

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**24 AĞUSTOS 2015 TARİHİNDE HOPA'DA ANİ TAŞKINA NEDEN OLAN
AŞIRI YAĞIŞ HADİSESİNİN METEOROLOJİK ANALİZİ VE BULUT
DİNAMİK YAPILARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur DURMUŞ

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

ARALIK, 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**24 AĞUSTOS 2015 TARİHİNDE HOPA'DA ANİ TAŞKINA NEDEN OLAN
AŞIRI YAĞIŞ HADİSESİNİN METEOROLOJİK ANALİZİ VE BULUT
DİNAMİK YAPILARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Onur DURMUŞ
(511141011)**

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Orhan ŞEN

ARALIK, 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511141011 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Onur DURMUŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "24 AĞUSTOS 2015 TARİHİNDE HOPA'DA ANİ TAŞKINA NEDEN OLAN AŞIRI YAĞIŞ HADİSESİNİN METEOROLOJİK ANALİZİ VE BULUT DİNAMİK YAPILARININ İNCELENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Orhan ŞEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mikdat KADIOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gürcan ORALTAY
Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : 01 Aralık 2016
Savunma Tarihi : 20 Aralık 2016

Aileme,

ÖNSÖZ

Taşkın afetinin son yıllarda daha sık görülmesi, bu afetin insan yaşamına olan doğrudan ve dolaylı etkilerini ön plana çıkarmaktadır. Özellikle insan nüfusunun kırsal bölgelere göre fazla olduğu il ve ilçe merkezlerinde; taşkınlar etkilenen insan sayısı bakımından önem arz etmektedir. Türkiye’de taşkın afetinin nedenlerinin ve sonuçlarının incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır; ancak taşkın afetine neden olan bulutların, dinamik yapıları hakkında yapılan çalışmalar oldukça az sayıdadır. Aşırı yağıştan kaynaklanan ani taşkınlar için bulut dinamik yapıları kritik önem taşımaktadır. Klasik bulut dinamik yapılarının incelendiği çalışmaların hemen hemen hepsinde Doppler radar ürünleri yardımıyla bu yapılar belirlenebilmektedir. Hopa gibi Doppler radar ürünlerinin menzili dışında kalan bölgelerde meydana gelen aşırı yağış sonucu, taşkın afetini oluşturan bulut dinamik yapıları ile ilgili alternatif analiz yollarına ihtiyaç vardır. Teknolojik gelişmelerle birlikte uydu ürünleri bulut dinamik yapılarının incelenmesi konusunda oldukça başarılı sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle, yüksek lisans tez çalışmam da alışılmış Doppler radar ürünlerinin kullanılmadığı bir ani taşkın olayı olan 24 Ağustos 2015 tarihli Hopa ani taşkını çalışma konusu olarak seçilmiştir.

Çalışmamda, fikir öncülüğü ve bulut dinamik yapılarının incelenmesi konusunda yol göstericilik yapan Prof. Dr. İsmail GÜLTEPE’ ye, tez danışmanım olarak bu çalışmayı yaparken her konuda bilgi ve tecrübelerini aktaran Prof. Dr. Orhan ŞEN’e, bu süreçte her an bana destek olan ve yardımını esirgemeyen Simla İŞLER’e, çalışmada kullandığım verinin temini sürecinde kolaylık sağlayan tüm MGM çalışanlarına, Esin ve Kahraman OĞUZ çiftine teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Aralık 2016

Onur DURMUŞ
(Öğretim Görevlisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Çalışma Alanı	3
1.3 Hopa'nın İklimi	5
1.4 Topografya	6
1.5 Bitki Örtüsü	7
1.6 Literatür Araştırması	7
2. MATERYEL METOD	11
3. SİNOPTİK VE HİDROMETEOROLOJİK ANALİZLER.....	15
3.1 Yer Kartları	16
3.2 Yüksek Seviye Haritaları	18
3.3 Kararsızlık Analizi	21
3.3.1 Kararsızlık indeksleri	21
3.3.2 CAPE (Convective Available Potential Energy)	23
3.4 Yağış Analizi.....	24
3.4.1 Yağış tekerrür analizi	27
3.5 Radar Görüntüleri.....	28
3.6 Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi (FFGS) Sonuçları.....	29
3.7 Yağışı Maksimuma Ulaştıran Hava Parselinin Yörünge Analizi.....	32
4. BULUT DİNAMİK YAPILARININ İNCELENMESİ.....	35
4.1 Bulutların Tanımı ve Atmosferik Hareketlerin Sınıflandırılması	35
4.2 Radar	36
4.3 Meteoroloji Radarı	37
4.3.1 Doppler Radar	38
4.3.1.1 Doppler Radar parametreleri.....	39
4.3.1.2 Doppler Radar ürünleri	42
4.3.1.3 Radar bantları	43
4.3.2 Meteoroloji Genel Müdürlüğü radar şebekesi	43
4.4 Uydu	46
4.4.1 Meteorolojik amaçlı uydular	47
4.4.2 Meteosat Second Generation (MSG)	48
4.4.2.1 MSG – Seviri ekipmanı.....	48

4.4.3 RGB (Kırmızı-Yeşil-Mavi) görselleştirme tekniği	51
4.4.3.1 Natural Colour RGB.....	52
4.4.3.2 Day Microphysics RGB	53
4.4.3.3 Airmass RGB	55
4.4.3.4 Day Convective Storms RGB	57
4.4.3.5 SAF (Satellite Application Facilities)	58
4.4.3.6 NWC-SAF	59
4.4.3.7 TMeTPro ve TMeTVis yazılımları	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ	77

KISALTMALAR

AMS	: Amerika Meteoroloji Birliği
ANOVA	: Varyans Analizi
ARL	: Hava Kaynak Labortuvarı
BM	: Birleşmiş Milletler
BTD	: Parlaklık Sıcaklık Farkı
C	: Celcius
c	: Radar Sabiti
CAPE	: Konvektif Mevcut Potansiyel Enerji
CAPPI	: Sabit İrtifa Plan Pozisyon Göstergesi
CAT	: Açık Hava Türbülansı
CB	: Kümülonimbus
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CH	: Kanal
CM	: Santimetre
CO₂	: Karbondoksit
CRR	: Konvektif Yağış Oranı Ürünü
CTTH	: Bulut Tepe Sıcaklığı ve Yüksekliği Ürünü
D	: Diferansiyel Reflektivite
D	: Doğu
DAM	: Dekametre
dBZ	: Logaritmik Reflektivite Değeri
DEM	: Sayısal Yükseklik Modeli
DHMI	: Devlet Hava Meydanları İşletmeleri
ECMWF	: Avrupa İçin Orta Ölçekli Hava Tahmin Merkezi
EM	: Elektromanyetik
EM-DAT	: Uluslararası Afet Veri Merkezi
EUMETSAT	: Avrupa Meteoroloji Uyduları Yararlanma Teşkilatı
FFGS	: Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi
GHz	: Gigahertz
HE	: Hidro Tahmin
HEC-HMS	: Hidrolojik Mühendislik Merkezi
hPa	: Hektopaskal
HRV	: Yüksek Çözünürlüklü Görünür
HYSPLIT	: Hibrit-Tek Parçacıklı Lagrangian İntegrali Yörüngesi
IFS	: Entegre Tahmin Sistemi
IR	: Kızılötesi
K	: Kuzey
KM	: Kilometre
LOG	: Logaritmik
M	: Metre
MAX	: Maksimum
MB	: Milibar

METCAP	: Meteorolojik İletişim ve Uygulama Paketi
METEOSAT	: Meteorolojik Uydu
MFG	: Meteosat Birinci Nesil
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MM	: Milimetre
MM	: Milimetre
MSG	: Meteosat İkinci Nesil
MTG	: Meteosat Üçüncü Nesil
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NIR	: Yakın Kızılötesi
NOAA	: Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi
NWC	: Kısa Vadeli Hava Tahmini
NWP	: Sayısal Hava Tahmini
OMGİ	: Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
PPI	: Plan Pozisyon Göstergesi
P_r	: Alınan Güç
PV	: Potansiyel Vortisiti
PW	: Yağışa Geçebilir Su Miktarı
R	: Hedefin Radara Olan Uzaklığı
R	: Yağış Oranı
RADAR	: Radyo Algılama ve Aralığı
RGB	: Kırmızı Yeşil Mavi Görselleştirme Tekniği
RHI	: Aralık Yüksekliği Göstergesi
RTTOV	: Radyasyon Transfer Modeli
SA	: Saat
SAF	: Uydu Verisi Uygulama Merkezleri
SAFNWC	: Uydu Verisi Uygulama Merkezleri Tesisi Kısa Vadeli Hava Tahmini
SEVIRI	: Dönen Geliştirilmiş Görünür ve Kızılötesi Görüntüleyici
SHTM	: Sivil Havacılık Tahmin Merkezi
SMHI	: İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü
SN	: Saniye
SO₂	: Kükürtdioksit
SRI	: Yer Seviyesi Yağış Yoğunluğu
STALO	: Stabilize Lokal Osilatör
TEFER	: Türkiye Acil Sel ve Deprem İyileştirme Projesi
TL	: Türk Lirası
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TMPA	: Çok Uydulu Yağış Analizi
TOD	: Türkiye Ormancılar Derneği
TRMM	: Tropikal Yağış Ölçüm Görevi
USİAD	: Ulusal Sanayici ve İş Adamları Derneği
UTC	: Eşgüdümlü Evrensel Zaman
V	: Hız
VIS	: Görünür
VPN	: Kişiyi Özel Ağ
W	: Spektral Genişlik
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütü
WRF	: Hava Durumu Araştırması Ve Tahmini
WV	: Su Buharı
Z	: Reflektivite Faktörü

SEMBOLLER

%	: Yüzde
>	: Büyüktür
<	: Küçüktür
°	: Derece
'	: Dakika
"	: Saniye
μm	: Mikrometre
°C	: Santigrat Derece
λ	: Lambda

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Lifted Index Değerlerinin Karşılık Geldiği Atmosferik Durum (Akgün, t.y.).	22
Çizelge 3.2 : Total Totals Index Değerlerinin Karşılık Geldiği Oraj Olasılıkları (Akgün, t.y.).	22
Çizelge 3.3 : K Index Değerlerinin Karşılık Geldiği Oraj Potansiyel (Akgün, t.y.).	23
Çizelge 3.4 : SWEAT Index Değerlerinin Karşılık Geldiği Oraj Potansiyeli (Akgün, t.y.).	23
Çizelge 3.5 : CAPE Değerlerinin Karşılık Geldiği Atmosferik Durum (Akgün, t.y.).	24
Çizelge 3.6 : 24 Ağustos 2015 Hopa Yağış Tekerrür Analizi (MGM, t.y.).	28
Çizelge 4.1 : Çeşitli Eko Kaynaklarının Karşılık Gelen Radar Reflektivite Faktörü Değerleri (Eminoğlu, S. v.d., 2015).	40
Çizelge 4.2 : Radar Reflektivite Değeri - Yağış Şiddeti İlişkisi (Eminoğlu ve diğ, 2015).	41
Çizelge 4.3 : Diferansiyel Reflektivite Değeri - Yağış İlişkisi (Eminoğlu ve diğ, 2015).	42
Çizelge 4.4 : Meteorolojik Amaçlarla Kullanılan Radar Bantları (WMO, 2010).	43
Çizelge 4.5 : Meteosat-8, Meteosat-9, Meteosat-10 SEVIRI Spektrum Kanalları (MGM, t.y.).	49
Çizelge 4.6 : TMetVis Programı Aracılığı ile CTTH ve CRR Ürünlerinden Elde Edilen Bulut Tepe Yükseklikleri, Sıcaklıkları ve Konvektif Yağış Miktarları..	63

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Hopa'nın Türkiye'deki Konumu (Google Earth, 2016).	3
Şekil 1.2 : Hopa İlçesi Su Toplama Havzası (TOD, 2015).	4
Şekil 1.3 : Hopa, Çubuk-Çizgi Grafiği (Solda) ve Klimogramı (Sağda) (Klimatoloji Şube Müdürlüğü, 2014).	6
Şekil 1.4 : Türkiye Sayısal Arazi Modeli (DEM) Haritası (Klimatoloji-II, t.y.).....	7
Şekil 3.1 : 24 Ağustos 2015 00 UTC (sol) ve 12 UTC (sağ) Yer Seviyesi Haritası..	16
Şekil 3.2 : 24 Ağustos 2015 06 UTC Yer Seviyesi Basınç ve Rüzgar Haritası (ECMWF, 2016).	17
Şekil 3.3 : 2015 yılı Ağustos Ayı Ortalama Sıcaklık Farkları (MGM, t.y.).	17
Şekil 3.4 : 24 Ağustos 2015 00 UTC (sol) ve 12 UTC (sağ) 850 hPa Haritası.	18
Şekil 3.5 : 24 Ağustos 2015 00 UTC (sol) ve 12 UTC (sağ) 700 hPa Haritası.	18
Şekil 3.6 : IFS Modeli 24 Ağustos 2015 06 UTC 700 hPa Nispi Nem Haritası (ECMWF).	19
Şekil 3.7 : 24 Ağustos 2015 00 UTC (sol) ve 12 UTC (sağ) 500 hPa Haritası.	19
Şekil 3.8 : IFS Modeli 24 Ağustos 2015 06 UTC 500 hPa Nispi Nem ve 09 UTC Düşey Hız Haritası.	20
Şekil 3.9 : 24 Ağustos 2015 12 UTC 300 hPa Rüzgâr Haritası.....	20
Şekil 3.10 : Dzugba (37011) İstasyonu Skew - T Diyagramı ve Kararsızlık İndeksleri.....	21
Şekil 3.11 : 23 - 24 Ağustos 2015 Tarihli IFS Modeli CAPE Tahmin Çıktısı.	24
Şekil 3.12 : 24 Ağustos 2015 Tarihinde Ölçülen Saatlik Yağış Miktarları.	25
Şekil 3.13 : 23 Ağustos 2015 06 UTC - 24 Ağustos 2015 06 UTC Arası 24 Saatlik Toplam Yağış Değerleri.	26
Şekil 3.14 : 24 Ağustos 2015 Tarihi İçin ALR (üstte), IFS (ortada) ve WRF (altta) Modellerinin 00 UTC – 00 UTC Arası 24 Saatlik Toplam Yağış Tahminleri... 27	27
Şekil 3.15 : 23 - 24 Ağustos 2015 Tarihli Radar Görüntüleri.	29
Şekil 3.16 : Ani Taşkın Erken Uyarı Modeli Çalışma Şeması (MGM, t.y.).	30
Şekil 3.17 : FFGS Modelinin 24 Ağustos 2015 Tarihi İçin 6 ve 24 Saatlik Toplam Yağış Miktarları.	31
Şekil 3.18 : 09 UTC' de Hopa'da Maksimum Saatlik Yağışın Ölçüldüğünde Etkisini Gösteren Hava Parsellerinin Orjin Noktası ve Yörüngesi.	33
Şekil 3.19 : 09 UTC' de Hopa'da Maksimum Saatlik Yağışın Ölçüldüğünde Etkisini Gösteren Hava Parsellerinin Başınç, Nem ve Yörüngesi.....	33
Şekil 4.1 : Genel Olarak Radar Çalışma Prensibi (NJA, 2014).....	37
Şekil 4.2 : Doppler Radar Şeması (MGM, t.y.).	39
Şekil 4.3 : Doppler Mod Radar Şeması (MGM, t.y.).	44
Şekil 4.4 : Afet Bölgesinde Ölçülen Reflektivite (dBZ) Değerlerinin Zamanla Değişimi.	44
Şekil 4.5 : Reflektivite Değerleri - Ölçülen Yağış Miktarı İlişkisi.....	45

Şekil 4.6 : Saatlik Ortalama dBZ - Yağış Miktarı Dağılım Grafiği.....	46
Şekil 4.7 : Avrupa, Amerika, Asya Ülkeleri ve Rusya'nın Uzaya Göndermiş Olduğu Sabit Ve Kutupsal Yörüngeli Meteorolojik Amaçlı Uydular (MGM, t.y.).....	47
Şekil 4.8 : 24 Ağustos 2015 Tarihli Natural Colour RGB Görüntüleri.	52
Şekil 4.9 : 24 Ağustos 2015 Tarihli Day Microphysic RGB Görüntüleri.	54
Şekil 4.10 : 24 Ağustos 2015 Tarihli Airmass RGB Görüntüleri.....	56
Şekil 4.11 : 24 Ağustos 2015 Tarihli Day Convective Storm RGB Görüntüleri.....	58
Şekil 4.12 : SAF-NWC CTTH Ürünü Bulut Tepe Sıcaklığı (Üstte), Bulut Tepe Yüksekliği (Ortada), Konvektif Yağış Oranı (Altta).	62
Şekil 4.13 : Bulut Tepe Yüksekliği ve Sıcaklığı Arasındaki İlişki.....	64
Şekil 4.14 : Ortalama Saatlik Bulut Tepe Sıcaklığı - Yağış ve Konvektif Yağış Tahmini İlişkisi.	64
Şekil 4.15 : Saatlik Ortalama Bulut Tepe Sıcaklığı Ve Ölçülen Yağış Miktarı Dağılım Grafiği.	65
Şekil 4.16 : Saatlik Ortalama Konvektif Yağış Miktarı İle Yer Gözlemlerinden Elde Edilen Saatlik Toplam Yağış Miktarı Dağılım Grafiği.	66
Şekil 4.17 : Saatlik Ortalama Bulut Tepe Sıcaklığı – Konvektif Yağış Miktarı Dağılım Grafiği.	67

24 AĞUSTOS 2015 TARİHİNDE HOPA'DA ANİ TAŞKINA NEDEN OLAN AŞIRI YAĞIŞ HADİSESİNİN METEOROLOJİK ANALİZİ VE BULUT DİNAMİK YAPILARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Türkiye'nin en çok yağış alan bölgesi, Doğu Karadeniz Bölgesi'dir. Bu bölgede meydana gelen yağışlar yılda 2350 mm'lik değerleri bulabilmektedir. Yılın her ayı yağış alan bölgede bulunan Artvin ili, Hopa ilçesine, Türkiye'nin yıllık ortalama yağış miktarının yaklaşık dört katı kadar yağış düşmektedir. Aşırı yağış ve dere yataklarına yapılan müdahaleler nedeniyle Hopa, ani taşkın afetinin sıkça yaşandığı bir bölgedir.

En kurak ve en nemli alanlarda dahi meydana gelebilen taşkın afeti, çok farklı şekillerde tanımlanabilmektedir. Taşkın; doğal ya da doğal olmayan nedenlerle suyun yatağından yükselerek normal şartlarda kuru olan alanların su altında kalması olarak tanımlanabilir. Doğa yapısı gereği kendini koruma mekanizmasına sahiptir. Bu süreç dahilinde taşkın hidrometeorolojik bir hadise olarak kabul edilmektedir; fakat doğanın dengesinin bozulması sonucunda taşkınlar bir felakete dönüşebilmektedir. Taşkın oluşumu birkaç gün sürebildiği gibi dakikalar içinde de oluşabilir. Kısa sürede oluşan taşkınlar ani taşkın olarak adlandırılır. Ani taşkınlar genellikle 6 saatten kısa süreli, şiddetli yağışların sonucunda meydana gelir. Ani taşkınların temel etmenleri yağış süresi ve miktarı olmasına rağmen, taşkına sebebiyet veren diğer etmenlerden olan toprağın nem durumu, geçirgenliği ve bölgenin coğrafi koşullar da ani taşkın oluşumunda büyük önem taşımaktadır.

24 Ağustos 2015 tarihinde Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Hopa ilçesinde meydana gelen ani taşkın afeti sonucunda 8 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, büyük miktarda maddi zarar meydana gelmiştir. Bu çalışmada, 24 Ağustos 2015 tarihinde Artvin ili, Hopa ilçesinde meydana gelen ani taşkın afeti, sinoptik ve hidrometeorolojik açıdan incelenmiş, yağış tahminlerinde sıkça kullanılan IFS, ALR, WRF modellerinin ve Taşkın Erken Uyarı Sistemi sonuçlarının tahmin başarıları irdelenmiştir. Buna ek olarak, aşırı yağışa neden olan bulut sistemleri belirlenmiş, afet süresi, öncesi ve sonrasında Hopa ve civarında bulunan bulut dinamik yapıları incelenmiştir.

