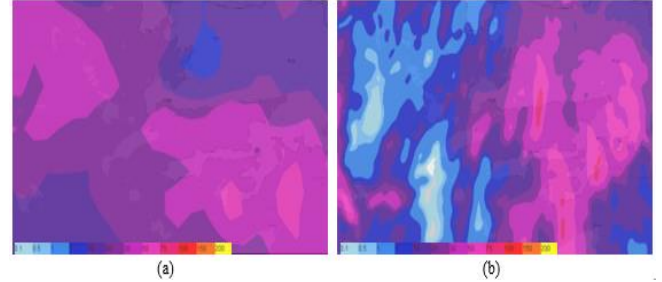


Şekil 3. 29 Kasım 2018 tarihine ait ECMWF modeli, 06:00 UTC yer kartı (a), 06:00 UTC 500 hPa sıcaklık-jeopotansiyel yükseklik kartı (b), 12:00 UTC yer kartı (c), ve 12:00 UTC 500 hPa sıcaklık-jeopotansiyel yükseklik kartı (d).

Figure 3. ECMWF model charts on the 29th of November, 2018, 06:00 UTC surface pressure chart (a), 06:00 UTC 500 hPa temperature-geopotential height chart (b), 12:00 UTC surface pressure chart (c), 12:00 UTC 500 hPa temperature-geopotential height chart (d).

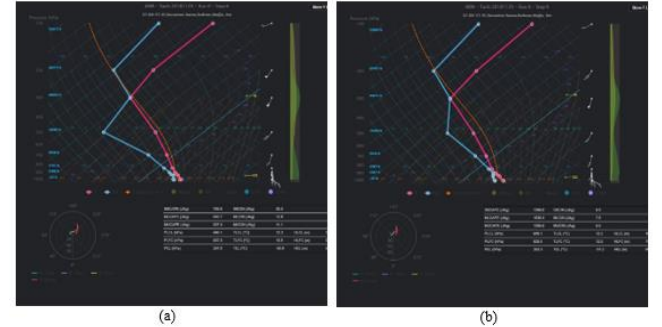
ECMWF (Şekil 4a) ve AROME (Şekil 4b) modellerinin tahmin ettiği 24 saatlik toplam yağış haritalarına göre, modellerin olay bölgesi için hesapladığı yağış miktarları iki model içinde birbirine yakın olup, yaklaşık olarak 20 mm ile 30 mm aralığındadır.

AROME modelinin ürettiği dikey atmosferik bilgilerinin işlendiği Skew-T Log-P kartlarının incelenmesinde ilk dikkat çeken nokta yüksek CAPE rakamlarıdır. 06:00 UTC'de (Şekil 5a) 759,9 j/kg olan yer temelli CAPE, 09:00 UTC'de (Şekil 5b) 1369 j/kg'a yükselmiştir. Lifting condensation level (LCL), 06:00 UTC'de (Şekil 5a) 551,8 m iken, 09:00 UTC'de (Şekil 5b) 480,2 m'ye inmiştir.



Şekil 4. 29 Kasım 2018 tarihine ait ECMWF (a) ve AROME (b) 24 saatlik toplam yağış tahmin modeli haritaları.

Figure 4. ECMWF (a) and AROME (b) 24 hour total precipitation charts on the 29th of November, 2018.

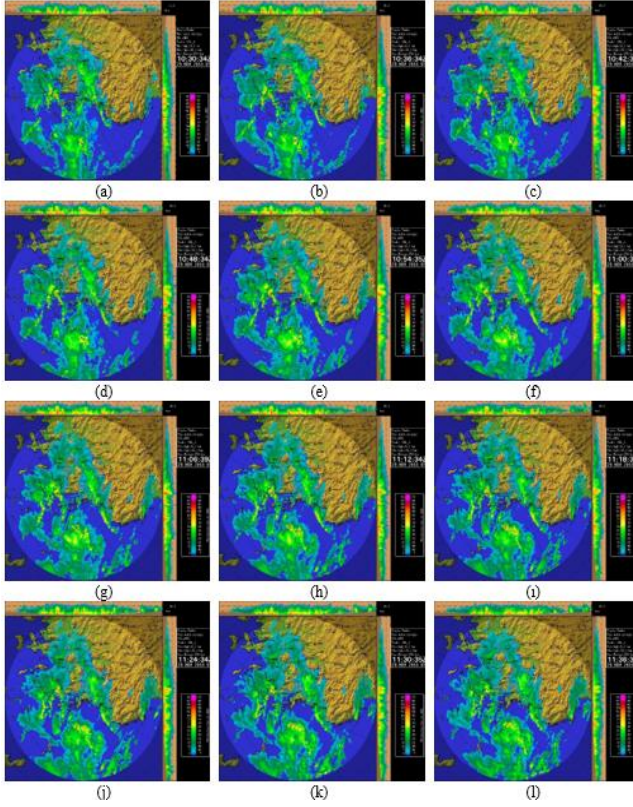


Şekil 5. 29 Kasım 2018 tarihine ait 06:00 UTC (a) ve 09:00 UTC (b) AROME modeli Skew-T Log-P kartları.

Figure 5. AROME model Skew-T Log-P charts of 06:00 UTC (a) and 09:00 UTC (b) on the 29th November, 2018.

Radar Ürünleri: Muğla radarına ait MAX ürünleri incelendiğinde 10:30 UTC'de (Şekil 6a) 50 dBZ üzerinde ekoya sahip olan hücre Bodrum'un güneybatısında dikkat çekmektedir (Şekil 6). Bu konvektif hücre, kuzey-kuzeydoğu yönünde ilerlemektedir. 10:54 UTC'de (Şekil 6e) hücrenin maksimum eko değerinin 60 dBZ'e yaklaştığı ve bulut tepe yüksekliğinin de 15 km civarına ulaştığı görülmektedir. Bu değerlerle 11:18

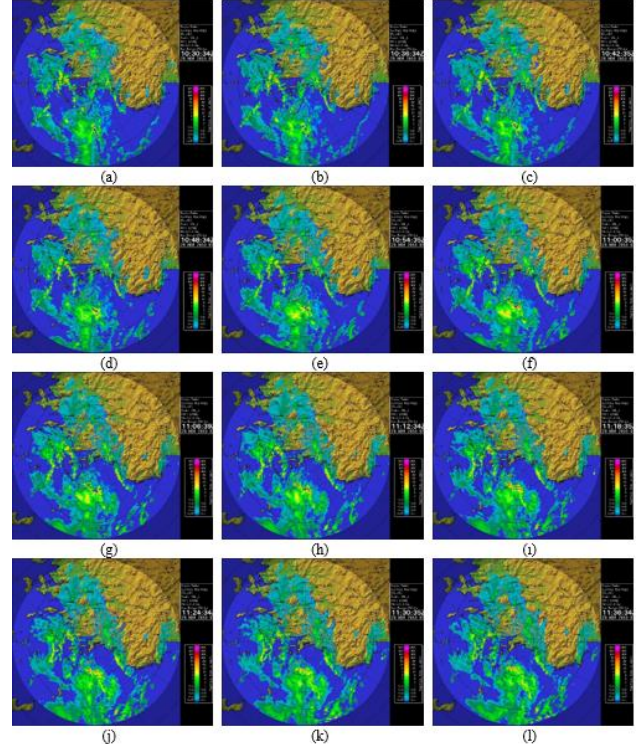
UTC'ye (Şekil 6ı) kadar devam eden hücrenin, bu dakika itibariyle, eko değeri 50 dBZ ve tepe yüksekliği 10 km civarına düşmüştür. Bu durum, şiddetli yağışın 10:50 UTC ila 11:30 UTC (13:50 ile 14:30 lokal saat) arasında yaşanmış olabileceğini göstermektedir.