Çalışma konusu kapsamında, 24 Ağustos 2015 tarihinde ani taşkına neden olan sinoptik şartlar değerlendirilmiş, bu analizin sonucu olarak; yer seviyesinde, Karadeniz üzerinden gelen nemli hava girişi, yüzey sıcaklıklarının Ağustos ayı ortalamalarından yüksek olduğu ve yüzey sıcaklıkları ile işba sıcaklığının birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir. 850 hPa seviyesinde, soğuk hava girişi ve düşük kontur değerleri gözlemlenmiştir. 700 hPa seviyesinde, Ege Bölgesi ve Karadeniz üzerinde yüksek seviye oluşu ve %100'e yakın nispi nem miktarı dikkat çekmektedir. 500 hPa seviyesinde, soğuk katofun varlığı ve 700 hPa seviyesinde olduğu gibi yüksek nem miktarları tespit edilmiştir. 300 hPa seviyesinde ise Türkiye üzerinde kuvvetli bir jet akımının olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, incelenen seviyelerdeki atmosferik

şartların konvektif bulut ve yağış oluşumu için ideal koşulları yarattığı belirlenmiştir. Buna ek olarak orografik etkilerin de Hopa ve civarında oluşan konvektif sistemleri desteklediği görülmüştür. Artvin ili, Hopa ilçesinde atmosferik sondaj ölçümleri yapılmasa da bölgeye en yakın Dzugba (Rusya) istasyonu kullanılarak yapılan kararsızlık analizinde, tüm kararsızlık indekslerinin şiddetli oraj potansiyeli skalasına girdiği görülmüştür. Hopa bölgesi için hazırlanan IFS modelinin CAPE tahmin çıktıları, Hopa üzerindeki atmosferin 23 Ağustos akşamından itibaren kararsız olduğunu göstermektedir. Bu durum, aşırı yağışı meydana getiren şiddetli konvektif hareketliliği açıklamaktadır. Hopa’da ani taşkın afetine neden olan aşırı yağışların 24 Ağustos sabahı erken saatlerde başladığı, 09:00 – 10:00 saatleri arasında maksimuma ulaşarak bu bölgede ani taşkın afetine neden olduğu belirlenmiştir. Yapılan yağış tekerrür analizine göre, Hopa’da meydana gelen 287,2 mm’lik günlük toplam yağışın 60, 120, 180, 240 ve 300 dakikalık toplamalarının 100 yıldan fazla tekerrür aralığına sahip olduğu saptanmıştır. Bu saatlerde meteoroloji radarından alınan reflektivite (dBZ) değerlerinin de Şiddetli-Aşırı yağış skalasında yer aldığı görülmüştür. Bu bölge için IFS, ALR ve WRF modellerinin yağış çıktıları, yer gözlemleri ile karşılaştırılmış; Hopa’da meydana gelen bu konvektif ve orografik yağış, etkilenen bölge ve yağış miktarı açısından değerlendirildiğinde, en başarılı tahminlerin WRF modeline ait olduğu görülmüştür. Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi (FFGS) sonuçlarının ani taşkın afetine neden olan yağışın lokal olmasına karşı yağış bölgesini gayet başarılı tespit ettiği; ancak yağış miktarı tahmininde yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. NOAA’nın HYSPLIT modeli kullanılarak yağışı maksimuma ulaştıran hava parselinin yörünge analizi yapıldığında, standart atmosfer seviyelerindeki 50 m (1000 hPa), 1500 m (850 hPa) ve 3000 m (700 hPa) yükseklikteki hava parsellerinin uzun süre Karadeniz üzerinde alçak seviyelerde bir yörünge izleyerek Hopa’ya ulaştığı, bu nedenle tüm seviyelerdeki nemlilik miktarlarını arttırdığı belirlenmiştir.

Meteoroloji alanında Doppler radarları kullanılmaya başlandıktan sonra, tarama modunda elde edilen reflektivite (dBZ) değerleri ile yağış tahmini, yerini Doppler radar ürünlerine bırakmıştır. Bu yaklaşım kümülüform bulutlar için hala iyi bir yaklaşım olmasına rağmen, stratiform bulutlar için yer ölçümleri ile belirlenen yağış miktarlarına göre iki kata kadar hatalar yapılabilmektedir. Hopa’nın Trabzon Meteoroloji Radarı’na olan uzaklığının ortalama olarak 160 km olması nedeniyle Doppler radar ürünleri (maksimum 120 km menzil) kullanılamamaktadır. Tarama mod radar verilerinden elde edilen reflektivite değerleri doğrudan yağış miktarını vermese de kümülüform bulutlar için reflektivite değerleri iyi bir öngörü sağlayabilmektedir. 24 Ağustos sabahı yağışın maksimuma ulaştığı saatlerde, saatlik ortalama reflektivite değerleri Şiddetli-Aşırı yağış skalasına düşmesi ve tarama mod dBZ değerlerinin yağış miktarı ile iyi sayılabilecek bir ilişki göstermesi kümülüform bulutlar için hala kullanılabilecek bir yöntem olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak yağış miktarı ve reflektivite değerlerinin anlamlılıklarının belirlenebilmesi için dağılım grafiği çizilmiş ve regresyon istatistikleri verilmiştir. ANOVA anlamlılık testine göre yağış miktarı ve reflektivite değerleri istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu iki veri seti arasında %70 korelasyon bulunurken, ölçülen reflektivite değerlerinin %48.5’lik bölmünün yağış miktarı ile açıklanabildiği söylenebilir.

Bu çalışmada, bulut dinamik yapılarının belirlenmesi amacı ile 2. Nesil Meteosat uydu (MSG) ürünleri kullanılmıştır. Bu ürünlerden RGB görüntüler aracılığı ile, Hopa ve civarında aşırı yağış boyunca etkin olan bulut türünün kümülönimbus (CB) bulutları olduğu belirlenmiştir. Bu CB bulutlarının konvektif ve orografik etkilerle oluştuğu belirlenmiştir. 23 Ağustos gecesinden itibaren gelişmeye başlayan CB bulutlarında,

gelişim evresinde buz kristallerinden oluşan yükselici hareketlerin etkin olduğu, öğleden sonra ise yükselici ve alçalıcı hareketlerin dengeye ulaşarak CB bulutlarının olgunluklarını tamamladıkları belirlenmiştir. CB bulutlarının gelişim evresinde yağışın maksimuma ulaştığı, olgunluk evresine geçtiğinde ise yağışların aralıklı olarak hafif şiddette devam ettiği görülmüştür. 24 Ağustos 2015 tarihinde Hopa üzerinde gün boyunca orta ve üst seviyelerde kümülüform bulutların varlığını sürdürdüğü belirlenmiştir. Hopa’da ani taşkına neden olan yağış boyunca cephesel herhangi bir etkiye rastlanmamıştır. 24 Ağustos 2015 tarihinde gün boyunca Karadeniz üzerinde yüksek vortisiti anomalilerinin olmasına rağmen, Hopa üzerinde sıcak karakterli hava kütlelerinin etkin olduğu görülmüştür. Ayrıca, konvektif hareketliliğin şiddeti ve sıcak karakterli hava kütlesine bağlı olarak, Tropopoz seviyesinin gün boyunca yüksek olduğu belirlenmiştir.

Buna ek olarak MSG uydularının NWC-SAF/MSG Bulut Tepe Sıcaklığı ve Yükseklik Ürünü (CTTH) ve Konvektif Yağış Oranı Ürünü (CRR) kullanılarak bulut tepe sıcaklığı, yükseklikleri ve konvektif yağış oranı belirlenmiştir. Afet boyunca etkin bulutlar, konvektif ve orografik etkilerle oluştuğu için bulut tepe sıcaklığı ve yüksekliği arasında çok yüksek korelasyon olduğu görülmüştür. Genel olarak bulut tepe sıcaklıkları ile yer yağış gözlemleri karşılaştırıldığında, düşük bulut tepe sıcaklıklarının gözlemlendiği durumlarda yağış miktarının fazla olduğu görülmüştür. Yağışın tamamen konvektif ve orografik etkilerle oluşmasına rağmen, SAF-NWC/MSG Konvektif Yağış Oranı Ürünü (CRR) ile elde edilen yağış verilerinin yer ölçümleri ve bulut tepe sıcaklıkları ile uygun bir dağılım sergilediği; ancak yağış miktarı tahminlerinin ölçülen yağış miktarından daha düşük olduğu görülmektedir. SAF-NWC/MSG bulut ürünlerinden elde edilen verilerin anlamlılıklarının belirlenebilmesi için regresyon analizleri yapılmış ve dağılım grafikleri çizilmiştir. ANOVA anlamlılık test sonuçlarına göre bulut tepe sıcaklığı – yağış miktarı, Konvektif yağış miktarı tahmini – saatlik gözlemlene yağış ve bulut tepe sıcaklığı – konvektif yağış miktarı ilişkileri istatistiksel olarak anlamlıdır (<0.05). Bulut tepe sıcaklığı – yağış miktarı arasında %50, konvektif yağış oranı tahminleri ile gözlemlenen yer ölçümlerine dayalı saatlik toplam yağış miktarı arasında %75, saatlik ortalama bulut tepe sıcaklığı ve konvektif yağış miktarı tahminleri arasında ise %74’lük korelasyon bulunmuştur.

INVESTIGATION OF THE DYNAMIC CLOUD STRUCTURES AND METEOROLOGICAL ANALYSIS OF HEAVY RAIN EVENT THAT CAUSED FLASH FLOOD IN HOPA ON AUGUST 24, 2015

SUMMARY

Eastern Black Sea Region receives the most rainfall among the regions in Turkey. Precipitation in this region can reach to 2350 mm per year. The rainfall is about four times the average annual precipitation of Turkey in the region of Hopa, Artvin province, which is located in the region where rainfall occurs every month of the year. Because of the heavy rainfall and the interventions on the stream beds, Hopa is a region where sudden flood disaster is often experienced.

Being able to form even in the driest and most humid areas, flood can be defined in many different ways. Flood can be defined as overflowing of the areas that are dry under normal conditions due to rising water bed by natural or non-natural causes. Nature has a self-preservation mechanism. Within this process, flood is accepted as a hydrometeorological incident, but as a result of the disruption of the balance of nature, floods can turn into a disaster. Formation of a flood can take several minutes to several days. The short floods are called sudden floods. Sudden floods usually occur as a result of heavy rainfalls that take shorter than six hours. Despite the fact that the main factors of sudden floods are the duration and amount of precipitation, the moisture status, permeability and geographical conditions of the previous soil, that are other causes of flooding, are also of great importance.

As a result of the sudden flood disaster that took place in Hopa District of Eastern Black Sea Region on August 24, 2015, eight citizens lost their lives and a great amount of physical damage occurred. In this study, sudden flood disaster which occurred in Artvin-Hopa district on August 24, 2015 was investigated in terms of synoptic and hydrometeorological aspects, and the prediction capability of IFS, ALR and WRF models and Flood Early Warning System results which are frequently used in rainfall forecasts were examined. In addition, cloud systems causing excessive rainfall have been identified and cloud dynamics have been investigated.

Within the scope of the study, the synoptic conditions causing sudden flood on August 24, 2015 were investigated. As a result of this analysis; the humid air coming from the Black Sea, the surface temperatures being higher than the averages of August, the surface and the dew point temperatures being very close to each other. At 850 hPa level, cold air inflow and low contour values were observed. At 700 hPa level; a high level groove and relative humidity close to 100% take attention in the Aegean and the Black Sea region. At 500 hPa; presence of cold cathode and high levels of moisture as at the and 700 hPa were detected. At 300 hPa, it was determined that there was a strong jet flow over Turkey. As a result, it has been determined that the atmospheric conditions at the investigated levels create ideal conditions for convective and

orographic cloud and precipitation formation. In addition to this, topographical effects have been shown to support the convective systems of Hopa and its surroundings.

Although no atmospheric sounding measurements were made in the Hopa town of Artvin province, in the analysis of instability using the Dzugba (Russia) station nearest to the region, it was observed that all indecision indices entered a severe thunderstorm potential scale. In the analysis of the instability, the CAPE predictions of the IFS model show that the atmosphere over Hopa is unstable since the evening of August 23rd. This explains the severe convective movement that brings extreme rainfall to the scene. It was determined that extreme precipitation caused by the sudden flood disaster in Hopa started early in the morning of August 24, and reached maximum between 09:00 - 10:00, causing sudden flood disaster in this area. According to the precipitation recurrence analysis, it was determined that the sums of 60, 120, 180, 240 and 300 minutes of the 287.2 mm daily total rainfall in Hopa had a recurrence interval of more than 100 years. The dBZ value obtained from the meteorological radar at these times appears to be the values that enter the Severe-Extreme precipitation scale. For this region, it is seen that WRF model gave the best estimates of this convective and orographic rainfall area in Hopa when the precipitation outputs of the IFS, ALR and WRF models were compared to the ground observations. It was observed that although the rainfall was local, the results of the Flash Flood Early Warning System (FFGS) were very successful in localizing the rainfall zone, but not in estimating the amount of rainfall in the Hopa region. Using NOAA's HYSPLIT model, it was determined that air parcels of 50 m (1000 hPa), (850 hPa) and 3000 m (700 hPa) in standard atmospheric levels would reach Hopa at low levels over the Black Sea for a long time when traversing the air parcel delivering maximum rainfall to maximum, thus increasing the moisture levels in all levels.

After the use of Doppler radars in the field of meteorology, the reflectivity (dBZ) values obtained in the scanning mode and precipitation estimation have been replaced by Doppler radar products. Although this approach is still a good approximation for cumuliiform clouds, that for stratiform clouds can make up to 2-fold mistakes based on the amount of rainfall measured. As Hopa is in the average distance of 160 km to the Trabzon radar, Doppler radar products (maximum distance 120 km) can not be used there. For this reason, although the reflectivity values obtained from the scanning mode radar data do not give information on the amount of precipitation directly, the reflectivity values for cumuliiform clouds can predict the amount of precipitation. The hourly mean reflectivity values are on the Severe/Extreme precipitation scale during the hours when morning rainfall reached maximum levels on August 24. The scan mode dBZ values also showed a good correlation with precipitation. These correlations indicate that using reflectivity values for cumuliiform clouds is still a valid method. In addition, distribution graphs are drawn and regression statistics are given in order to determine the significance of precipitation amount and reflectivity values. Rainfall amount and reflexivity values were statistically significant according to the ANOVA significance test. It can be concluded that 48.5% of the measured reflectivity values can be explained by the amount of precipitation when 70% of the data are collected.

In this study, 2nd Generation Meteosat Satellites (MSG) products were used to determine the cloud dynamic structures. From these products, RGB images led to the observation that Cumulonimbus clouds around Hopa and its vicinity causing disaster are formed by convective and oreographic effects of the cumuliiform clouds. The active clouds during the precipitation were founnd to be Cumulonimbus (CB) clouds. It has been determined that the ascending movements composed of ice crystals are active in

the CB clouds that have begun to develop from the 23rd of August night onwards and that the ascending and descending movements have completed the maturity of the CB clouds after reaching an equilibrium in the afternoon. It was observed that the precipitation capacity reached the maximum level during the developmental phase of the CB clouds and stayed at intermittently mild level after reaching the maturity phase. During the rain that caused the sudden flood in Hopa, no frontal effect was found. Despite the presence of high vorticity anomalies on the Black Sea during the day on August 24, 2015, hot air masses on Hopa were found to be effective. It was also determined that the level of tropopause was high throughout the day due to the severity of convective activity and the hot air mass.

In addition, cloud peak temperatures, elevations, and convective precipitation rates were determined using the NWC-SAF / MSG Cloud Topping Height and Elevation Product (CTTH) and Convective Rain Rate Product (CRR) of MSG satellites. It has been observed that there is a very high degree of collocation between the cloud top temperature and the height due to the convective and orographic effects of active clouds during disasters. In general, when the cloud top temperatures are compared with the ground precipitation observations, it is observed that the amount of precipitation is high in cases where low cloud top temperatures are observed. Despite the fact that rainfall is completely convective and with orographic effects, rainfall data obtained with the SAF-NWC / MSG convective precipitation product (CRR) show a reasonable distribution with ground measurements and cloud peak temperatures, but precipitation estimates are lower than measured rainfall. Regression analyzes were performed and distribution plots were drawn to determine the significance of the data obtained from the SAF-NWC / MSG cloud products. According to the ANOVA significance test results, cloud peak temperature - rainfall amount, convective rainfall estimate - hourly observed rainfall and cloud peak temperature - convective rainfall correlations were statistically significant (<0.05). The correlation rates were high; being 50% between the cloud peak temperature and precipitation rate, 75% between convective precipitation estimates and hourly total precipitation based on observed ground measurements, and 74% between hourly average cloud peak temperature and convective precipitation estimates.

1. GİRİŞ

İnsan yaşamını doğrudan veya dolaylı yollardan olumsuz etkileyen doğa olayları doğal afet olarak tanımlanabilir (Kadıoğlu, 2008). Birleşmiş Milletler (BM) tarafından doğal afetler, toplumun sosyo-ekonomik ve sosyo-kültürel faaliyetlerini önemli ölçüde aksatan, can ve mal kayıplarına neden olan; fakat yerel imkânlar ile baş edilemeyen doğa olayları olarak tanımlanmıştır. Dünya genelinde gözlemlenen doğal afetlerin sayısı, frekansı ve insan yaşamına olan etkileri iklim değişikliği ile birlikte önemli bir şekilde artmaktadır. Munich RE şirketinin hazırladığı rapora göre, 200 yıl önce yılda ortalama 200 doğal afet yaşanırken, günümüzde bu sayının 800'ü aştığı belirtilmektedir.

Dünya çapındaki doğal afetler ele alındığında, 31 çeşit doğal afetin varlığı literatüre geçmiştir. Bu 31 çeşit doğal afetin, 28'ini meteorolojik afetler oluşturmaktadır. Doğal afetlerin çeşitleri ve oluşma sıklıkları ülkeden ülkeye değişse de Türkiye' de en sık meydana gelen meteorolojik afetler; dolu fırtınaları, şiddetli yağış, sel, taşkın, don, kuraklık, şiddetli rüzgâr, yıldırım, çığ, kar ve fırtınalardır. Taşkın afeti özellikle Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölümünde sıkça görülmektedir (MGM, 2016).

Sel ve taşkın terimlerinin farkının iyi idrak edilememesi nedeniyle yapılan birçok çalışmada, bu terimlerin birbirleri yerine ya da eş anlamlı olarak kullanıldığı görülmektedir. Taşkın ve sel terimleri, literatürde farklı anlamlara sahiptirler. Sel, genellikle şiddetli yağışların sonrasında yan dere olarak ifade edilen alanlardan ani olarak fazla miktarda gelen, içerisinde katı atık bulundurması muhtemel büyük su kütlesi olarak tanımlanırken; taşkın, selin kısa bir süreç içerisinde ana kola ulaşmasıyla vadi boyunca akan suyun yükselmesi ve yatağının dolması sonucu taşkın yatağı ve çevresine yayılması olarak tanımlanabilir (Görcelioğlu, 2003). Bu tanıma ek olarak, literatürde eğimin fazla olduğu yukarı havzada oluşan yüksek akımlar sel, eğimin daha düşük olduğu aşağı havzada oluşan yüksek akımlar ise taşkın olarak tanımlanmıştır. Seller yüksek ve büyük miktarda katı malzeme içerirken, taşkınlarda malzeme boyutu daha küçüktür. Bu nedenle; "Yukarı havzada meydana gelen yüksek akımlar için sel,

aşağı havzada meydana gelen yüksek akımlar için taşkın teriminin kullanılmasında yarar bulunmaktadır.” (Çelik, 2016).

Taşkınlar yalnızca ülkemizde değil Dünya’nın birçok bölgesinde, can ve mal kaybına neden olan önemli bir afet çeşididir. Ülkemizde Doğu Karadeniz Bölgesi, oluşma sıklığı ve etki alanı bakımından taşkınların en sık görüldüğü bunun sonucu olarak en çok can kaybının meydana geldiği bölgemizdir. Bu taşkınları oluşturan nedenler; doğal ve yapay nedenler olarak ikiye ayrılmaktadır. Yağış rejimi, topografya ve jeolojik yapı doğal nedenleri oluştururken, dere yataklarına yapılan müdahaleler ise yapay nedenleri oluşturur. Doğu Karadeniz Bölgesi’nde genellikle yerleşimlerin yoğun olduğu kıyı bölgelerde ve dere yatağı kenarlarında, üst havzalara göre eğim daha düşüktür. Bu durum doğal olarak taşkın riskini arttırırken, bu bölgelerde nüfus yoğunluğunun fazla olması dere yataklarına yapılan yapay müdahaleleri de arttırmıştır (Oğuz ve diğ, 2016; Turan ve diğ, 2016).

Taşkın oluşumu birkaç gün sürebildiği gibi dakikalar içinde de oluşabilir. Kısa sürede oluşan taşkınlar ani taşkın olarak adlandırılır. Ani taşkınlar genellikle 6 saatten kısa süreli, şiddetli yağışların sonucunda meydana gelir. Ani taşkınları oluşturan yağış şiddeti, yağışı oluşturan sinoptik şartlar ve yağışa neden olan bulutların dinamik yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle şiddetli yağışı oluşturan sinoptik şartlar ve bulutların dinamik yapılarının belirlenmesi yağış miktarı tahmini için büyük önem taşımaktadır. Buna ek olarak, ani taşkınların temel etmenleri yağış süresi ve miktarı olmasına rağmen, taşkına sebebiyet veren diğer nedenlerden toprağın nem durumu, geçirgenliği ve coğrafi koşullar da taşkın oluşumunda önemli rol oynamaktadır (Gökter, 2006).

Nemli hava hareketine dik ve yüksek alanlarda, şiddetli yağış ve büyük seller bolca görülmektedir. Karadeniz ve Akdeniz sahilleri bu etkilerin en iyi gözlemlenebileceği yerlerdendir. Büyük havzaların önemli taşkınları mevsimlik kar birikiminin yağmur ile birleşiminden oluşurken küçük havzaların büyük taşkınları ise konvektif fırtınaların oluşturduğu şiddetli yağışlardan oluşur (Özalp, 2009).

Küçük havza özelliği gösteren Artvin’ in Hopa ilçesinde 24 Ağustos 2015 tarihinde aşırı yağış sonrası ani taşkın afeti meydana gelmiştir. Yaşanan bu ani taşkın afetinde 8 kişi hayatını kaybetmiş, milyonlarca TL’lik zarar meydana gelmiştir. Hopa’da 24 Ağustos 2015 tarihinde yaşanan bu afet gibi 19 Ağustos 1988 ve 23 Eylül 2012

tarikhlerinde de benzer sinoptik şartlar ve etkilerle aşırı yağışa bağlı taşkın afeti yaşanmıştır (Ulupınar ve diğ, 2015). Bu nedenle, Hopa bölgesinde aşırı yağışa neden olan sistemlerin analizi ve yağış miktarı ile doğrudan ilişkili olan bulut dinamik yapılarının belirlenmesi can ve mal kayıplarının azaltılması konusunda için önem taşımaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada, 24 Ağustos 2015 tarihinde Hopa’da meydana gelen ani taşkın afetini oluşturan atmosferik koşulların sinoptik ve hidrometeorolojik açıdan incelenmesi, bölge için yağış tahmininde kullanılan modellerinin tutarlılıklarının karşılaştırılması, Taşkın Erken Uyarı Sistemi sonuçlarının bu bölge için başarı oranlarının değerlendirilmesi ve ani taşkına sebep olan aşırı yağışı meydana getiren bulut dinamik yapılarının incelenmesi hedeflenmiştir.

1.2 Çalışma Alanı

Bu çalışmada, çalışma alanı olarak Türkiye’nin Doğu Karadeniz Bölgesi’nde $41^{\circ} 23' 12''$ K enleminde, $41^{\circ} 26' 13''$ D boylamında bulunan Artvin ili Hopa ilçesi seçilmiştir. Hopa ilçesinin Türkiye’deki konumu Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1 : Hopa'nın Türkiye'deki Konumu (Google Earth, 2016).

Artvin iline bağlı Hopa ilçesi, bağlı bulunduğu il merkezine 65 km uzaklıktadır. Hopa ilçesinin doğusunda Gürcistan, batısında Arhavi, güneyinde Borçka, kuzeyinde ise

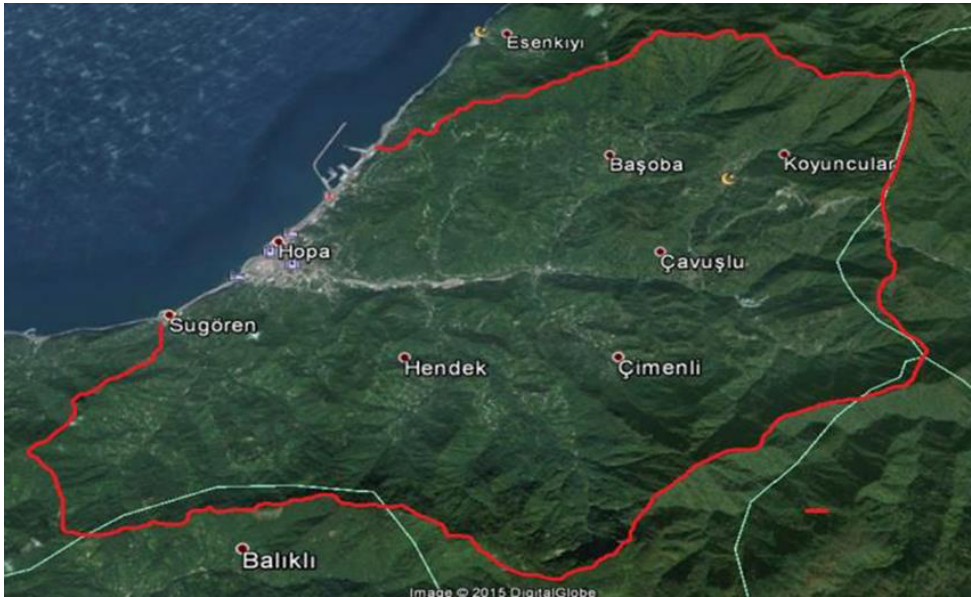
Karadeniz bulunmaktadır. Hopa'nın ilçe merkezinin 18 km kuzeydoğusunda Türkiye'nin Gürcistan'a açılan kapısı olan Sarp Sınır Kapısı bulunmaktadır.

2013 genel nüfus sayımına göre Hopa ilçesinin nüfusu 33.724'tür. Bu nüfusun 18.487'si ilçe merkezinde, 15.237'si ise çevre köy ve beldelerde yaşamaktadır.

Hopa, ilçe merkezi ve 29 köyden oluşmaktadır. Hopa, özellikle kırsal alanlarda dağınık yerleşim özelliği göstermektedir. Bu özellik aynı zamanda Karadeniz Bölgesi'nde görülen en yaygın yerleşim biçimidir (Hopa Bel, t.y.).

İlçe ekonomisi büyük oranda tarıma bağlıdır. Bu bölgedeki tarım ürünlerinin başlıcası olan fındık, yılda ortalama 320 ton üretim kapasitesine sahiptir. Buna ek olarak, Karadeniz Bölgesi'nde yaygın bulunan çay bitkisi yılda ortalama 57000 ton üretime sahip olarak uluslararası ekonomik öneme sahiptir. Artvin İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü'nün 2014 yılı faaliyet raporundan alınan bilgiye göre, Artvin ili Hopa ilçesinin toplam yüz ölçümünün %66'sı (104590 dekar) orman, %27'si (54160 dekar) tarım alanı olmakla birlikte bu tarım alanının %78'e yakını (42000 dekar) çay üretimiyle ilgilenmektedir.

Hopa başta olmak üzere, Doğu Karadeniz Bölgesi yıl boyunca sellerin görüldüğü en önemli bölgelerden biridir. Hopa'nın su toplama alanı ilçenin sınırlarının neredeyse 2/3'sini oluşturmaktadır. Şekil 1.2'de Hopa'nın su toplama havzası verilmiştir (TOD, 2015).



Şekil 1.2 : Hopa İlçesi Su Toplama Havzası (TOD, 2015).

1.3 Hopa'nın İklimi

Bir bölgenin iklimi bulunduğu yerin enlemine, boylamına, jeolojik, topografik yapısına ve bitki örtüsüne göre şekillenir. Benzer şekilde ülkemizin üç tarafının denizlerle çevrili olması, dağların konum ve özellikleri ve yeryüzü şekillerinin çok çeşitli olması nedeniyle farklı türde iklim çeşitleri görülmektedir (Bilgin, 1997; Özgüler, 1997).

Türkiye ılıman ile subtropikal kuşak arasında yer almaktadır. Ülkemizin kıyı bölgelerinde denizsel etkiler ön planda iken, Kuzey Anadolu Dağları ile Toros Sıradağları bu etkilerin iç kısımları ulaşmasını engeller. Bu nedenle, kıyı bölgelerde ılıman iklimler hâkim olmasına karşın iç kesimlerde karasal iklimin baskın etkileri görülür (Atalay, 1997).

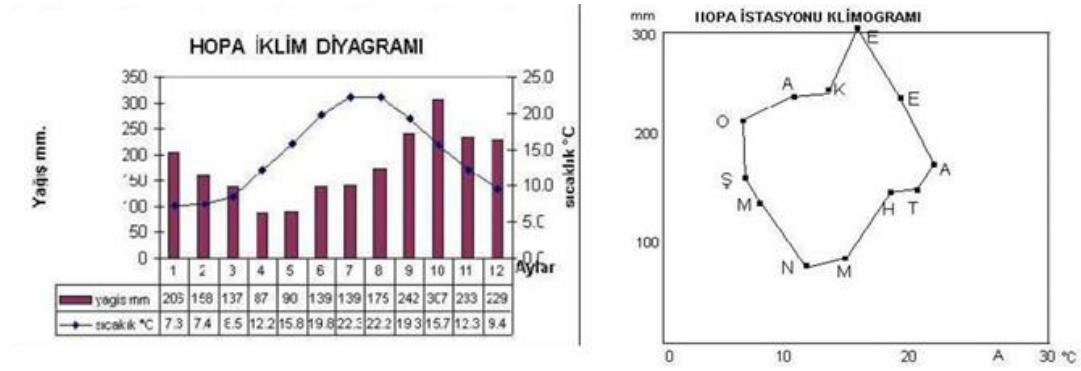
Karadeniz Bölgesi'nde kıyı ve dağların kuzeye bakan kesimleri ile Marmara Bölgesi'nin Karadeniz kıyı kuşağında Karadeniz ikliminin özellikleri görülmektedir. Karadeniz ikliminin başlıca özellikleri; yaz ile kış arasındaki sıcaklık farkı azdır. Yazlar serin, kışlar ise kıyı kesimlerde ılık iken, yükseklik arttıkça soğuk ve bol kar yağışlı geçer. Hemen hemen her mevsim bol yağış almaktadır. Doğal bitki örtüsü kıyı bölgelerde geniş yapraklı ormanlar, yükseklerde ise iğne yapraklı ormanlardan oluşur. Ocak ayı sıcaklık ortalaması 4.2 °C, Temmuz ayı ortalama sıcaklığı ise 22.1 °C, yıllık ortalama sıcaklığı ise 13.0 °C'dir. Ortalama yıllık yağış 842.6 mm'dir. Yıllık ortalama nispi nem %71'dir (Klimatoloji II, 2014).

Artvin ili, Hopa ilçesi ülkemizin Karadeniz Bölgesi'nde yer almaktadır. Bu nedenle Hopa'nın iklimi Karadeniz ikliminin karakteristik özelliklerini taşımaktadır; fakat Hopa konumu itibarıyla, Türkiye'nin yağış rejimi en yüksek (ortalama 2068.8 mm) bölgesi olan Doğu Karadeniz'in kıyı kesiminde yer aldığı için yıllık yağış miktarı 2350 mm' ye kadar yükselmektedir. Hopa ilçesi 5, 10, 15, 30 dakikalık yağış (50.5, 60.6, 70.7, 90.9 mm) ekstremlerine sahiptir (Ulupınar ve diğ, 2014).

İklim diyagramları; aylık sıcaklık ve yağış değerlerinin beraber çizildiği diyagramlardır. Bu diyagramlardaki yağış ve sıcaklık değeri çizimleri o bölgenin iklimini gösterir. Çubuk-Çizgi grafiklerinde yağış değerleri çubuk grafik, sıcaklık değerleri ise eğri şeklinde verilir. Klimogramlar ise Çubuk-Çizgi grafikleri ile aynı değişkenler kullanılarak çizilen bir iklim diyagramı çeşitidir. Klimogramlarda yatay eksen sıcaklık değerlerini, dikey eksen ise yağış değerlerini belirtir. Aylık ortalama

sıcaklık ve yağış değerleri noktalar ile işaretlenir, ardından bu noktalar birleştirilerek kapalı bir eğri elde edilir. Ortaya çıkan şekil incelenen bölgenin iklim karakteristiklerini gösterir (Klimatoloji Şube Müdürlüğü, t.y.).

Şekil 1.3’de Hopa’ya ait Çubuk-Çizgi grafiği verilmiştir. Hopa’nın Çubuk-Çizgi grafiğinde; aylık ortalama yağış değerleri (sütunlar) ve aylık ortalama sıcaklık değerleri (çizgi) olarak gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde Hopa ilçesinin yılın her ayında hemen hemen 100 mm’nin üzerinde yağış aldığı gözlemlenmektedir. Yağışların çoğu sonbahar ve kış mevsiminde düşmektedir. Ortalama sıcaklık değerleri kışın 0 °C’nin altına düşmezken, yaz sıcaklıkları 25 °C’ nin üstüne çıkmamaktadır. Bu grafiğe göre Hopa ilçesi ılıman Karadeniz İklimi’nin karakteristiklerini göstermektedir.



Şekil 1.3 : Hopa, Çubuk-Çizgi Grafiği (Solda) ve Klimogramı (Sağda) (Klimatoloji Şube Müdürlüğü, 2014).

Hopa'nın klimogramı incelendiğinde, ortaya çembere yakın bir şekil çıktığı gözlemlenmiştir. Bu durum 4 mevsim boyunca ölçülen sıcaklık ve yağış değerlerinin birbirine yakın değerler olduğunu göstermektedir. Bu durum Çubuk-Çizgi grafiğinde olduğu gibi ılıman Karadeniz İklimi'nin en belirgin özelliklerindendir.

1.4 Topografya

Artvin ili Hopa ilçesi Doğu Karadeniz Bölgesi'nin kıyı şeridinde yer almaktadır. Doğu Karadeniz boyunca dağlar denize dik olarak iner. Bu durum Karadeniz'den gelen nemli havanın Kuzey Anadolu Dağları'nın yamaçlarına bol yağış bırakmasının en temel nedenidir. Şekil 1.4'de Türkiye'ye ait Sayısal Arazi Modeli (DEM) verilmiştir.



Şekil 1.4 : Türkiye Sayısal Arazi Modeli (DEM) Haritası (Klimatoloji-II, t.y.).

Hopa ilçesinin deniz seviyesinden yüksekliği 10 metredir. En yüksek noktası ise Yavuz Sultan Selim tepesidir (1513 m). Yüzölçüm olarak 289 km²'lik alana sahip Hopa' da yer şekilleri heyelan, sel ve taşkın oluşumuna elverişlidir (Hopa Bel, t.y.).

1.5 Bitki Örtüsü

Hopa'nın hakim bitki örtüsünü kışın yaprak döken kestane, gürgen, kayın ve kızılğaç ormanları oluşturur. Bu ağaçların alt bölümlerinde ise sarmaşık ve bodur ağaçlardan oluşan sıkı bir orman altı habitatı vardır. Yağışın her mevsim bol olması ve yüksek nem oranından dolayı bitki örtüsü gür ve bol çeşitlidir. Buna ek olarak 400 – 600 m yükseklikleri arasında fındık ve çay bitkisi yetişmektedir (Hopa Bel, t.y.).

1.6 Literatür Araştırması

Küresel ısınma ile Dünya üzerinde görülen taşkın felaketi sayısındaki artışlar, taşkın afetinin insan yaşamındaki etkisini ve önemini arttırmış bu nedenle de taşkın çalışmaları tüm Dünya'da önem kazanmıştır. EM-DAT verilerine göre; 1970 yılında Dünya üzerinde 31 taşkın olayı kayda geçmişken, bu sayı 1985 yılında 58, 1990 yılında 60, 1999 yılında 122, 2015 yılında ise 152 olarak belirlenmiştir. Küresel ısınmaya ek olarak şehirleşmenin de etkileri ile ani taşkın olaylarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Bu nedenle, Dünya da olduğu gibi ülkemizde de taşkın afetinin yalnızca sonuçları değil, taşkına neden olan meteorolojik etmenler konusunda da çalışmaların sayısı hızla artmaktadır. Meteorolojik şartlar ve bulut dinamik yapıları

taşkını oluşturan en önemli etmenlerden olduğu için, taşkını oluşturan faktörler hakkında yapılan meteorolojik çalışmalar, sinoptik analiz ve dinamik bulut yapılarının incelenmesi konusunda detaylanmıştır. Bu konular üzerinde dünyadaki çalışmaların sayısı hızla artarken, ülkemizde de birçok çalışma bulunmaktadır.

Yapılan bu çalışmalardan biri olan, Walter A. Petersen ve diğerlerinin yaptığı “Mesoscale and Radar Observations of the Fort Collins Flash Flood of 28 July 1997” adlı makalede 28 Temmuz 1997 yılında Colorado’da bulunan Fort Collins şehrinde yaşanan taşkın olayı incelenmiştir. Büyük ölçüde zarara sebebiyet vermiş olan bu afet, radar, uydu ve sinoptik haritalar yardımıyla araştırılmış ve yorumlanmıştır. Ağustos 1994’de, Edward J. Zipser ve Kurt R. Lutz tarafından yapılan, “The Vertical Profile of Radar Reflectivity of Convective Cells: A Strong Indicator of Storm Intensity and Lightning Probability” adlı çalışma da konvektif hücrelerin dikey profili ve radar reflektivite değerleri incelenmiştir. Katja Friedrich ve diğerlerinin Ocak 2016’da yayınladığı, “Precipitation and Cloud Structures of Intense Rain During the 2013 Great Colorado Flood” adlı makalede 2013 yılında gerçekleşen büyük Colorado taşkını, radar ve distrometer gözlemleri kullanılarak incelenmiştir. Bu gözlemler göz önünde bulundurularak, yoğun yağış periyotlarında bulutların mekânsal ve dikey yapıları hakkında bilgi verilmiştir. Ahmet Emre Tekeli tarafından yapılan “Uydu Tabanlı Yağış Verileri ile Gaziantep Taşkınlarının İncelenmesi” isimli çalışmanın taşkın analizinde, Tropikal Yağış Ölçüm Görevi (TRMM), Çok Uydulu Yağış Analizi (TMPA) ve gerçek zamanlı 3B42RT verisi kullanılmış, bu verinin yüksek şiddetli yağışları öngörebildiği ve bu gözlemlerin taşkın ihbarı ile uyumluluğu saptanmıştır. İsmail Yücel’in araştırmasını yaptığı “Farklı Yağış Verileri Kullanılarak Bir Ani Taşkın Olayının İncelenmesi” isimli çalışmada, Radar, Hydro-Estimator (HE) uydu algoritması ve Weather Research and Forecasting (WRF) modellerinden yararlanılmıştır. Bu modeller kullanılarak elde edilen yağış ürünleri, HEC-HMS modeli ile taşkın simulasyon modeli oluşturulmuş ve incelenmiştir. Türkiye’de yapılan bir diğer çalışma ise, “8-12 Eylül 2009 Tarihlerinde Marmara Bölgesi’nde Meydana Gelen Sel Olayının Yağış Analizi” dir. Ali Ümran Kömüşcü, Seyfullah Çelik, Abdullah Ceylan tarafından yazılan bu makalede, 8-12 Eylül 2009 tarihinde yaşanan sel afetinin klimatolojik analizi yapılarak yorumlanmıştır. 2015 yılında yayınlanan, Ahmet Öztopal ve Gökhan Keskin tarafından yazılan “Konvektif Yağışlarda Bulut Tepe Sıcaklığı ile Yağış Miktarı Arasındaki İlişkinin Araştırılması” makalesinde, 8-9

Eylül 2009 tarihlerinde yaşanan sel olayının analizi, MSG uydusunun IR 10.8 kanalı kullanılarak TMetVis programıyla çeşitli saatlerdeki bulut tepe sıcaklıkları elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Ümit Turgut'un yazarlığında, TMMOB Afet Sempozyumunda yayınlanan, "Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Sel Felaketine Neden Olan Sinoptik Modellerin Tahmin Tekniği Açısından İncelenmesine Dönük Karşılaştırmalı Bir Araştırma" adlı çalışmada; Doğu Karadeniz Bölgesi sinoptik açıdan incelenmiş ve yorumlanmıştır. Gürcan Gürgen tarafından yapılan "Doğu Karadeniz Bölümü'nde Maksimum Yağışlar ve Taşkınlar Açısından Önemi" isimli çalışmada maksimum yağışların çok yüksek değerlere ulaştığı Doğu Karadeniz Bölgesi taşkın riski bakımından incelenmiş ve taşkın erken uyarı sistemi kurulması gerektiği kanısına ulaşılmıştır. Esin Oğuz ve diğerlerinin "Artvin-Hopa Taşkınının Uydu-Radar Verileriyle Analizi ve Taşkın Hesabı" adlı makalesinde, 24 Ağustos 2015 tarihinde Hopa'da gerçekleşen taşkın afetinin analizi yapılmış bununla beraber uydu ve radar görüntüleri kullanılarak incelenmiş ve yorumlanmıştır. Hopa bölgesinde yapılan bir diğer çalışma ise, "24 Ağustos 2015 Tarihinde Hopa'da Meydana Gelen Şiddetli Yağışın Meteorolojik ve Hidrometeorolojik Analizi" dir. Yusuf Ulupınar ve diğerlerinin yaptığı bu çalışmada, 24 Ağustos 2015 tarihinde meydana gelen taşkın afeti incelenmiş, sinoptik analiz, yağış analizi, kararsızlık analizi, radar görüntüleri ve yıldırım tespit sistemi ürünleri faktörleri bakımından incelenmiş ve yorumlanmıştır.