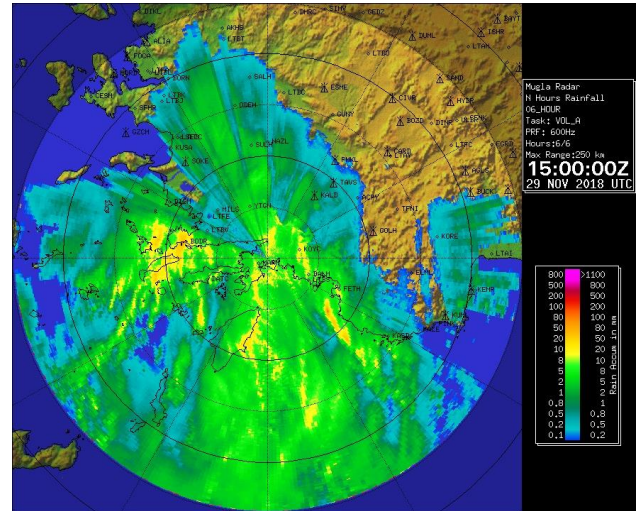
Şekil 6. 29 Kasım 2018 tarihine ait 10:30 UTC (a), 10:36 UTC (b), 10:42 UTC (c), 10:48 UTC (d), 10:54 UTC (e), 11:00 UTC (f), 11:06 UTC (g), 11:12 UTC (h), 11:18 UTC (i), 11:24 UTC (j), 11:30 UTC (k) ve 11:36 UTC (l) Muğla Radarı MAX ürünleri.
Figure 6. Muğla Radar MAX products of 10:30 UTC (a), 10:36 UTC (b), 10:42 UTC (c), 10:48 UTC (d), 10:54 UTC (e), 11:00 UTC (f), 11:06 UTC (g), 11:12 UTC (h), 11:18 UTC (i), 11:24 UTC (j), 11:30 UTC (k) and 11:36 UTC (l) on the 29th of November, 2018.

Radar yazılımı tarafından hesaplanan yer seviyesi yağış yoğunluğunu gösteren SRI ürünlerini incelediğimizde, 10:48 UTC (Şekil 7d) ile 11:36 UTC (Şekil 7l) saatleri arasında, olay bölgesinde saatlik 100 mm'in üzerinde değerlere sahip yağış noktaları görülebilmektedir (Şekil 7). Bu yağış süresi ve yoğunluğu göz önüne alındığında, bölgeye ortalama saatlik 100 mm civarında yağış düşmüş olabileceği düşünülmektedir. Bu değerler de hem basınçtaki değişim saatleriyle, hem de MAX ürünlerindeki değerlerle örtüşmektedir.

6 saatlik yere düşen toplam yağışı hesaplayan RAINN görüntüsü incelendiğinde, su baskınları ve hasarların yaşandığı bölgede toplam 100 mm civarında bir değer okunabilmektedir (Şekil 8). Buna karşılık, Bodrum OMGİ üzerindeki değer 20 mm ile 50 mm, Turgutreis Deniz OMGİ üzerindeki değer ise 10 mm civarlarındadır.



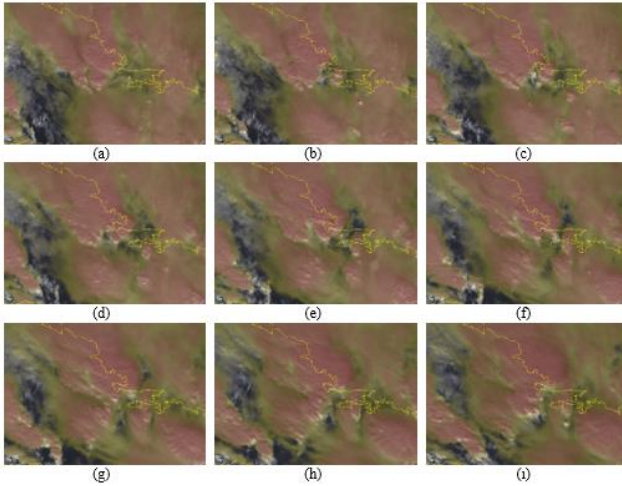
Şekil 7. 29 Kasım 2018 tarihine ait 10:30 UTC (a), 10:36 UTC (b), 10:42 UTC (c), 10:48 UTC (d), 10:54 UTC (e), 11:00 UTC (f), 11:06 UTC (g), 11:12 UTC (h), 11:18 UTC (i), 11:24 UTC (j), 11:30 UTC (k) ve 11:36 UTC (l) Muğla Radarı SRI ürünleri.
Figure 7. Muğla Radar SRI products of 10:30 UTC (a), 10:36 UTC (b), 10:42 UTC (c), 10:48 UTC (d), 10:54 UTC (e), 11:00 UTC (f), 11:06 UTC (g), 11:12 UTC (h), 11:18 UTC (i), 11:24 UTC (j), 11:30 UTC (k) and 11:36 UTC (l) on the 29th of November, 2018.