2. MATARYEL METOD

Bu çalışmada kullanılan yağış verileri için; Artvin ili, Hopa ilçesinde bulunan Hopa Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) istasyonu kullanılamamaktadır. Bunun nedeni yağış verilerinin 09:00 UTC'den itibaren istasyon arızası nedeni ile bulunmamasıdır. Bu saate kadar olan veriler ise sağlıklı yağış verileri olmadığından kullanılması tavsiye edilmemektedir. Bunun yerine aynı kordinatlarda, OMGİ istasyonunun hemen yanında bulunan manuel ölçüm aletleri ile insan faktöründe dâhil olduğu ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından onaylanmış ve çalışmalarda önerilen veriler kullanılmıştır. 17042 istasyon numaralı Hopa otomatik meteoroloji gözlem istasyonu; 11. Bölge (Trabzon)'a bağlı, 41,4065 K enleminde 41,4330 D boylamında bulunmakta ve deniz seviyesinden 33 m yüksekliktedir (MGM, t.y.).

Sinoptik ve hidrometeorolojik analizler; 24 Ağustos 2015 tarihi için yer seviyesi, 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa ve 300 hPa seviyesi sinoptik haritalar; Meteorolojik İletişim ve Uygulama Paketi (METCAP) yazılımı yardımıyla Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün arşiv verileri kullanılarak oluşturulmuş, yer ve yüksek seviye analizleri yapılmıştır. Buna ek olarak, 700 mb nispi nem, 500 mb nispi nem ve düşey hız tahmin haritaları IFS modeli aracılığıyla elde edilmiştir. Kararsızlık analizinde kullanılan Skew-T diyagramı ve kararsızlık indeksleri Hopa'ya en yakın ravinsonde istasyonu olan Dzugba (37011) istasyonuna ait 24 Ağustos 2015 tarihli atmosferik sondaj verileri kullanılarak görselleştirilmiş, bu veriler kullanılarak elde edilen kararsızlık indeks değerlerinin karşılık geldiği atmosferik durum çizelgeler kullanılarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, IFS modeli kullanılarak CAPE tahmin haritaları oluşturulmuş ve 23 – 24 Ağustos tarihlerinde Hopa bölgesi ve civarında bulunan atmosferin kararlılık durumu ortaya konulmuştur. Yağış analizi için yer ölçümlerinden elde edilen saatlik toplam yağışlar 24 Ağustos 2015 06 UTC – 25 Ağustos 2015 06 UTC arası için görselleştirilmiş ve grafik halinde verilmiştir. Ayrıca METCAP programı kullanılarak 23 Ağustos 2015 06 UTC – 24 Ağustos 2015 06 UTC arası toplam yağış miktarları

Doğu Karadeniz bölgesi için haritalandırılmıştır. Ulupınar ve diğerleri tarafından yapılan çalışma kullanılarak Hopa’da standart zamanlardaki yağış şiddetleri ortaya koyulmuştur. Ayrıca ALR, IFS, WRF modelleri kullanılarak 23 Ağustos 2015 00:00 UTC – 24 Ağustos 2015 00:00 UTC arası 24 saatlik toplam yağış tahmin haritaları elde edilmiş, 24 Ağustos 2015 tarihinde Hopa’da gerçekleşen aşırı yağış afetinin tahminindeki başarı durumları karşılaştırılmış ve bu yağışın tahmininde en tutarlı sonucu veren model belirlenmiştir. Yağış tekkerrür analizi için 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 480, 720, 1080, 1440 dakikalık toplam yağış miktarları belirlenmiş ve tekerrür yıl aralıkları verilmiştir. Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi (FFGS)’nin 24 Ağustos 2015 tarihli Doğu Karadeniz Bölgesi için 6 ve 24 saatlik toplam yağış tahminleri, yer gözlemleri ile karşılaştırılmış bu yağışın tahminindeki başarı oranları verilmiştir. Yağışı maksimuma ulaştıran hava parselinin yörünge analizi kapsamında, Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından Air Resources Laboratory’s (ARL) biriminde geliştirilmiş olan Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model (HYSPLIT) modeli kullanılmış maksimum saatlik yağışın ölçülmüş olduğu 09:00 – 10:00 saatlerinde bulut gelişiminin devamlılığını sağlayan ve yağışın maksimuma ulaşmasını sağlayan hava parselinin orjin noktası, hareketi, yörüngesi ve nem miktarı incelenmiştir. HYSPLIT modelinin çalışma prensipleri, ilgili bölümde detaylı olarak verilmiştir.

Radar görüntüleri; 24 Ağustos 2015 tarihinde Artvin-Hopa’ da meydana gelen ani taşkını meydana getiren yağışın analizi ve bulut dinamik yapılarının incelenmesi konusunda kullanılan radar görüntüleri: 22 Ağustos 2015 – 24 Ağustos 2015 tarihleri arasında, Doğu Karadeniz bölgesi alanı için Trabzon meteoroloji radarından (tarama mod) 7 dakikalık aralıklarla elde edilmiştir. Alınan bu görüntüler çalışmada belirlenen aralıklara göre uygun zaman dilimlerine ayrılmıştır. Buna ek olarak saatlik toplam yağış ölçümleri ile reflektivite (dBZ) ilişkisi ortaya konarken, manuel ölçüm aletlerinden elde edilen yağış verileri ile Hopa OMGİ istasyonunun da kordinatları olan 41,40 K enlemi ve 41,43 D boylamı noktasal olarak seçilerek radar görüntüleri kullanılmıştır. Saatlik toplam yağış değerlerinin anlık olan radar görüntüleri ile karşılaştırılabilmesi için 7’şer dakika aralıklarla yukarıda verilen nokta için dBZ değerleri alınmış, 1 saat için alınan bu 11 değerın ortalaması saatlik ortalama reflektivite (dBZ) değeri olarak kabul edilmiştir. Belirtilen aralıkta her saat için bu ortalama dBZ değerleri hesaplanmıştır. Ölçülen saatlik toplam yağış değerine karşı

saatlik ortalama dBZ değerleri görselleştirilmiştir. Son olarak, yağış miktarı ve reflektivite değerlerinin anlamlılıklarının belirlenebilmesi için saatlik ortalama dBZ değerleri ve saatlik toplam yağış ilişkisini veren dağılım grafiği çizilmiş ve regresyon istatistikleri verilmiştir.

Uydu görüntüleri; bu çalışmada kullanılan uydu görüntülerinde 2. Nesil Meteosat uydu (MSG) rnleri kullanılmıştır. MSG uydu ürünlerden Kırmızı-Yeşil-Mavi görselleştirme tekniği (RGB) ile oluşturulan görüntüler Doğu Karadeniz Bölgesi'ni daha detalı kapsayacak şekilde yeniden boyutlandırılmıştır. Bulut dinamik yapılarının daha iyi anlaşılabilmesi için Natural Colour RGB, Day Microphysics RGB, Airmass RGB ve Day Convective Storms RGB görüntüler kullanılmıştır. Değişik kanallarda algılama yapılarak, birçok parametreye ulaşılabilen bu görüntülerde çalışmada kullanılan kanal ve parametreler ilgili bölümlerde detaylı olarak verilmiştir. Bulut tepe sıcaklık, yükseklik ve konvektif yağış miktarı sayısal verileri için 2. Nesil Meteosat uyduları (MSG) için uydu verisi uygulama merkezleri (SAF) tarafından geliştirilen SAF-NWC/MSG rnleri ile bulut tepe sıcaklığı, yükseklik (CTTH) rn ve konvektif yağış oranı ürünü (CRR) kullanılmıştır. MGM'den (h5 formatında) alınan veriler TMetPro programı aracılığı ile işlenmiş, daha sonrasında TMetVis programı aracılığıyla görüntülenerek yer ölçümlerinin kordinatı olan 41.40 K enlemi, 41.43 D boylamı için noktasal olarak bulut tepe yükseklikleri, sıcaklıkları ve konvektif yağış miktarları elde edilmiştir. Bu veriler elde edilirken, 15 dk'lık aralıklarla görüntüler kullanılmış ve 23.08.2015 – 21:00 ile 24.08.2015 21:00 arasındaki 24 saatlik zaman dilimi için 15 er dakika aralıklarla bulut tepe yükseklikleri, sıcaklıkları ve konvektif yağış miktarları sayısallaştırılmıştır. Bu verilerin saatlik toplam yağış verileri ile ilişkilendirilebilmesi için saatlik ortalama değerler hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler izelge ve grafikler şeklinde verilmiştir. Buna ek olarak, uydu ürünlerinden elde edilen bulut tepe sıcaklıkları, yer ölçümlerinden elde edilen yağış verileri ve konvektif yağış miktarı ilişkisi ortaya konulmuş, dağılım grafikleri ve regresyon analizi ile bu verilerin birbirleri ile olan korelasyon ve anlamlılıkları belirlenmiştir.

3. SİNOPTİK VE HİDROMETEOROLOJİK ANALİZLER

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde meydana gelen taşkın afetlerine genellikle Karadeniz üzerinden gelen alçak basınç alanları (siklon) neden olmaktadır (Atalay, 2010). Buna ek olarak, Karadeniz Bölgesi'nin orografik yapısı da yağışların şiddetini arttırmasına ve uzun süreli olmasına neden olmaktadır. İlkbahar ve yaz mevsimlerinde meydana gelen taşkınlarda, şiddetli yağışın yanı sıra kar erimesi de önemli bir etkidir. Ayrıca ani sıcaklık değişimleri, nem ve rüzgar şiddeti de taşkın oluşumuna doğrudan katkıda bulunan meteorolojik parametrelerdendir (Kömüşçü ve diğ, 2011).

Ani taşkın afetinin gerçekleştiği Artin ili Hopa ilçesi konumu itibariyle Türkiye'nin en fazla yağış alan bölgesinde yer almaktadır. Bu nedenle, Doğu Karadeniz Bölgesi taşkınların sıkça görüldüğü bir bölgedir.

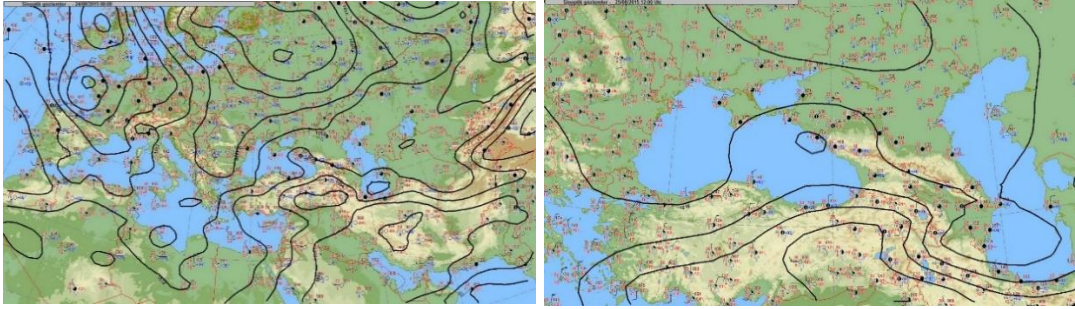
Meteorolojik koşullar kimi zaman sel veya taşkın afetine yol açmaktadır. Bu gibi durumlar genellikle, potansiyel olarak dengesiz atmosferik koşullar altında gerçekleşmektedir. Taşkın afetine neden olan sistemler birçok yerel tetik mekanizmasının serbest kalmasıyla gelişen, tipik olarak güçlü konvektif sistemlerdir. Konvektif fırtına oluşumunu başlatan en önemli etken, orografik yükselme sonucunda, dağ eğimi süresince meydana gelen akışlardır (Maddox ve diğ, 1988). Bu süreçte, dağın yüksekliği yan etmen olmakla beraber, havada bulunan nem miktarı ile afeti meydana getirebilecek meteorolojik şartların uyumlu olması ana etmendir (Schroeder ve diğ, 1987). Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir çalışmada, yüksek seviye haritalarında görülen soğuk hava ve trof uzantıları ile sıcak hava ve sırt arasında kalan yerlerde aşırı hava olayları gözlemlendiği görülmüştür (Pontrelli ve diğ, 1999).

Aşırı yağışa neden olan bulut dinamik yapıları incelenmeden önce yağışı oluşturan sinoptik koşullar dikkatle incelenmelidir. Bunun nedeni çeşitli seviyelerde incelenen sinoptik haritaların atmosferin farklı seviyelerindeki dinamik yapılar hakkında önemli bilgiler içermesidir. Buna ek olarak, ölçümlere ve tahminlere dayalı olarak hazırlanan bu haritalar aracılığı ile bulut dinamik yapılarının incelenirken kullanılan verilerin

güvenilirliği kontrol edilebilir. Bu nedenle, bu çalışmada bulut dinamik yapıları uydu verileri aracılığı ile incelenmeden önce yağışı oluşturan sinoptik durum incelenmiştir.

3.1 Yer Kartları

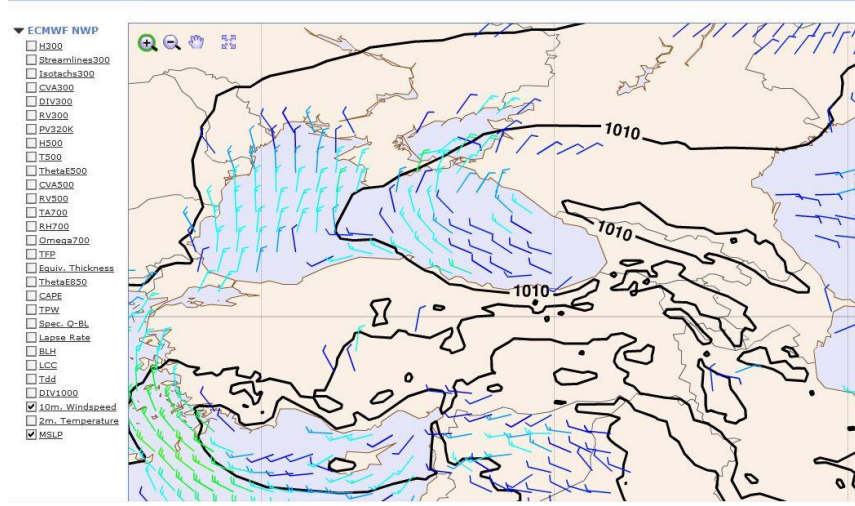
24 Ağustos 2015 tarihli 00 UTC ve 12 UTC yer seviyesi haritaları Şekil 3.1’de verilmiştir. 24 Ağustos 2015 tarihli 00 UTC yer haritası incelendiğinde; yer seviyesinde Türkiye’nin güneydoğu kesimlerinde 1000 mb’lık basınç değerleri gözlemlenirken, Doğu Anadolu, Akdeniz ve ani taşkın afetinin gerçekleştiği Hopa’nın da yer aldığı Doğu Karadeniz Bölgesi için 1005 mb’lık basınç değerleri hakim durumdadır. Ayrıca Karadeniz’ in Doğu Karadeniz Bölgesi kıyıları ile bulunduğu yerde hareket doğrultusu güneydoğu olan 1006 – 1008 hPa değerindeki siklon girişi bulunmaktadır.



Şekil 3.1 : 24 Ağustos 2015 00 UTC (sol) ve 12 UTC (sağ) Yer Seviyesi Haritası.

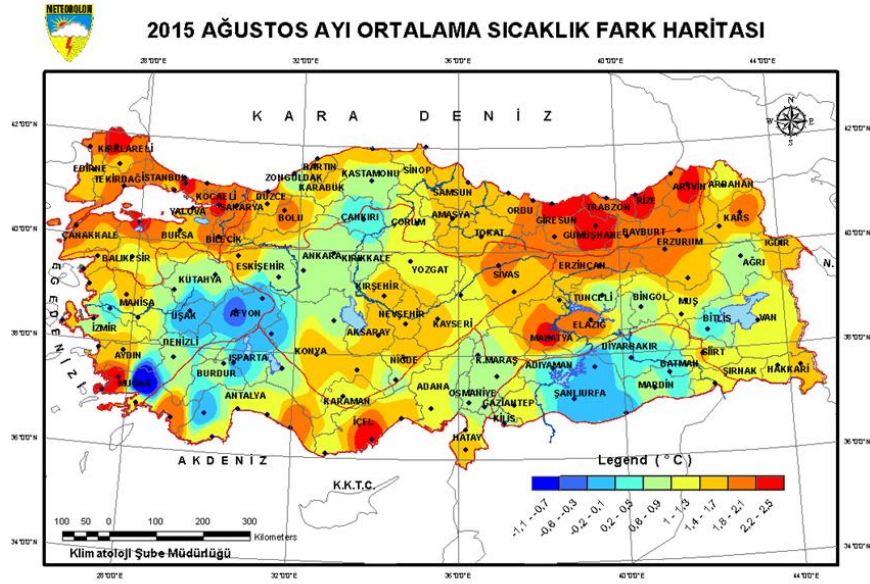
12 UTC yer haritası incelendiğinde ise Türkiye’nin iç bölgelerinde bulunan alçak basınç değerleri ile Karadeniz’in üstünde bulunan 1012 mb’lık basınç değerleri görülmektedir. 00 UTC yer seviyesi haritasında Karadeniz bölgesini’de etkileyen Türkiye’nin güneydoğusunda bulunan alçak basınç merkezinin varlığı görülürken 12 UTC’de yerini sırtı bırakmıştır. Genel olarak yer basıncında önemli bir değişiklik gözlenmezken, yağışın gerçekleştiği saatlerde basınç değerlerinde yükselme gözlemlenmiştir.

Avrupa için Orta Ölçekli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) tarafından NWP modeli ile oluşturulan 24 Ağustos 2015 tarihine ait 06 UTC yer seviyesi basınç ve rüzgar Şekil 3.2’ de verilmiştir. NWP modelinin tahminlerine göre; yer seviyesi rüzgarları Rusya ve Ukrayna üzerinden başlayarak, Karadeniz boyunca siklonik dönüş yapmakta ve Doğu Karadeniz Bögesi’ne ulaşmaktadır.



Şekil 3.2 : 24 Ağustos 2015 06 UTC Yer Seviyesi Basınç ve Rüzgar Haritası (ECMWF, 2016).

Şekil 3.3’de MGM tarafından yayınlanan 2015 yılı Ağustos ayı anomalileri verilmiştir. Bu Ağustos ayı ortalama sıcaklık farkı haritası incelendiğinde; Hopa bölgesi için Ağustos ayı sıcaklık değerleri ortalamasının yaklaşık 1.5 °C yüksek olduğu görülmektedir.



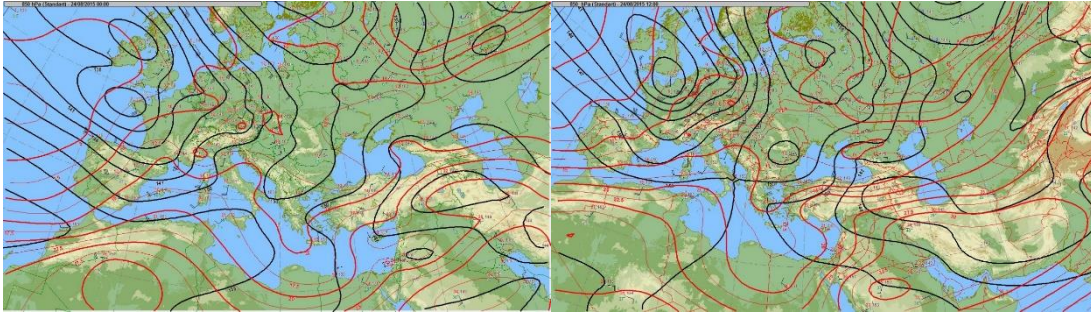
Şekil 3.3 : 2015 yılı Ağustos Ayı Ortalama Sıcaklık Farkları (MGM, t.y.).

Afet boyunca Hopa üzerinde yüzey sıcaklıkları 20 °C, işba sıcaklığı ise yine 19 – 20 °C derece civarındadır. Ayrıca, Karadeniz üzerinden siklonik hareket ile afet bölgesine gelen ve yüksek nem ihtiva eden hava parseli mevcuttur. Yer seviyesinde hava sıcaklığı ile işba sıcaklığı farkının az olması ve siklonik hareket aracılığıyla afet bölgesine ulaşan bu hava parseli yer seviyesindeki atmosferik koşulları konvektif bulut oluşumu için uygun hale getirmiştir. Buna ek olarak Ağustos ayı sıcaklık

ortalamalarının yaklaşık 1.5 °C daha yüksek olmasıda konvektif hareketliği hızlandıran bir diğer etmendir.

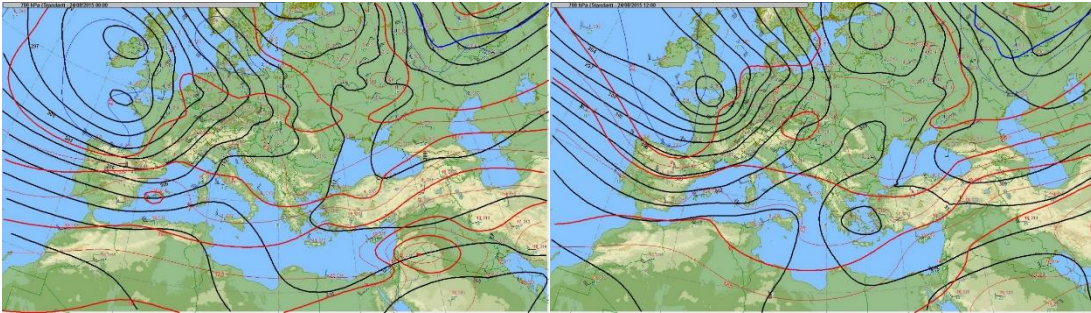
3.2 Yüksek Seviye Haritaları

Şekil 3.4’de 24 Ağustos 2015 tarihine ait 850 hp seviyesi 00 UTC ve 12 UTC haritaları verilmiştir. 850 hPa seviyesi haritaları incelendiğinde, Türkiye’nin doğu bölgelerini içine alan 144 dam’lık alçak basınç merkezi ile 15-20 dereceler aralığındaki izoterm değerlerinin hâkim olduğu görülmektedir. Hopa’da ise kuzeybatılı akışlar ile yaklaşık 15 derecelik soğuk hava girişi bulunmaktadır. Bu bölgede 145 dam’lık düşük kontur değerleri hâkimdir. 00 UTC’de bu seviye sıcaklığı yaklaşık 13 derece iken 12 UTC’de yaklaşık 3 derecelik bir ısınma meydana gelmiştir. Bu durum 850 hPa seviyesinde konvektif etkili yağışlar için uygun bir ortamı olduğunu göstermektedir.



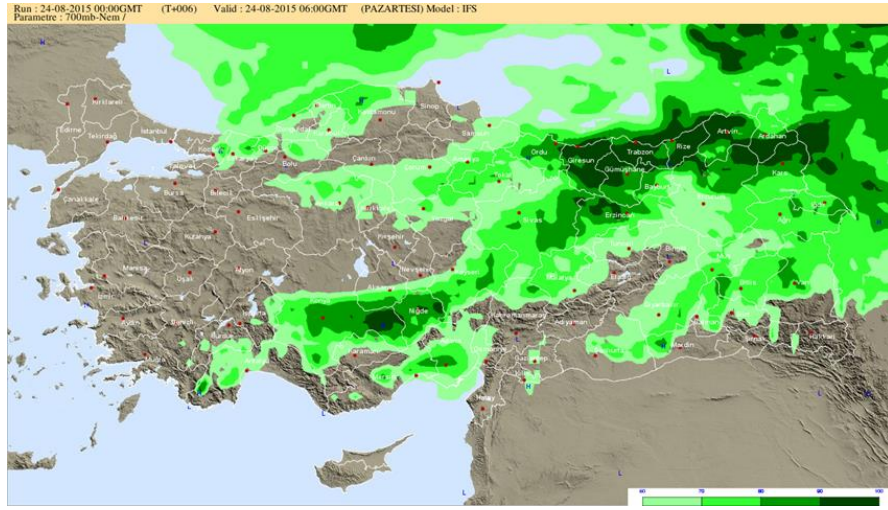
Şekil 3.4 : 24 Ağustos 2015 00 UTC (sol) ve 12 UTC (sağ) 850 hPa Haritası.

Şekil 3.5’de 700 hPa seviyesi 00 UTC ve 12 UTC haritaları verilmiştir. Bu haritalar incelendiğinde, 00 UTC’de Ege Bölgesi (312 dam) ve Karadeniz (309 dam) üzerinde yer alan oluklar dikkat çekmektedir. 12 UTC’ye gelindiğinde Ege Bölgesi’nde bulunan oluk koparak alçak merkez haline gelmiş, Karadeniz üzerindeki oluk ise genişleyerek afet bölgesi olan Hopa’yı da içine almıştır. Bu seviyede zamanla önemli bir sıcaklık değişimi görülmemektedir.



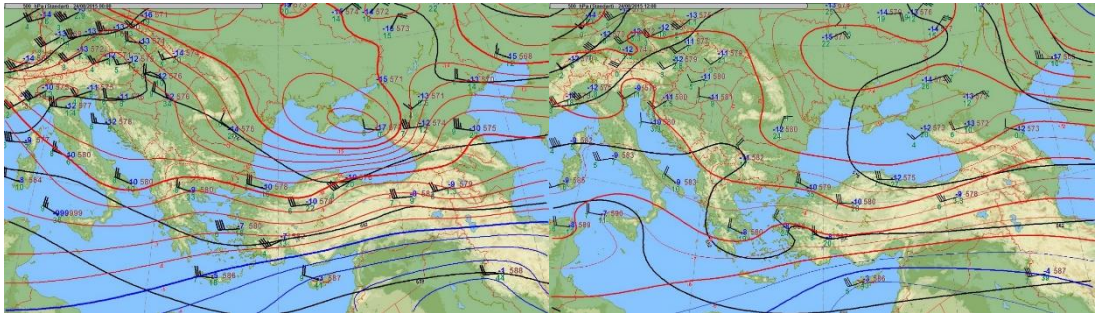
Şekil 3.5 : 24 Ağustos 2015 00 UTC (sol) ve 12 UTC (sağ) 700 hPa Haritası.

Oluşan ani yağışların şiddetini ve devamlılığını sağlayan en önemli faktörlerden biri atmosferin üst seviyelerindeki yüksek nem miktarıdır. Şekil 3.6’da IFS modelinin 24 Ağustos 2015 tarihi 06:00 UTC için 700 hPa nem tahmin haritası verilmiştir. 06:00 UTC için üretilen tahminlerin kullanılma amacı, taşkın afetine sebep olan maksimum yağışların bu saatlerde meydana gelmesidir. Bu harita incelendiğinde tüm Doğu Karadeniz Bölgesi’nde yüksek nemlilik değerleri göze çarpmaktadır. Afet bölgemiz olan Hopa üzerinde yağışın maksimuma ulaştığı saatlerde 700 hPa nispi nem miktarı %100 e yakındır.



Şekil 3.6 : IFS Modeli 24 Ağustos 2015 06 UTC 700 hPa Nispi Nem Haritası (ECMWF).

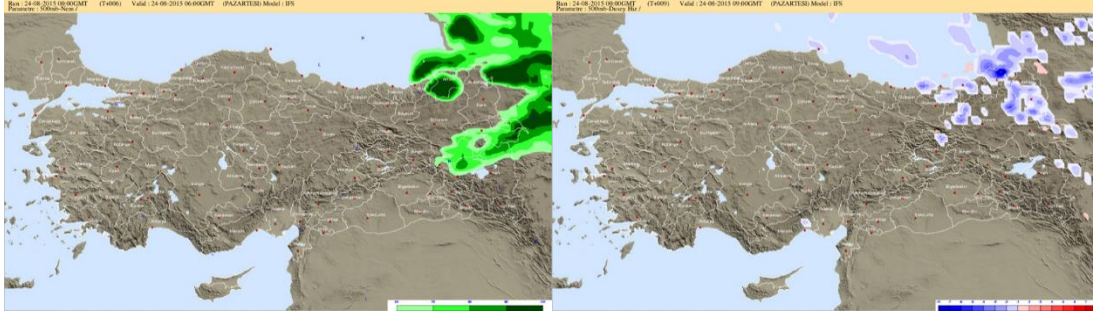
500 hPa haritası incelendiğinde, Doğu Karadeniz Bölgesi için rüzgârların batı – güneybatılı olduğu görülmektedir. Buna ek olarak 12 UTC’de Marmara Bölgesi’nin güneyinde soğuk katofun varlığı dikkat çekmedir. Bu seviye de sıcaklık değerleri -9/-12 derecelerdir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : 24 Ağustos 2015 00 UTC (sol) ve 12 UTC (sağ) 500 hPa Haritası.

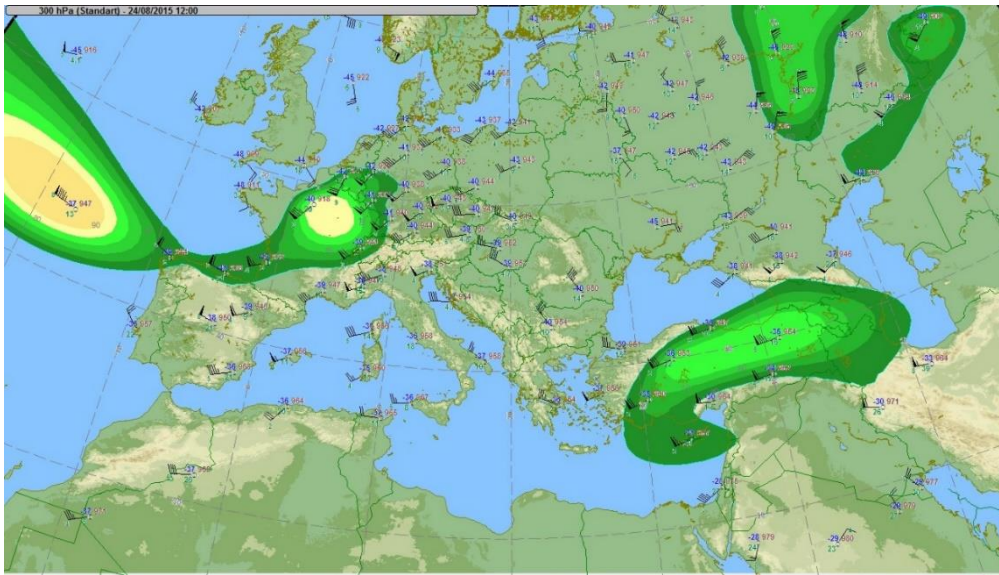
Üst atmosferdeki nemliliğe ek olarak, konvektif yağışı destekleyen bir diğer önemli husus ise düşey hareketlerdir. Düşey hızlar konvektif faaliyetlerin gelişimini direkt olarak etkilemektedir (Kömüşcü, 2011). Şekil 3.8’de 24 Ağustos 2016 tarihli 06:00

UTC için IFS modelinin 500 hPa nispi nem tahmini ve 09 UTC için düşey hız tahminleri verilmiştir. Bu seviyede Karadeniz'in Doğu Karadeniz kıyıları ve Hopa için nispi nem değerlerinin %100'e yaklaştığı görülmektedir. Düşey hız değerleri Hopa için maksimum değerlerde olmakta birlikte -8/-10 m/s değerleri görülmektedir. Yüksek seviyedeki bu nemlilik ve düşey hızların kuvvetli olması, konvektif bulutların gelişim ve nem desteğinin sürekliliğini sağlamaktadır.



Şekil 3.8 : IFS Modeli 24 Ağustos 2015 06 UTC 500 hPa Nispi Nem ve 09 UTC Düşey Hız Haritası.

Şekil 3.9'da 24 Ağustos 2015 tarihli 12:00 UTC 300 hPa seviyesi rüzgâr haritası verilmiştir. Jet akımı analizlerinin yapıldığı bu seviye haritasında Türkiye üzerinde etkin durumda bulunan kuvvetli bir jet akımının varlığı dikkat çekmektedir. Jet merkezi (85 knot), Türkiye'nin iç merkezlerinde iken bu sistem İç Anadolu, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nde etkili olmaktadır. Bu seviyede kuvvetli bir jetin varlığı 300 hPa seviyesinde alçak basınç merkezi oluşturarak Hopa bölgesinde yer seviyesinden itibaren konvektif hareketlerin güçlenmesine neden olmaktadır.



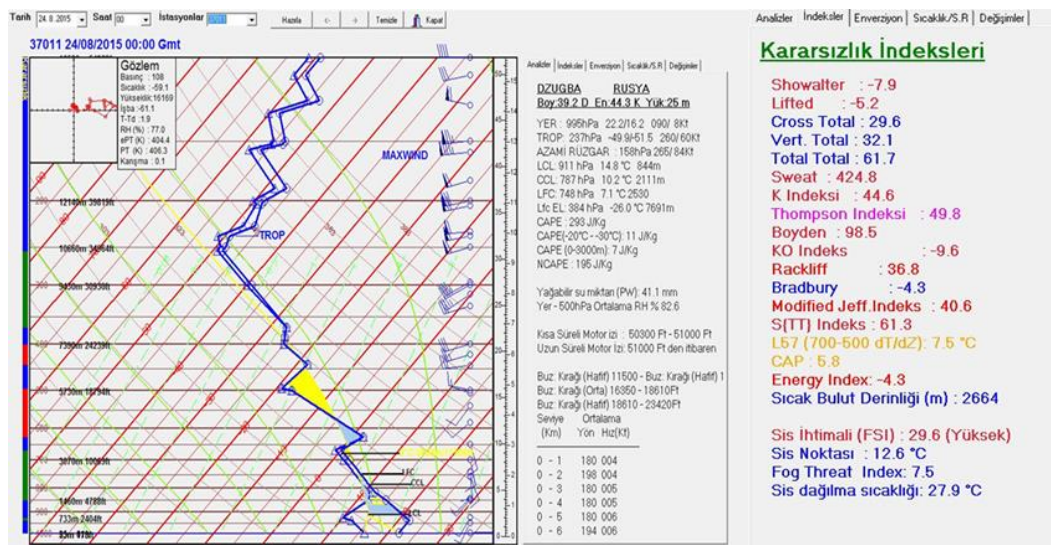
Şekil 3.9 : 24 Ağustos 2015 12 UTC 300 hPa Rüzgâr Haritası.

3.3 Kararsızlık Analizi

Sinoptik ve konvektif ölçekteki şiddetli yağışları oluşturan en önemli atmosferik etmenler; atmosferin farklı seviyelerindeki nem içeriği, atmosferik kararsızlık, rüzgâr kaymaları ve diğer parametrelerdir. Diğer parametrelerin en önemlileri ise, K Index, yağışa geçebilir su miktarı (PW), yer seviyesi ile 500 hPa seviyesi arasındaki nem miktarı ve eşdeğer potansiyel sıcaklıktır. Bu atmosferik parametrelerdeki yükseliş, yağış şiddetini arttırmaktadır (Paddock, 2008).

3.3.1 Kararsızlık indeksleri

Sıcaklık ve nem değişkenleri kararsızlık indekslerinin temel değişkenlerini oluşturur (Çelik ve diğ., 2015). Afet bölgemiz olan Hopa'ya en yakın radiosonde rasatı Rusya'da bulunan Dzuga (37011) istasyonunda bulunmaktadır. Ülkemizde ise en yakın radiosonde istasyonu Samsun (17030) bulunmaktadır; ancak Samsun'da yağış miktarı oldukça düşüktür bu nedenle afet bölgemiz olan Hopa'yı temsil etmemektedir. Dzuga istasyon bölgesinde de aynı sistemin etkisinde benzer atmosferik şartlar altında şiddetli yağış meydana gelmiştir; ancak bu yağış şiddeti Hopa'dan daha düşüktür. Bunun nedeni, benzer atmosferik sistemlerin etkisi altında olsalar da yağış miktarını etkileyen diğer etmenlerin (topografya, coğrafi konum v.b.) farklılık göstermektedir. Afet bölgemiz olan Hopa için kararsızlık indeksleri ile ilgili bir yaklaşım olarak Dzuga istasyonu radiosonde rasatı kullanılabilir. Dzuga istasyonuna ait Skew – T diyagramları ve kararsızlık indeksleri Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10 : Dzuga (37011) İstasyonu Skew - T Diyagramı ve Kararsızlık İndeksleri.

Kararsızlık indeksleri incelendiğinde;

- **Lifted Index (LI):** Düşük seviye hava parsellerinin kararlılığını değerlendirmek için kullanılan bir indekstir. Lifted Index değerlerinin karşılık geldiği atmosferik durum Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Lifted Index Değerlerinin Karşılık Geldiği Atmosferik Durum (Akgün, t.y.).

Değer	Kararlılık Durumu
> 0	Zayıf konveksiyon olasılığı
$0 - (-3)$	Marjinal olarak kararsızlık
$(-3) - (-6)$	Orta seviye kararsızlık
$(-6) - (-9)$	Yüksek kararsızlık
$< (-9)$	Aşırı derecede kararsızlık

24 Ağustos 2015 tarihli 00 UTC Dzugba (37011) istasyonuna ait Skew – T diyagramında LI değeri -5.2’dir. Bu değer düşük seviye hava parselleri için orta - yüksek oranda kararsız bir atmosferi göstermektedir.

- **Showalter Index (SI):** 850 mb kararlılığı değerlendirmek için kullanılan bir indekstir. Lifted Index değerleri ile aynı kıstaslarda değerlendirilebilir.

24 Ağustos 2015 tarihli 00 UTC Dzugba (37011) istasyonuna ait Skew – T diyagramında SI değeri -7.9’dur. Bu değer 850 mb seviyesinin çok kararsız olduğunu göstermektedir.

- **Total Totals Index (TT):** 850 mb nem değerlerini esas alarak oraj kuvvetlerini değerlendirmek için kullanılan bir indekstir. Total Totals index değerlerinin karşılık geldiği fırtına kuvveti Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Total Totals Index Değerlerinin Karşılık Geldiği Oraj Olasılıkları (Akgün, t.y.).

Değer	Oraj Olasılığı
< 44	Oraj olasılığı düşük
44 - 50	Oraj olasılığı var
51 - 56	Şiddetli oraj olasılığı şiddetli
> 56	Şiddetli oraj olasılığı çok kuvvetli

24 Ağustos 2015 tarihli 00 UTC Dzugba (37011) istasyonuna ait Skew – T diyagramında TT indeks değeri 61,3’dür. Bu değer en yüksek TT indeks değerine

karşılık gelmektedir. Şiddetli oraj ihtimalinin çok kuvvetli olduğu durumunu karakterize etmektedir.

- **K Index (KI):** Düşey lapse rate oranı ve düşük seviyeli nemin düşey genişlememe miktarı kullanılarak oraj potansiyelinin belirlendiği bir indekstir. K index değerlerinin karşılık geldiği konvektif potansiyel Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3 : K Index Değerlerinin Karşılık Geldiği Oraj Potansiyel (Akgün, t.y.).

Değer	Oraj Potansiyel
15 - 30	Oraj ile yoğun yağmur ve şiddetli hava için hafif potansiyel
30 - 40	Oraj ile yoğun yağmur orta için orta potansiyel
40 +	Oraj ile yoğun yağmur için en iyi potansiyel

24 Ağustos 2015 tarihli 00 UTC Dzugba (37011) istasyonuna ait Skew–T diyagramında K indeks değeri 44,6’dır. Bu değer atmosferin konvektif hareketler için oraj ile yoğun yağmur için en iyi potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

- **SWEAT Index (SW):** Bu indekste şiddetli hava ve oraj potansiyelini belirlemek için çeşitli değişkenler kullanır. SWEAT Index değerlerinin karşılık geldiği fırtına olasılıkları Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4 : SWEAT Index Değerlerinin Karşılık Geldiği Oraj Potansiyeli (Akgün, t.y.).