Şekil 8. 29 Kasım 2018 tarihine ait 15:00 UTC Muğla Radarı 6 saatlik RAINN ürünü.
Figure 8. Muğla Radar, 15:00 UTC 6 hour RAINN product on the 29th of November, 2018.

Uydu Ürünleri: HRV-IR10.8 kompozit görüntülerine bakıldığında, 09:30 UTC'de (Şekil 9a) Datça Yarımadası'nın kuzeyinde ve batısında oluşan iki ayrı konvektif yapının, 10:00 UTC'de (Şekil 9c) Bodrum'un hemen güneyinde birleşerek ve hızlı bir şekilde gelişerek

kuzey yönünde ilerlediği görülmektedir (Şekil 9). Uydu görüntüleri 15 dakikalık zamansal çözünürlüğe sahiptir. Kullanılan uydu ürünlerinde kırmızı renk tonları düşük sıcaklıkları, mavi renk tonları ise yüksek sıcaklıkları ifade etmektedir. Oluşan yeni hücre 11:30 UTC'ye (Şekil 9i) kadar Bodrum Yarımadası üzerinde etkili olmaya devam etmektedir. 10:30 UTC (Şekil 9e), 10:45 UTC (Şekil 9f) ve 11:00 UTC (Şekil 9g) görüntülerinde, hücrenin belirgin biçimde tepe yaptığı tespit edilmiştir. Ayrıca, yoğun kırmızı tonları, bulut tepe sıcaklığının çevreye göre daha düşük olduğunu belirtmektedir. Buradan yola çıkarak, etkili yağışın muhtemel dakikalarının 10:30 UTC (Şekil 9e) ile 11:30 UTC (Şekil 9i) arası olduğu düşünülmektedir. Araştırma yapılırken parallax hatası göz önünde bulundurulmuştur (Parallax etkisinden bölüm 2'de bahsedilmiştir).



Şekil 9: 29 Kasım 2018 tarihine ait 09:30 UTC (a), 09:45 UTC (b), 10:00 UTC (c), 10:15 UTC (d), 10:30 UTC (e), 10:45 UTC (f), 11:00 UTC (g), 11:15 UTC (h) ve 11:30 UTC (i) arasındaki HRV-IR10.8 uydu ürünleri.

Figure 9: HRV-IR10.8 satellite products of 09:30 UTC (a), 09:45 UTC (b), 10:00 UTC (c), 10:15 UTC (d), 10:30 UTC (e), 10:45 UTC (f), 11:00 UTC (g), 11:15 UTC (h) and 11:30 UTC (i) on the 29th of November, 2018.

SONUÇ VE TARTIŞMA

29 Kasım 2018 tarihinde, öğle saatlerinde Bodrum Yarımadası'nın güneyinde, deniz üzerinde gözlemlenen hortum ve devamında başlayan kuvvetli yağış yaklaşık 1 saat devam etmiştir. Şiddetli gök gürültülü sağanak yağmur, Bodrum İlçe Merkezi, Bitez ve Konacık bölgesinde su baskınlarına sebep olmuş, birçok taşıt sele kapılarak hasar görmüştür.

Bodrum ve Turgutreis Deniz OMGİ verilerine göre, bu ölçekte bir yağışa dair işaretlere, sıcaklık değişimi hariç rastlanılmamaktadır. Bu şiddetli ve büyük hasara sebep olan bu hadise meteorolojik kayıtlarda görülmemektedir. Yağış miktarlarının düşük olmasının

sebebi bu şiddetli meteorolojik olayın bu iki istasyon arasında meydana gelmiş olmasıdır.