Değer	Oraj Potansiyeli
150 - 300	Hafif oraj potansiyeli
300 - 400	Şiddetli oraj potansiyeli
400 +	Tornado oraj potansiyeli

24 Ağustos 2015 tarihli 00 UTC Dzugba (37011) istasyonuna ait Skew–T diyagramında SWEAT Index değeri 424,8’dir. Bu değer 24 Ağustos tarihinde bölgede etkin olan havada fırtına oluşma olasılığının oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.

3.3.2 CAPE (Convective Available Potential Energy)

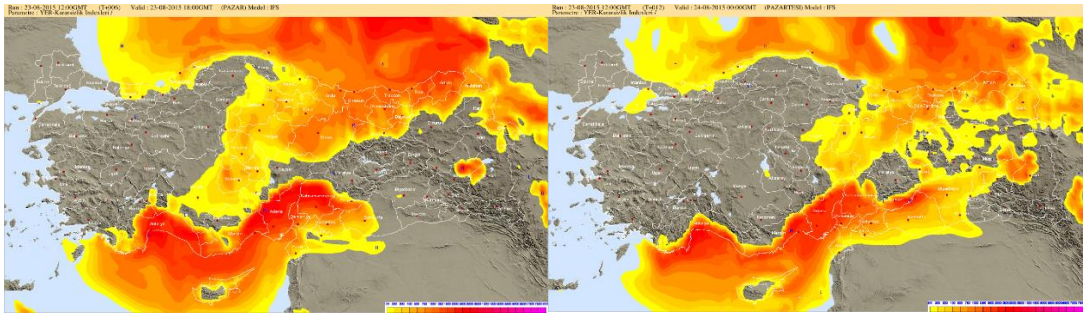
CAPE (Convective Available Potential Energy), Skew – T diyagramında pozitif alan entegrasyonunu ifade eder. Pozitif alan, teorik parsel sıcaklığının troposferdeki her basınç seviyesindeki gerçek sıcaklığından daha sıcak olduğu bölgedir. CAPE, hava parselini düşey olarak hareketini sağlayan atmosferdeki mevcut enerji miktarı olarak da tanımlanabilir. Hava parselinin sıcaklığı ve bulunduğu seviyede çevre sıcaklığı arasındaki fark büyüdükçe CAPE’ değeri artar. CAPE değerinin büyümesi yukarı

yönlü hareketlerin hızlanmasını ve kuvvetli konvektif hareketleri temsil etmektedir. CAPE değerlerinin karşılık geldiği atmosferik durum Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5 : CAPE Değerlerinin Karşılık Geldiği Atmosferik Durum (Akgün, t.y.).

Değer	Kararlılık Durumu
< 0	Kararlı
0 - 1000	Marjinal olarak kararsız.
1000 – 2500	Orta şiddette kararsız
2500 – 3000	Çok kararsız
> 3500 - 4000	Aşırı derecede kararsız

CAPE değeri bir hava parselinin hareketinin başlangıç noktası için iyi bir göstergedir. Ayrıca CAPE değerine bağlı olarak hesaplanan indeksler (Lifted Index, Total Totals Index, Sweat Index ve K Index) bu değer büyüdükçe artmaktadır. Atmosferik kararsızlık için oldukça hasas bir indekstir (Akgün, t.y.). Şekil 3.11’de 24 Ağustos 2015 tarihi için IFS modelinin CAPE değeri tahminleri verilmiştir. Afet günü öncesi olan 23 Ağustos akşamı 18 UTC için konvektif hareketliliklerin başladığı zamanda CAPE değerleri 2000 – 2500 aralığındadır. Bu durum orta şiddette ve çok kararsız atmosferi temsil etmektedir. Buna ek olarak, CAPE değerlerinin yüksek oluşu nedeni ile Hopa için kararsızlık indekslerinin Dzugba istasyonundan daha yüksek olması beklenmektedir.



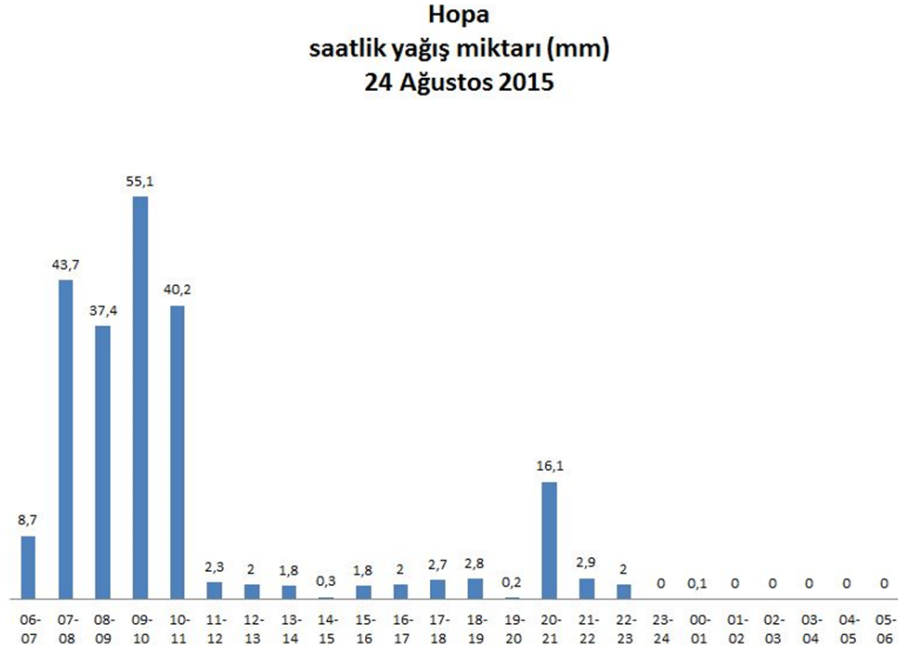
Şekil 3.11 : 23 - 24 Ağustos 2015 Tarihli IFS Modeli CAPE Tahmin Çıktısı.

3.4 Yağış Analizi

Bu çalışmada, yağış analizi için Artvin ili, Hopa ilçesinde bulunan Hopa Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) istasyonu kullanılamamaktadır. Bunun sebebi yağış verilerinin 09:00 UTC’den itibaren istasyon arızası nedeni ile bulunmamasıdır. Bu saate kadar olan veriler ise sağlıklı yağış verileri olmadığından kullanılması tavsiye edilmemektedir. OMGİ verileri yerine aynı kordinatlarda, istasyonunun hemen yanında bulunan manuel ölçüm aletleri ile insan faktöründe dâhil olduğu ve

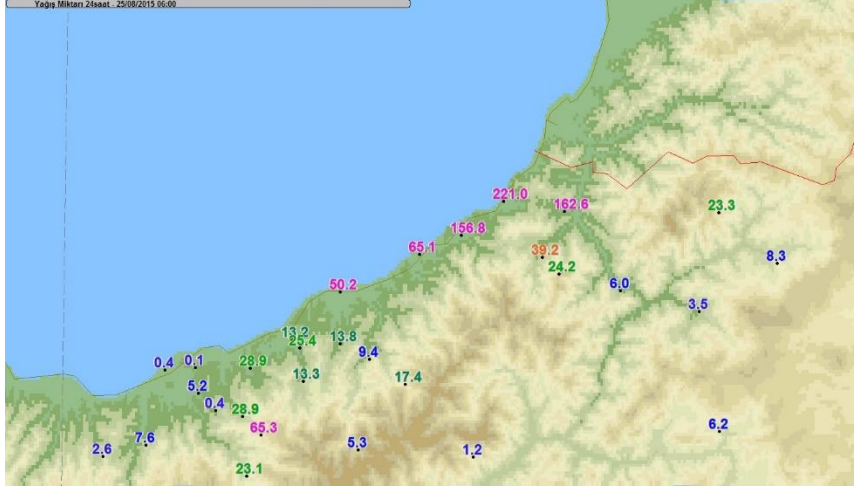
Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından onaylanmış, çalışmalarda önerilen veriler kullanılmıştır.

24 Ağustos 2015 tarihinde, Doğu Karadeniz üzerinde başlayan yağış, zamanla gelişerek Türkiye'nin Kuzeydoğu kesimlerinde etkili olarak Hopa ilçesini de kapsamıştır. Sabah erken saatlerde başlayan yağış şiddetlenerek 07:00 – 11:00 UTC arasında maksimuma ulaşmış ve ani taşkın afetine neden olmuştur. Saatlik yağış verileri daha detaylı incelenirse; 06 – 07 UTC arasında 8.7 mm, 07 – 08 UTC arasında 43.7 mm, 08 – 09 UTC arasında 37.4 mm, 09 – 10 UTC arasında 55.1 mm, 10 – 11 UTC arasında 40.2 mm ve 11 UTC'den sonra düşük miktarlarda yağışın devam ettiği kayıtlara geçmiştir. Hopa'da 24 Ağustos 2015 tarihinde meydana gelen saatlik yağış miktarları Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12 : 24 Ağustos 2015 Tarihinde Ölçülen Saatlik Yağış Miktarları.

24 Ağustos 2015 00 UTC – 25 Ağustos 2015 00 UTC arasında Hopa'da ölçülen 24 saatlik toplam yağış miktarı 287,2 mm olarak kayıtlara geçmiştir. 23 Ağustos 2015 06 UTC – 24 Ağustos 2015 06 UTC arası toplam yağış 221 mm olarak ölçülmüştür. Doğu Karadeniz üzerinde bu tarihler arasında en fazla yağış alan bölge Hopa ve çevresidir. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 23 Ağustos 06 UTC – 24 Ağustos 06 UTC arası 24 saatlik toplam yağış değerleri Şekil 3.13'de verilmiştir.



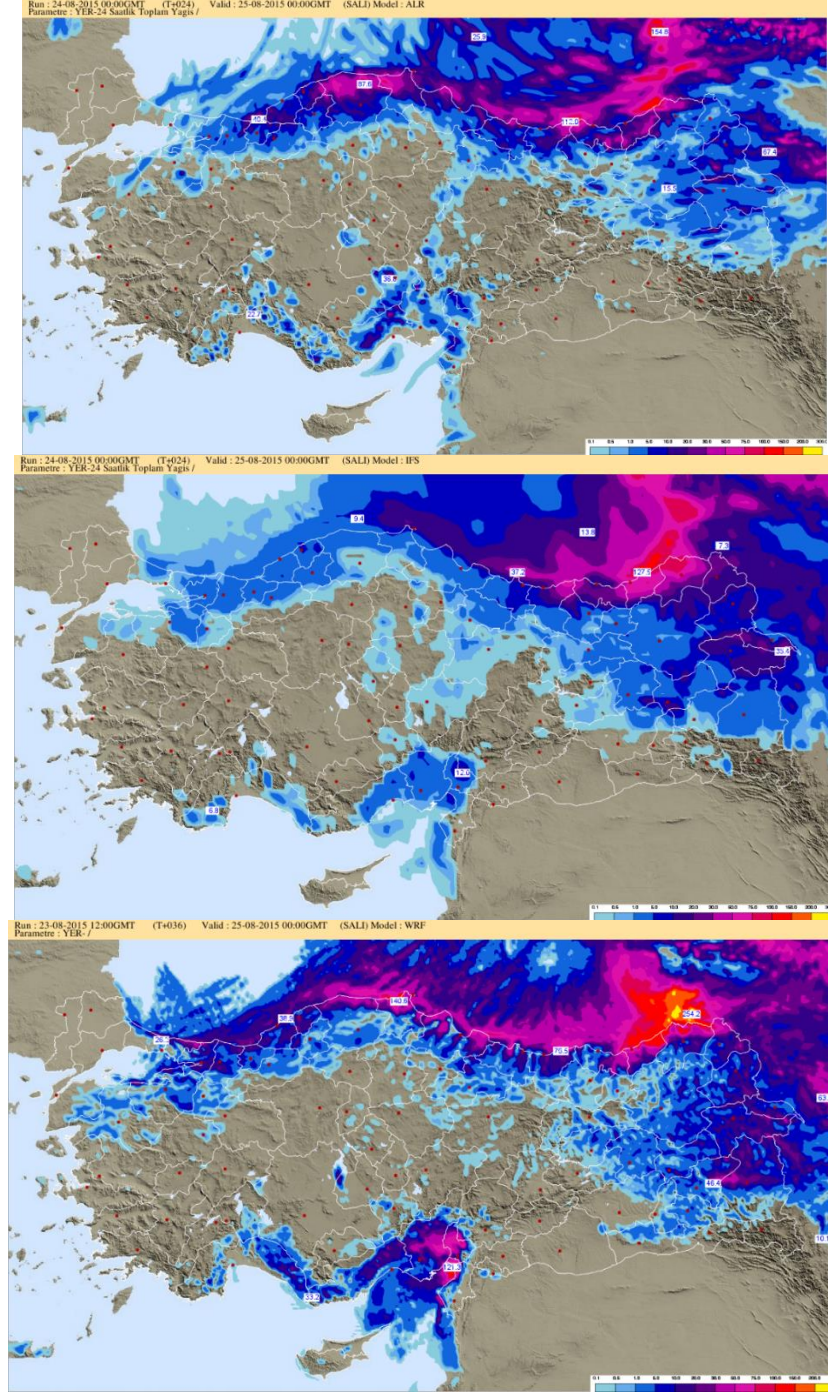
Şekil 3.13 : 23 Ağustos 2015 06 UTC - 24 Ağustos 2015 06 UTC Arası 24 Saatlik Toplam Yağış Değerleri.

Hopa’da 24 Ağustos 2015 tarihinde meydana gelen aşırı yağış miktarı, 1988 yılı Ağustos ayında meydana gelen 588.9 mm’lik maksimum yağıştan sonra, 535.2 mm’lik aylık toplam yağış değeri ile en yüksek ikinci değer olarak belirlenmiştir (Ulupınar ve diğ., 2015). Bu miktar, yıllık yağış toplamı 2000 mm’nin üzerinde olan Hopa’nın ortalama yağışları göz önünde bulundurulduğunda aşırı sayılabilecek bir miktar olarak karşımıza çıkmaktadır.

IFS, WRF ve ALR modellerinden elde edilen tahminlerin ölçülen yağış miktarı ile karşılaştırılması amacıyla 24 saatlik toplam yağış miktarları referans seçilerek, bu bölge için 24 Ağustos 2015 tarihinde meydana gelen konvektif yağış tahminlerinin tutarlılıkları karşılaştırılmıştır. Şekil 3.14’de 24 Ağustos 2015 tarihi için ALR, IFS ve WRF modellerinin 24 Ağustos 00:00 UTC – 25 Ağustos 00:00 UTC arası 24 saatlik toplam yağış tahminleri verilmiştir.

Hopa’da yer gözlemleri aracılığıyla 24 Ağustos 2015 00 UTC – 25 Ağustos 2015 00 UTC arası ölçülen yağış 287,2 mm olarak kayıtlara geçmiştir.

Model çıktıları incelendiğinde; 24 saatlik toplam yağış olarak, ALR modeli yaklaşık 150 mm, IFS modeli yaklaşık 120 mm, WRF modeli ise yaklaşık 250 mm’lik yağış tahmin etmiştir. Yer gözlemleri ile ölçülen 24 saatlik toplam yağış miktarı referans seçilirse en iyi tahmini WRF modelinin yaptığı söylenebilir. Buna ek olarak, yağış miktarında tahminin de WRF modeli en yakın tahminleri versede tüm modeller maksimum yağış alan bölgeyi Hopa ve civarı olarak göstermektedir; ancak hem yağış miktarı hem de bölge tahmini göz önünde bulundurulduğunda bu afet olayının incelenmesinde en iyi tahminin yine WRF modeline ait olduğu görülmektedir.



Şekil 3.14 : 24 Ağustos 2015 Tarihi İçin ALR (üstte), IFS (ortada) ve WRF (altta) Modellerinin 00 UTC – 00 UTC Arası 24 Saatlik Toplam Yağış Tahminleri.

3.4.1 Yağış tekrerrür analizi

Hopa'nın Ağustos ayı yağış normali (1981-2010) 184.8 mm, yıllık yağış normali ise 2257 mm'dir. 24 Ağustos 2015 tarihinde 3 saatte düşen 181.3 mm'lik yağış, Ağustos ayı yağış normaline hemen hemen eşittir. 24 Ağustos 2015 tarihinde Hopa'da meydana gelen yağışın, 2 ile 12 saat arasındaki standart zamanlardaki değerleri, bugüne kadar

görülen en yüksek yağış değerleri olarak gerçekleşmiştir. Çizelge 3.6’da Hopa’ya ait yağış tekerrür analizi verilmiştir.

Çizelge 3.6 : 24 Ağustos 2015 Hopa Yağış Tekerrür Analizi (MGM, t.y.).

Tarih	Başlama	Bitiş	Devam (dak)	Miktar (mm)	Şiddet (mm/dk)	L/snha	Tekerrür (yıl)
24/08	07:57	08:02	5	11.3	2,260	376.7	5 Yıl
24/08	07:52	08:02	10	22.2	2,220	370.0	10 Yıl
24/08	07:57	08:12	15	32.6	2,173	362.2	17 Yıl
24/08	07:32	08:02	30	64.9	2,163	360.6	77 Yıl
24/08	07:24	08:24	60	117.9	1,965	327.5	100 Yıdan fazla
24/08	06:54	08:54	120	174.7	1,456	242.6	100 Yıdan fazla
24/08	06: 04	09: 04	180	181.3	1,007	167.9	100 Yıdan fazla
24/08	06: 04	10: 04	240	181.3	0.755	125.9	100 Yıdan fazla
24/08	06: 04	11:04	300	181.3	0.604	100.7	100 Yıdan fazla
24/08	06: 04	12:04	360	181.3	0.504	83.9	95 Yıl
24/08	06: 04	14: 04	480	183.7	0.383	63.8	52 Yıl
24/08	06:32	18:32	720	193.2	0.268	44.7	51 Yıl
24-25/08	06: 04	00: 04	1080	214.7	0.199	33.1	50 Yıl
24-25/08	06:00	06: 00	1440	221	0.149	24.8	21 Yıl

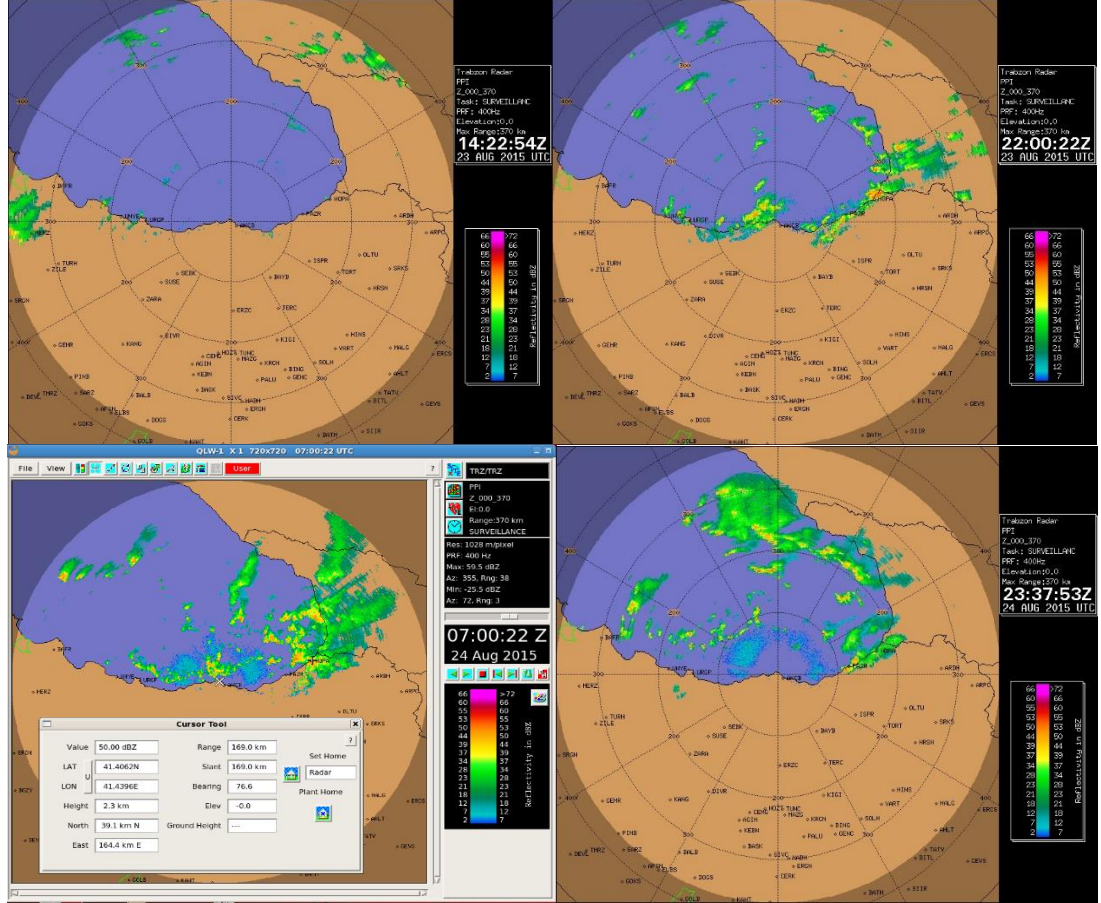
24 Ağustos günü 60, 120, 180, 240 ve 300 dakikalık yağış toplamaları incelendiğinde tekerrür yıllarının 100 yıldan fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle, yağışın 6 saate kadar olan kısmı Hopa için yüksek tekerrür aralığına sahip aşırı yağışlardır.

24 Ağustos 2015 tarihinde Hopa’da meydana gelen ani taşkın afetine neden olan temel etmen olarak 287,2 mm’lik yağışın, 118 mm’lik bölümünün 1 saat sürede, 175 mm’lik bölümünün 2 saatlik sürede ve 181 mm’lik bölümünün 3 saat gibi kısa bir süre içinde düşmüş olması gösterilebilir; fakat 22 Ağustos tarihinde Hopa’ya düşen yaklaşık 70 mm’lik yağış toprağın neme doymasına neden olmuş, neme doymuş toprağa düşen aşırı yağışlar birlikte su hızla akışa geçerek ani taşkın afetine neden olmuştur.

3.5 Radar Görüntüleri

24 Ağustos 2015 tarihinde Hopa’da meydana gelen 287.2 mm’lik yağış, Trabzon radarı kullanılarak belirlenebilmektedir. 23 Ağustos gece yarısından sonra Doğu Karadeniz’in kıyı kesimleri üzerinde yoğun bulutluluk gözlemlenirken, 24 Ağustos sabah saatlerinden itibaren Artvin-Hopa üzerindeki bulutluluk miktarı artmıştır. Öğle saatlerine kadar bu yoğun bulutluluk miktarı Hopa üzerinde devam etmiştir. Afet bölgesinde gözlemlenen bu bulutlar sabah saatlerinden itibaren, aşırı yağış bırakmış daha sonrasında Karadeniz üzerine hareket ederek bölgeyi terk etmiştir.

Radar görüntüleri incelendiğinde, Hopa üzerinde konvektif hareketliliğin, 23 Ağustos saat 14:00 UTC itibari ile başladığı, 22:00 UTC'den sonra bulutluluğun arttığı ve 24 Ağustos 2015 tarihi 07:00 UTC'de ise maksimuma ulaştığı görülmektedir. Aşırı yağışın da maksimumlarının yaşandığı bu saatler, taşkın afetinin en şiddetli olduğu zamanlardır. Bu saatlerde 50 dBZ'lik maksimum yansıtma değerleri ölçülmüştür. Daha sonrasında yağışın etkisini kaybetmesine rağmen, konvektif hareketlerin ve bulutluluğun daha düşük dBZ değerlerinde devam ettiği görülmektedir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 : 23 - 24 Ağustos 2015 Tarihli Radar Görüntüleri.

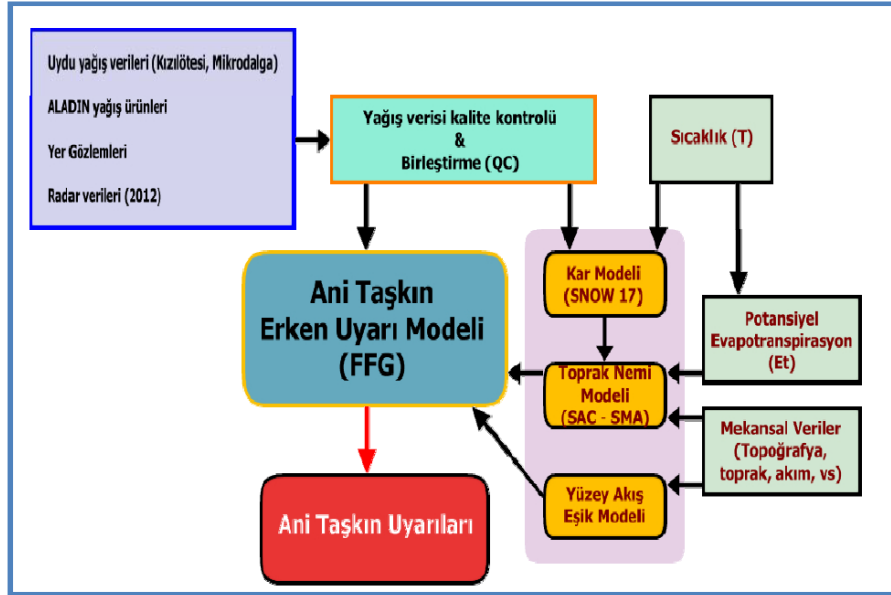
Bulutluluğun ve yağışın bu kadar uzun süreli afet bölgesini etkilemesinin nedeni olarak, Doğu Karadeniz'in Kuzey Anadolu Dağları'nın önünde bulunması nedeniyle kapalı havza özelliklerini yansıtmasıdır. Buna ek olarak, üst atmosferde bulunan soğuk trof da bulutların sürekliliğini sağlayan önemli nedenler arasındadır.

3.6 Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi (FFGS) Sonuçları

Ani taşkınların son yıllardaki artışı ve bu artıştan kaynaklanan can ve mal kayıplarının çoğalması üzerine, 2007 yılında 15. Dünya Meteoroloji Örgütü Kongresi'nde alınan

karar ile, Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) Hidroloji Komisyonu ve Birleşik Devletler Yardım Kurumu (USIAD) işbirliği ile Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi (FFGS) geliştirilmiştir. Proje kapsamında Karadeniz ve Ortadoğu Bölgesi'nde proje uygulamaya konulmuştur.

Proje, taşkınlar sonucu oluşabilecek hasarları azaltmak, gerçek zamanlı ve başarılı ani taşkın uyarılarını yayınlamak, ani taşkınlar ile ilgili teknolojilerin takip edilerek uygulamaya geçirmek, Karadeniz ve Ortadoğu Bölgesi için Ani Taşkın ve Erken Uyarı Sistemi geliştirmek ve başarılı bir şekilde kullanılmasını sağlamak gibi amaçlar içermektedir. Şekil 3.16'da Ani Taşkın Erken Uyarı Modeli'nin çalışma şeması verilmiştir.



Şekil 3.16 : Ani Taşkın Erken Uyarı Modeli Çalışma Şeması (MGM, t.y.).

FFGS modeli, yağış verisi olarak uydu, ALADIN, Radar ürünleri ve yer gözlemlerini, yağış verilerinin hata ve kalite kontrol aşamalarından geçtikten sonra girdi olarak kullanılmaktadır. Bu modelde topografya, bitki örtüsü, jeolojik toprak yapısı ve hidrometeorolojik veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığı ile hazırlanarak modele entegre edilmiştir. Ani Taşkın Erken Uyarı Modeli (FFGS); Kar modeli (SNOW 17), Toprak Nemi Modeli (SAC-SMA), Yüzey Akış Eşik Modeli ve Erken Uyarı Modeli olmak üzere 4 ana modelin birleşiminden meydana gelmektedir. Bu fiziksel modeller Türkiye için 2900 alt havza için ayrı ayrı çalışmaktadır. FFGS modeli her gün 6 saate bir çalıştırılarak çıktılar elde edilmektedir (MGM, t.y.).

6 Saatlik Tahmini Yağın Haritası
(FFFT 24.08.2014 06:00 UTC + 6 Saat)

24 Saatlik Alansal Yağış Tahmini Haritası
(FMAP 24.08.2015 06:00 UTC + 24 Saat)

mm/6 Saat

0 - 5
6 - 10
11 - 20
21 - 40
41 - 60
61 - 100

mm/24 Saat

0 - 10
11 - 20
21 - 35
36 - 50
51 - 75
76 - 120

FFGS modelinin Doğu Karadeniz Bölgesi için 24 Ağustos 2015 tarihli 6 ve 24 saatlik toplam yağış tahminleri incelendiğinde; Hopa bölgesi için 06 – 12 UTC arasında 61 – 100 mm, 24 Ağustos – 25 Ağustos 2015 tarihleri 06 – 06 UTC arasında 76 - 120 mm yağış tahmini yapmaktadır. Bu yağış miktarları 06 - 12 UTC arasında yer gözlemleri ile ölçülen 153,4 mm’lik değerinin ve 06 - 06 UTC arasında ölçülen 222 mm’lik yağış değerlerinin neredeyse yarısı kadardır. Hopa’da meydana gelen lokal yağışı miktar olarak daha az tahmin etmesine rağmen, bu lokal yağışın etkili olduğu alanın

belirlenmesi ve çevresine göre oldukça yüksek miktarda yağış göstermesi bu yağışın tahmininde FFGS Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi'nin 24 Ağustos 2015 tarihinde Hopa bölgesi için yağışın etki alanının tahmininde oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.

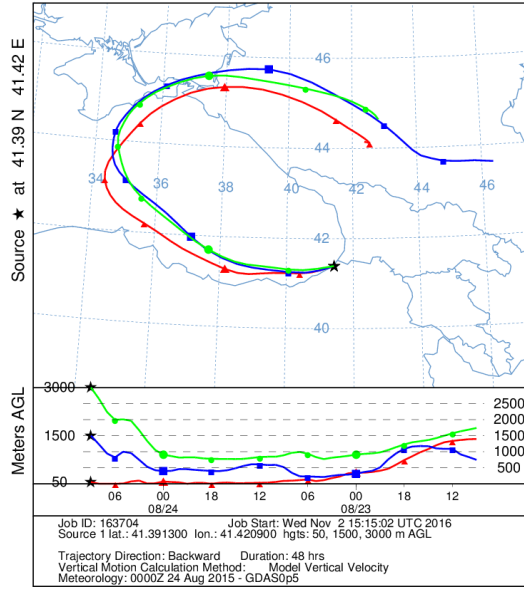
3.7 Yağışı Maksimuma Ulaştıran Hava Parselinin Yörünge Analizi

The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) tarafından, Air Resources Laboratory's (ARL) biriminde geliştirilmiş olan Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLOT) modeli, ilk olarak 1982 yılında 1. Versiyonu ile yayınlanmış, günümüzde hala kullanılan 4. Versiyonu 1990'lı yılların sonunda tamamlanarak, 1998 yılından beri NOAA tarafından kullanıma sunulmuştur. HYSPLIT modeli genellikle, hava kütlelerinin başlangıç noktalarının belirlenmesi ve analizi konusunda kullanılmaktadır. Buna ek olarak, bu model hava kirliliğine neden olan maddelerin atmosferik taşınım, dağılım ve birikim tahminleri için de kullanılmaktadır.

HYSPLIT modeli, hibrit hesaplama metodu kullanılmaktadır. Bu hibrit metod hava parselinin başlangıç noktasından itibaren yörüngesini ve hareketini hesaplamak için, yöntem olarak Lagrangian yaklaşımını (hareketli bir referans çerçevesinde ki adveksiyon – difüzyon hesaplamalarını içermektedir) kullanırken, kirlletici konsantrasyonlarını ve orjin noktasına göre hava parselinin karakteristiklerini belirlerken hesaplamak için ise Eulerian metodunu (sabit bir referans noktası belirleyerek üç boyutlu gridler çerçevesinde hesaplamalar yapmaktadır.) kullanılmaktadır (Stein ve diğ, 2015).

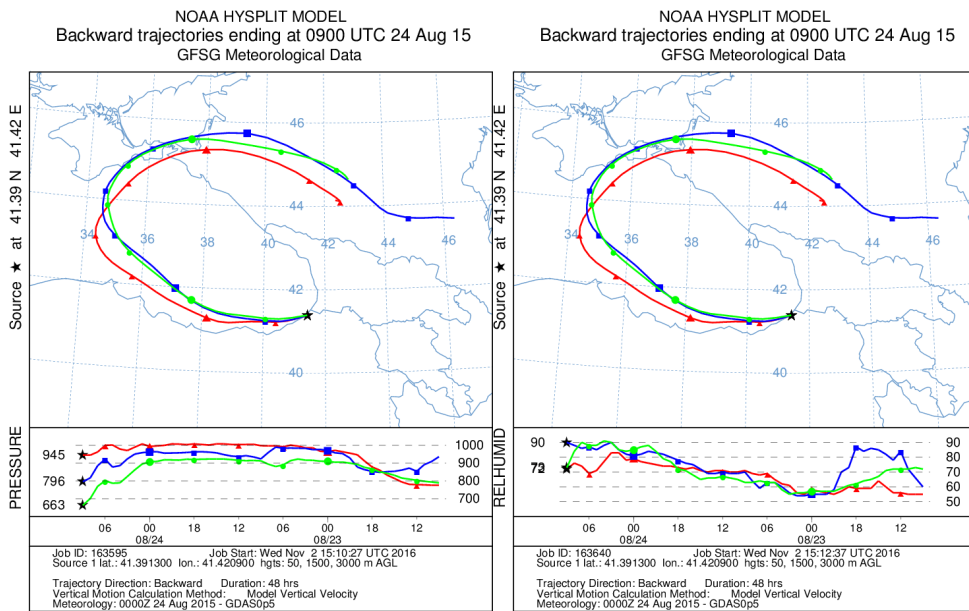
Çalışma bölgesi olan Artvin ili, Hopa ilçesi için bu model kullanılarak, yağışın maksimum saatlik yağışın ölçülmüş olduğu 09 – 10 UTC saatlerinde bulut gelişiminin devamlılığını sağlayan ve yağışın maksimuma ulaşmasını sağlayan hava parselinin başlangıç (doğum) noktası, hareketi, yörüngesi ve nem miktarı 6 saatlik aralıklarla incelenmiştir. Şekil 3.18'de Hopa'da maksimum saatlik yağışın ölçüldüğü saat olan saat 09 UTC'de etkisini gösteren hava parselinin orjin noktası ve yörüngesi verilmiştir. Bu hava parseli 3 ayrı seviyede incelenmiştir. Bu seviyeler 50 m, 1500 m ve 3000 m olarak seçilmiştir. Bunun nedeni, tahmin ve analiz açısından önemli olan 1000 mb, 850 mb ve 700 mb standart atmosfer seviyeleri olmasıdır.

NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0900 UTC 24 Aug 15
GFS Meteorological Data



Şekil 3.18 : 09 UTC’ de Hopa’da Maksimum Saatlik Yağışın Ölçüldüğünde Etkisini Gösteren Hava Parsellerinin Orjin Noktası ve Yörüngesi.

Bu hava parseli, Rusya üzerinde doğarak, Karadeniz’de yol almış ve afet bölgemiz olan Hopa bölgesine kuzeybatı yönünde giriş yapmıştır. Ayrıca, 1500 m ve 3000 m seviyesindeki hava parselinin 06 UTC’den itibaren düzenli olarak yükseldiği görülmektedir. Bu yükselme konvektif yağışın devamlılığını sağlayan en önemli etkenlerdendir. Şekil 3.19’da Hopa’daki maksimum saatlik yağışın ölçüldüğü 09 UTC’de etkisini gösteren hava parselinin 50, 1000 ve 1500 m’deki basınç seviyeleri ve bağıl nem miktarları verilmiştir.



Şekil 3.19 : 09 UTC’ de Hopa’da Maksimum Saatlik Yağışın Ölçüldüğünde Etkisini Gösteren Hava Parsellerinin Başınç, Nem ve Yörüngesi.

Tüm basınç değerlerinin standart atmosfer seviyesi basınç değerlerine göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Konvectif hareketliliğin devam ettiği bu saatlerde standart atmosfer seviyesi basınç değerlerinden düşük basınç değerlerinin gözlemlenmesi, model çıktılarının güvenilirliğini arttırmaktadır. Buna ek olarak, hava parseli 23 Ağustos 00 UTC'den sonra Karadeniz üzerinde yol aldığı için beklenildiği gibi, tüm seviyelerde nem miktarında artış meydana gelmiştir. Bu durum hava parselinin Karadeniz üzerinde katettiği yol boyunca nem toplamasına neden olmuş ve Hopa üzerinde konvectif ve orografik etkilerle yükselmesiyle yağışın devamlılığını sağlarken, yağışlarında maksimuma ulaşmasına neden olmuştur. Buna ek olarak, 50 m, 1000 m ve 1500 m seviyesindeki hava parsellerinin tümünün benzer yörüngeye sahip olmasının yanı sıra siklonik bir dönüş yaptıkları göze çarpmaktadır.

4. BULUT DİNAMİK YAPILARININ İNCELENMESİ

4.1 Bulutların Tanımı ve Atmosferik Hareketlerin Sınıflandırılması

Bulutlar, yükselen hava akımlarında su buharı yoğunlaşması sonucunda havada asılı duran sıvı su damlacıkları ya da buz kristalleri olarak tanımlanabilir (AMS, 2012). Bulutlar, oluşum süreçlerindeki dinamik yapıyı yansıtacak şekilde farklı genişlik, şekil ve boyutta oluşmaktadır.

Bulutların yatay boyutları birkaç yüz metreden binlerce kilometreye kadar uzanır. Bu yatay skalanın bu kadar geniş olması, bulutları tanımlamak ve sınıflandırma ihtiyacı yaratmıştır.

Bulutların sınıflandırılması için yer ve uçak gözlemleri yetersiz kalmaktadır. Bunun nedeni fırtına sistemlerine neden olan büyük bulut paternlerinin yalnızca uzaydan gözlemlenebilmesidir. Bu nedenle bulut sınıflandırılması yapılırken, yer ve uçak gözlemlerine ek olarak radar ve uydular da kullanılmaktadır. Bulutların sınıflandırılması için kullanılan meteorolojik radar ve uydu ürünleri, bulut dinamik yapılarının belirlenmesinde de efektif olarak kullanılmaktadır (Houze, 1993).

Bir akışkanın yoğunluğunun değişimi üzerine sabit bir yerçekimsel alanın eylemine atfedilen tüm hareketlere konvektif hareketler denilebilir. Bu nedenle, Dünya atmosferi, okyanusların neredeyse tüm kinetik enerjisi ve birçok sıvı sisteminin kinetiği konveksiyondan kaynaklanır. Diğer sıvı hareketleri ise gelgit ve elektrodinamik kuvvetlerden kaynaklanmaktadır.

Meteorolojik konveksiyon, yüzeyle temas halindeki hava kütlelerinin yeryüzeyi tarafından iletilen ısı sebebiyle ısınarak yükselmesidir. Meteorolojik konveksiyon, rüzgar ve atmosferik sirkülasyonlar, bulut oluşumlarının önemli nedenlerindendir.

Konveksiyon bulutları, konveksiyon olarak bilinen süreçle şekillenen ve büyüyen küme tipi bulutlardır. Kümülüs ve Kümülonimbus bulutları bu tip bulutlara örnektir.

Atmosferik hareketler üç ölçekte incelenmektedir. Bu ölçekler;

- **Sinoptik Ölçek:** 2000 km'lik yatay ölçeği aşan atmosferik olayları temsil eder.
- **Mezo Ölçek:** 20 km ile 2000 km arasında yatay ölçeğe sahip atmosferik olaylardır.
- **Konvektif Ölçek:** 200 m ile 20 km arasında yatay ölçeğe sahip atmosferik olaylardır.

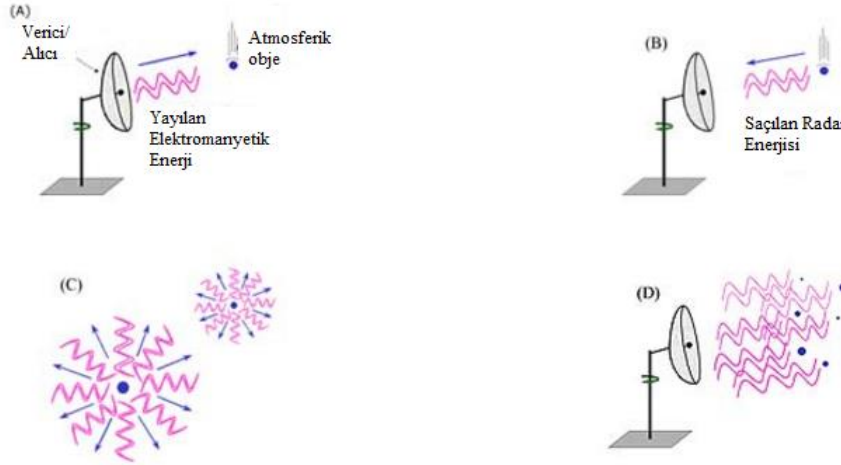
Bu çalışmada, bulut dinamik yapıları incelenirken konvektif ölçekli atmosferik hareketlerin etkilerinin yanı sıra mezo ölçekli atmosferik hareketlerin etkileride göz önünde bulundurulmuştur.