Güney Ege ve Doğu Akdeniz üzerindeki 1012 hPa'lık alçak basınç merkezi ve 500 hPa seviyesindeki derin oluk ile -22,5 °C'lik soğuk hava ile birlikte 19 °C'lik deniz yüzey sıcaklığı, konvektif hareketin oluşması ve gelişmesi için oldukça uygun bir ortam sağlamıştır. Bunlara ek olarak, AROME modeline ait Skew-T Log-P diyagramları da atmosferik şartların kuvvetli konveksiyon için uygun olduğunu göstermektedir.

Muğla radarı ait MAX ürünlerinde, olay saatinde gözlemlenen 50 dBZ üzeri ekolar ve 15 km'ye ulaşan bulut tepe yüksekliği değerleri, konvektif yapının oldukça güçlü olduğunu göstermektedir. SRI ürünlerine ise, bölge genelinde saatlik ortalama 50 mm ile 100 mm civarında olan ve yer yer saatlik 100 mm'i geçen yer seviyesi yağış yoğunluğu değerleri dikkat çekmektedir. Ayrıca, RAINN ürününde, olay bölgesinde hesaplanan 6 saatlik toplam 100 mm yağışın miktarının su baskınlarına sebebiyet verebileceği görülmektedir. OMGİ'lerdeki toplam yağış rakamları; Turgutreis Deniz OMGİ'de hesaplanan rakam 10 mm civarı, ölçülen rakam 11,6 mm ve Bodrum OMGİ'de hesaplanan rakam 20 mm ile 50 mm, ölçülen 5,6 mm'dir. Bodrum OMGİ'de oluşan farkın, eksik yağış kayıtları ile alakası olduğu düşünülebilir.

Uydu görüntülerinde gözlenen düşük bulut tepe sıcaklığı değerleri, yapının yüksek dikine harekete sahip olduğunu ve böylece kuvvetli bir yapı olduğunu göstermektedir. Ayrıca 10:30 UTC ile 11:00 UTC arasında belirgin tepe yapması da yapının gücüne dair bir işaretir.

Sonuç olarak, bölge üzerinden geçen trofa bağlı sağanak hattı bu hortum ve sel felaketinin yaşanmasına neden olmuştur. Uzaktan algılama ürünleri, bölgede gerçekleşen felakete dair belirgin izler taşımaktadır. Yer gözlemleri ise bu durumu tam olarak yansıtmamaktadır. Bu durum, meteorolojik açıdan hem gözlem hem de tahmin aşamasında, uzaktan algılama ürünlerinin ne kadar önemli olduğunu açıkça göstermektedir. Ayrıca, Bodrum Yarımadası genelindeki OMGİ sayısının, Bodrum'un yaşadığı sel felaketleri göz önüne alındığında, yeterli olmadığı, özellikle yarımadanın doğu-batı doğrultusunda orta bölgelerinde bir veya daha fazla noktaya, yağış ölçer ve hâlihazır hava sensörü içeren istasyonların kurulmasının araştırma ve tahmin açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, meteorolojik verilerin elde edilmesindeki desteklerinden dolayı MGM'ye ve değerli görüşleri ve emekleri için de editör ve hakemlere teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- ArcGIS Webmap.** (2020). Erişim tarihi: 23 Haziran 2020. [WEB: arcgis.com/home/webmap/viewer.html](http://arcgis.com/home/webmap/viewer.html).
- ECMWF.** (2020). Erişim tarihi: 23 Haziran 2020. <https://www.ecmwf.int/en/research/modelling-and-prediction/atmospheric-dynamics>.
- Borhan, Y.** (2006). *Dinamik Meteoroloji Ders Notları*, 47.
- EUMETSAT.** (2019). Erişim tarihi: 11 Eylül 2019. <https://archive.eumetsat.int/usc/>.
- Holton, J. R. & Hakim, G. J.** (2013). *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Fifth Edition, Elsevier,UK, 81-85p.
- Kolay, O., Özdemir, E.T. & Yetemen, O.** (2019). 29 Kasım 2018 Bodrum (Muğla) Selinin İncelenmesi. *IV. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu*, 11-15 Kasım 2019, Antalya, Türkiye, 54. sıra, <http://uzalmet.mgm.gov.tr/Site/Program.aspx>.
- MEVBİS.** (2019). Erişim tarihi: 11 Eylül 2019, <https://mevbis.mgm.gov.tr>.
- MGM.** (2020). Erişim tarihi: 23 Haziran 2020, [WEB: mgm.gov.tr/genel/meteorolojiradarlari.aspx](http://mgm.gov.tr/genel/meteorolojiradarlari.aspx).
- NTV.** (2020). Erişim tarihi: 20 Haziran 2020, <https://www.ntv.com.tr/galeri/turkiye/bodrumu-saganak-yagis-vurdu,UExIDF23sEGEXvLUyBynnw/puvmylslpUmEtjEiY-LgZA>.
- Özdemir, E.T. & Deniz, A.** (2016). Severe thunderstorm over Esenboğa International Airport in Turkey on 15 July 2013. *Weather*, **71**(7), 157-161.
- Özdemir, E.T., Deniz, A., Sezen, I., Aslan, Z. & Yavuz, V.** (2017). Investigation of thunderstorms over Ataturk International Airport (LTBA), Istanbul. *Mausam*, **68**(1), 175-180.
- Özdemir, E.T., Korkmaz, F.M. & Yavuz, V.** (2018). Synoptic analysis of dust storm over Arabian Peninsula: A case study on Feb, 28, 2009. *Natural Hazards*, **92**(2), 805-827. DOI: 10.1007/s11069-018-3226-y.
- Özdemir, E.T., Yavuz, V., Deniz, A., Karan, H., Kartal, M. & Kent, S.** (2019). Squall line over Antalya: A case study of the events of 25 October 2014. *Weather*, **74**(S1), 1-6. DOI: 10.1002/wea.3459.
- Özdemir, E.T.** (2019). Investigations of a southerly non-convective high wind event in Turkey and effects on PM 10 values: A case study on April 18, 2012. *Pure and Applied Geophysics*, **176**(10), 4599-4622.
- Özdemir, E.T. & Yetemen, O.** (2019). Deniz etkisi artırılmış kar yağışının meteorolojik analizi 17-19 Şubat 2015 İstanbul olayı. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, **4**(2), 115-121. DOI: 10.35229/jaes.574817.
- Özdemir, E.T., Kolay, O. & Yetemen, O.** (2019). A case study of rural area hail storm in Yomra, Trabzon, on August 31, 2017. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, **4**(2), 243-250. DOI: 10.35229/jaes.573842.
- Özdemir, E.T. & Kolay, O.** (2020). Meteorological analysis of fatal Istanbul helicopter accident on Mar 10, 2017. *Int. J. Of Global Warming*, **20**(4), 341-352.
- Radová, M. & Seidl, J.** (2008). Parallax applications when comparing radar and satellite data. *In the 2008 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference*, Darmstadt, Germany (in September).
- SHT.** (2019). Erişim tarihi: 15 Eylül 2019. <http://sht.mgm.gov.tr/sht/>.
- Sirdas, S.A., Özdemir, E.T., Sezen, İ., Efe, B. & Kumar, V.** (2017). Devastating extreme Mediterranean cyclone's impacts in Turkey. *Natural Hazards*, **87**(1), 255-286.
- TÜİK.** (2020). Erişim tarihi: 23 Haziran 2020, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>.
- UMR-CNRM.** (2020). Erişim tarihi: 23 Haziran 2020. [WEB: umr-cnrm.fr/spip.php?article120&lang=en](http://umr-cnrm.fr/spip.php?article120&lang=en).
- UZAL** (2020). Erişim tarihi: 23 Haziran 2020. <http://uzal.mgm.gov.tr/radar.aspx>.
- Yavuz, V., Özdemir, E. T., Deniz, A.** (2020). Nowcasting of a Thunderstorm: The Case Study of 2 February, 2015 At Istanbul Ataturk International Airport. *Mausam*, **71**(1), 21-32.