4.2 Radar

"Radar" kelimesi, Radyo Algılama ve Aralığı (Radio Detection and Ranging) adlı sözcüklerden türetilmiş bir kısaltmadır. Radar, atmosferdeki nesnelerin varlığını tespit etmek için radyo dalgalarını kullanan bir uzaktan algılama cihazıdır.

Radar, 2. Dünya Savaşı'ndan kısa bir süre önce tasarlanmıştır. O dönemde, birincil amacı uçakların varlığını tespit etmektir. Günümüzde ise radar geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır; fakat öncelikli amacı yağış ve diğer meteorolojik olayları tespit etmektir.

Radarlar, bir anten tarafından odaklanan ve daha sonra atmosferden iletilen bir elektromanyetik (EM) sinyal oluşturur (Şekil 4.1-A). İletilen EM sinyalin yolundaki nesneler, "hedefler" veya "yankılar" olarak adlandırılır. Hedefler, enerjinin çoğunu saçar; ancak bazıları radara doğru geri yansıtılır (Şekil 4.1-B). Alıcı anten (normalde aynı zamanda verici anten), dağılmış ışıınımı toplar ve bir "alıcı" ya gönderir. Hedef ne kadar büyük olursa geri yansıyan dağınık sinyal de o kadar güçlü olur (Şekil 4.1-C). Ayrıca, daha fazla hedef olması, dönüş sinyalinin daha da güçlendirir, diğer bir deyişle hedefler daha güçlü bir sinyal üretmek için birleşir (Şekil 4.1-D). Radarlar, genellikle "yansıtma" olarak adlandırılan geri gönderilen sinyali ölçer. Bu yansıtma değerlerinin büyüklüğü karşılaşılan hedeflerin sayısı ve boyutu ile ilgilidir (NJA, 2014).



Şekil 4.1 : Genel Olarak Radar Çalışma Prensibi (NJA, 2014).

4.3 Meteoroloji Radarı

1950’li yıllardan itibaren radarlar meteoroloji alanında kullanmaya başlanmış olup, Doppler radar teknolojisine ise 1970’li yıllarda atmosfer bilimleri alanında kullanılmaya başlanmıştır. Doppler radarların meteoroloji alanında kullanılması, bu alanda sayısal verilerin elde edilmesini sağlamış ve radarların kullanım alanını genişlemesine olanak tanımıştır. Radarlar aktif uzaktan algılama sistemleridir. Meteorolojik hadiselerden;

- Şiddetli Yağış
- Sel ve Taşkınlar
- Dolu
- Tornado gibi ülkemizde sıkça görülen afetlerin öngörüsünde etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Meteoroloji radarları kullanılarak, belirlenmek istenilen atmosferik hadisenin tipi, süresi, şiddeti ve konumu gibi önemli bilgiler de elde edilebilir.

Meteoroloji radarları da diğer radarlar gibi genel radar çalışma prensibine dayalı olarak çalışır. Radardan gönderilen elektromanyetik sinyal yağmur zerrecikleri, kar taneleri, dolu gibi hidrometeorlarla temas ettiğinde elektromanyetik saçılmaya maruz kalır. Saçılan bu elektromanyetik dalgalar, radarların hassas alıcıları tarafından algılanıp işlenerek, yazılımlar vasıtasıyla kullanıcıya görsel bir ürün olarak sunulurlar.

Radarların kapsama alanı, ışın geometrileri, dünyanın küreselliği ve hava kütlelerin hız olarak yaklaşık 50 km/saat'lik bir harekete sahip oldukları için Meteoroloji Radarları'nın temel kullanım alanı kısa vadeli hava tahminidir. Hava tahmininin süresi uzadıkça radar anlamlılığını kaybetmektedir. Bu nedenle özellikle ani taşkına neden olan konvektif oluşumların tespiti için oldukça başarılı sonuçlar vermektedirler.

Yağışın doğrudan ölçümü, meteorolojik radarlar aracılığıyla yapılamamaktadır. Radarlar, kapsama alanlarında bulunan seçilmiş bir noktaya düşen toplam ve anlık yağış miktarlarını, ölçülmüş olan reflektivite parametrelerini ampirik bağıntılar aracılığı ile hesaplayabilmektedir. Radarlar, bulundukları yüksekliklere bağlı olarak, belirlenen nokta ve zamanda, rüzgar bileşenlerinin alansal, zamansal ve vektörel analizlerini de gerçekleştirebilmektedir (MGM, t.y.).

Mezo ve konvektif ölçekteki bulutların atmosferik datalarla belirlenmesi oldukça zordur. Mezo ve konvektif ölçekli bulutlar, sinoptik haritalar aracılığı ile belirlenlenemeyecek kadar lokal olabilirler. Bu nedenle, üst atmosfer gözlemleri ile bu bulutların belirlenmesinin en etkili yolu meteoroloji radarlarıdır. Bu ölçekteki bulutların gözlemlenmesi için, özellikle de buluttan düşen yağışın belirlenmesinde meteoroloji radarları iyi bir seçenektir. Radarlar, mezo ölçek kapsamında ve konvektif çözünürlükte yağışın haritalandırılması konusunda kullanılabilir. Bu kullanım alanı bulut sistemlerinin anlaşılması ve analizinde büyük kolaylık sağlamaktadır. Yağışa ek olarak, atmosferik sınır tabakada bazı meteorolojik radarlar yağışa geçmeyen bulut taneciklerini ve yoğunlaşma çekirdeklerini de algılayabilmektedir.

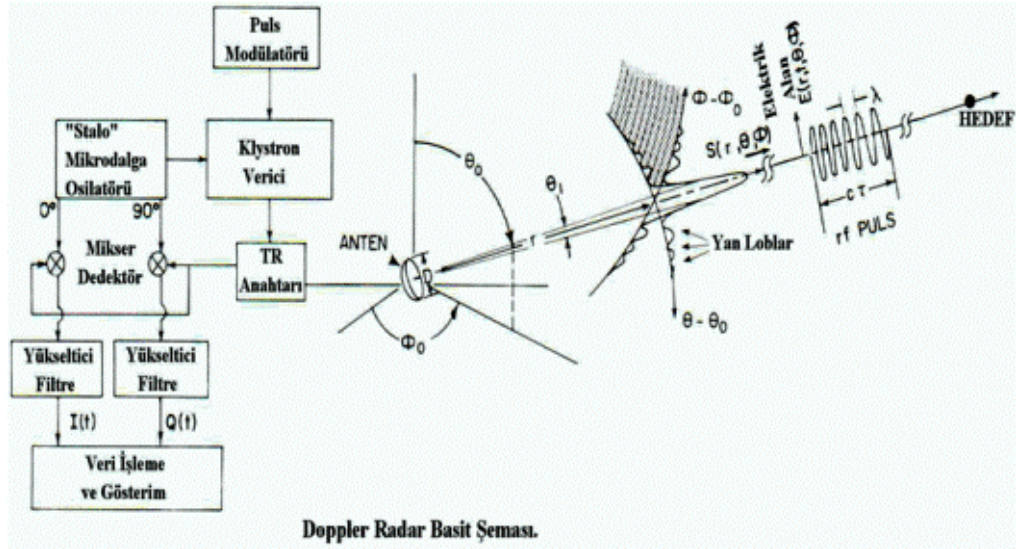
Meteoroloji radarları karaya kurulabildiği gibi, gemilere, uçaklara hatta uzay araçlarına bile kurulabilmektedir. Bu nedenle, yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bulut dinamik yapılarının incelenmesi konusunda, ölçülebilen parametreler ve dolaylı yoldan radarlar aracılığıyla edinilen bilgiler sayesinde bulut fiziği ve dinamiklerinin analizi konusunda önemli bilgiler sağlayabilmektedir (Houze, 1993).

4.3.1 Doppler Radar

Hedeflerin sabit veya hareketleri olması, geri dönen frekanslarda farklılık yaratmaktadır. Doppler Radar'larda bulunan Stabilize Lokal Osilatör (STALO), sabit ve dengelenmiş verici frekansından elektromanyetik dalga üretmektedir. Elde edilen dalgalar, yağmur damlası gibi bir hidrometeora ulaştıktan sonra elektrik ve manyetik alanların zamana bağlı fonksiyonlarıyla eş zamanlı bir moleküler titreşim yayar. Bu

hidrometeor sabit bir noktada (hareketsiz) ise yansıyan frekans, radar frekansı ile aynı titreşimdedir. Ancak bir V hızı ile hareket halinde ise, frekansında V/λ kadar bir değişim meydana gelir. Algılanan hedefin hızından kaynaklanan frekans değişimi “Doppler Değişimi” olarak adlandırılabilir.

Doppler Radar’lar, klasik radarlardan farklı olarak, yalnızca meteorolojik hedefin konumu değil buna ek olarak uzaktan algılama cihazına olan uzaklığındaki değişimlerini de (yaklaşıp – uzaklaşma) belirleyebilir. Doppler Radar’lar, anlık olarak tarama çapındaki yağış miktarı, rüzgâr hızları gibi önemli meteorolojik parametrelere gerçek zamanlı olarak ölçebilir. Buna ek olarak, algılanan eko yoğunluğunda kısa süreli hava tahmini konusunda kullanılabilir. Basit Doppler Radar şeması Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 : Doppler Radar Şeması (MGM, t.y.).

Klasik tip meteoroloji radarlarında, yalnızca parlaklıklar elde edilmektedir. Buna bağlı olarak yalnızca yoğunluk seviyeleri tespit edilebilir; ancak Doppler Radar’lar aracılığı ile edilen bilgilerin bilgisayarlar yardımıyla hedefin konumu ve algılanan eko miktarı renkli olarak bilgisayar ekranına aktarılabilir. Doppler Radar’lar tarafından sağlanan bu avantaj yağış sistemlerinin belirlenmesi ve analizlerinde tahminciye kolaylık sağlamaktadır (MGM, t.y.).

4.3.1.1 Doppler Radar parametreleri

Radarlar aracılığı ile birçok fiziksel parametreye ulaşılabilir. Bu parametrelerin meteorolojik anlamda kullanımları ise hadise hakkında önemli bilgiler vermektedir.

Meteorolojik alanda radarlar aracılığıyla elde edilen temel parametreler;

- **V = Hız (m/sn):** Hedefin (Hava kütleleri ve hadiselerin) hızı ve doğrultusu
- **W = Spektral Genişlik (m/sn):** Spektral genişlik, bir radar pikseli içindeki hacmi temsil eder. Bu hacimdeki hız dağılımının standart sapması olarak tanımlanabilir.
- **Z = Reflektivite Faktörü (dBZ):** Reflektivite faktörü, hedeften radara dönen güç miktarıdır. “Eko” terimi ise uçak, kuş, böcek, kar, dolu ya da yağmur gibi hedeflerden geri dönen sinyali ifade eder. Reflektivite faktörü, alınan güç (P_r), hedefin radara olan uzaklığı (R), Radar sabiti (C) aracılığı ile Denklem 3.1’de verilen deneysel yöntemle hesaplanır. Çeşitli eko kaynaklarının karşılık geldiği radar reflektivite faktör değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

$$\text{Reflectivite Faktörü (Z)} = 10 \log(P_r) + 20 \log(R) + 10 \log(C) \quad (4.1)$$

Çizelge 4.1 : Çeşitli Eko Kaynaklarının Karşılık Gelen Radar Reflektivite Faktörü Değerleri (Eminoğlu, S. v.d., 2015).

Hadisenin Cinsi	Eko Değeri
Yağış Bırakmayan Bulutlar	< 0 dBZ
Buz Parçacıkları İçeren Bulutlar	20 dBZ’ye kadar
Çisenti	0 - 20 dBZ
Hafif Yağmur	10 - 30 dBZ
Şiddetli Yağmur – Hafif Sağanak	30 - 45 dBZ
Dolu	Donma seviyesi üzerinde $\text{dBZ} \geq 45$ Eğer $\text{dBZ} \geq 55$ ise tüm yüksekliklerde mümkün
Kar	35 dBZ’ye kadar
Duman – Toz – Böcek (Yerden 2 km yüksekliğe kadar)	10 dBZ’ye kadar
Clutter (Yeryüzünden, binalardan, ağaçlardan, su yüzeylerinden v.b. olan istenmeyen ekolar)	Filtrasyon yapılmadığında 80 dBZ’ye kadar
Kuşlar	20 dBZ’ye kadar

- **R = Yağış Oranı (mm/saat):** Radarlar, radar reflektivite faktörüne dayalı olarak, yağışı dolaylı yoldan ölçerler. Bu yöntemde deneysel bağıntılar kullanılır (Denklem 3.2). En genel kullanılan bağıntı Z-R eşitliğidir.

$$Z = A R^b \quad (4.2)$$

Hala en yaygın kullanım alanına sahip katsayılar Marshall ve Palmer tarafından 1948 yılında geliştirilen $A=200$, $b=1.6$ katsayılarıdır (Marshall ve Palmer, 1948).

Marshall – Palmer eşitliği (Denklem 4.3);

$$Z = 200 R^{1.6} \text{ şeklindedir.} \quad (4.3)$$

Literatürde tavsiye edilen Z-R ilişkileri (Denklem 4.4 – 4.7);

$$\text{Stratiform tipi yağış} : Z = 200 R^{1.6} \quad (4.4)$$

$$\text{Orografik yağış} : Z = 31 R^{1.71} \quad (4.5)$$

$$\text{Fırtına} : Z = 286 R^{1.37} \quad (4.6)$$

$$\text{Kar} : Z = 2000 R^2 \text{ şeklindedir.} \quad (4.7)$$

Radar reflektivite değerine karşılık gelen yağış miktarları Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Radar Reflektivite Değeri - Yağış Şiddeti İlişkisi (Eminoğlu ve diğ, 2015).

dBZ	< 30	30-40	40-45	45-50	50-57	> 57
Yağış Şiddeti	Hafif	Orta	Kuvvetli	Çok kuvvetli	Şiddetli	Aşırı

D = Diferansiyel Reflektivite Z_{DR} (dB): Hedeften yansıyan elektromanyetik dalganın yatay ve dikey yansıtma değerlerinin oranı olarak tanımlanabilir. Radarlarda difreansiyel reflektivite değerini hesaplanması için kullanılan deneysel formül (Denklem 4.8);

$$Z_{DR} = 10 \log_{10}(Z_h / Z_v) \text{ şeklindedir.} \quad (4.8)$$

Diferansiyel reflektivite değerleri yağmur ve dolu taneciklerinin birbirinden ayrılması ve damla çapı belirlemelerinde kullanılır. Yatay ve dikey yansıtma değerleri birbirine yakınsa yani algılanan parçacık ne kadar küre şekline yakın ise bu değerde o kadar 0’a yakın olur (Eminoğlu ve diğ, 2015).

Diferansiyel Reflektivite değerleri - yağış tipi ilişkisi Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Diferansiyel Reflektivite Değeri - Yağış İlişkisi (Eminoğlu ve diğ, 2015).

Hedef	Çiğenti	Yağmur	Kar,Graupel	Dolu
Z _{DR} (dB)	0	0.5 – 4	(-1) – (+1)	~0

4.3.1.2 Doppler Radar ürünleri

Meteorolojik amaçlarla kullanılan standart Doppler Radar ürünleri;

Plan Position Indicator (PPI)

PPI ürünleri, temel olarak uzun menzilli atmosferik gözlemlerde kullanılan radar ürünleridir. Seçilen sabit bir yükseklikte (sabit yükseklik açısı), azimut açısını değiştirilerek elde edilir. Radar 360 derece dönerse, tarama "gözlem taraması" olarak adlandırılır. Radar 360 dereceden daha az bir sürede dönerse, tarama "sektör taraması" olarak adlandırılmaktadır.

Range Height Indicator (RHI)

Azimut açısı sabit tutularak, yükseklik açısı değiştirilir. RHI ölçümler sonucu elde edilen ürünlerde, bulutların düşey kesitinin belirlenmesi ve şiddetli fırtınalar için oldukça faydalıdır. Bulut fiziği çalışmalarında kullanılmak üzere RHI ölçümlerden elde edilen bilgiler yağış artışının tespitinde kullanılır.

Maximum Display (Max)

Max ürünlerinde, gözlemlenen alanın her bir noktasının üstündeki bir değişkenin maksimum değerleri gösterilmektedir. Bulut yüksekliği, bulut yoğunlaşma çekirdeği miktarı ve şiddetli hava olayları ile ilgili detaylı bilgi edinmek amacıyla, radar anteninin iki seviye arasında yaptığı hacimsel taramalar incelenmelidir.

Constant Altitude PPI (CAPPI)

Radar anteninin bir yükseklik açısından bir diğerine kadar belirlenen azimut açısı artışlarıyla ve PPI taramalarıyla hedefe gönderilerek elde edilen görüntü elektromanyetik dalgadır. Şiddetli fırtınaların belirlenmesi ve havacılıkta uçuş seviyelerinde ki hava durumunun belirlenmesi için kullanılabilir.

Surface Rainfall Intensity (SRI)

Yer seviyesi yağış yoğunluğu (SRI), her bir pikselin yağış şiddetinin temsilidir. Polar hacimsel veri setleri ve deneysel Z-R bağıntısı yardımı ile yansıtma değerlerine bağlı olarak yağış hesabı yapılmaktadır. Atmosferin herhangi bir katmanı için; şiddetli fırtınaların yoğunluğunun bir göstergesi olarak da kullanılabilir (WMO, 2010; MGM, t.y.).

4.3.1.3 Radar bantları

Meteorolojik uygulamalarda, gözlemler için en sık kullanılan radar bantları Çizelge 4.4’de görülen elektromanyetik spektrumda yer alan radar bantlarıdır.

Çizelge 4.4 : Meteorolojik Amaçlarla Kullanılan Radar Bantları (WMO, 2010).

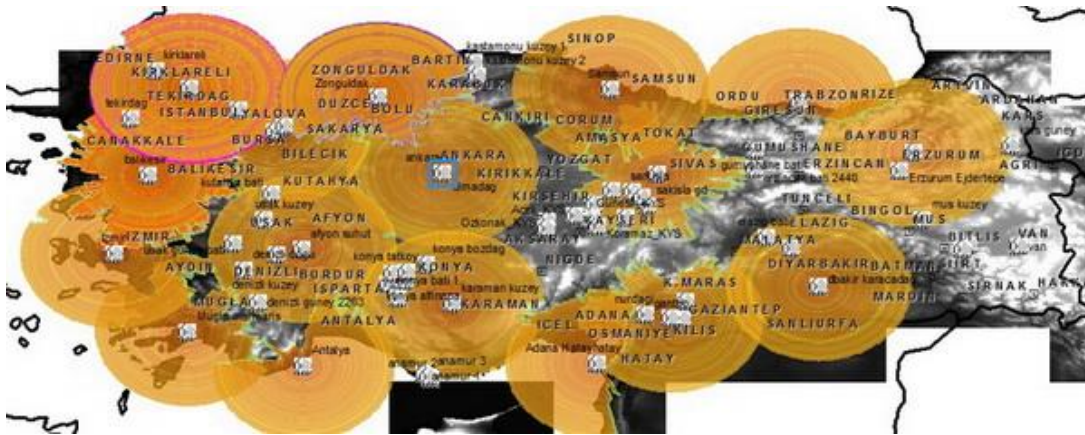
Radar Bandı	Frekans	Dalgaboyu	Kullanım Alanı
L	1 - 2 GHz	15 – 30 cm	Açık Hava Türbülansı (CAT)
S	2 - 4 GHz	8 – 15 cm	Uzun menzilli hava olayları
C	4 - 8 GHz	4 – 8 cm	Rüzgar - Yağış
X	8 - 12 GHz	4 – 2.5 cm	Kısa vadeli gözlemler ve bulut oluşumları
K	18 - 27 GHz	1.7 – 1.2 cm	Kısa vadeli gözlemler ve bulut oluşumları (X bandından daha hassas)

4.3.2 Meteoroloji Genel Müdürlüğü radar şebekesi

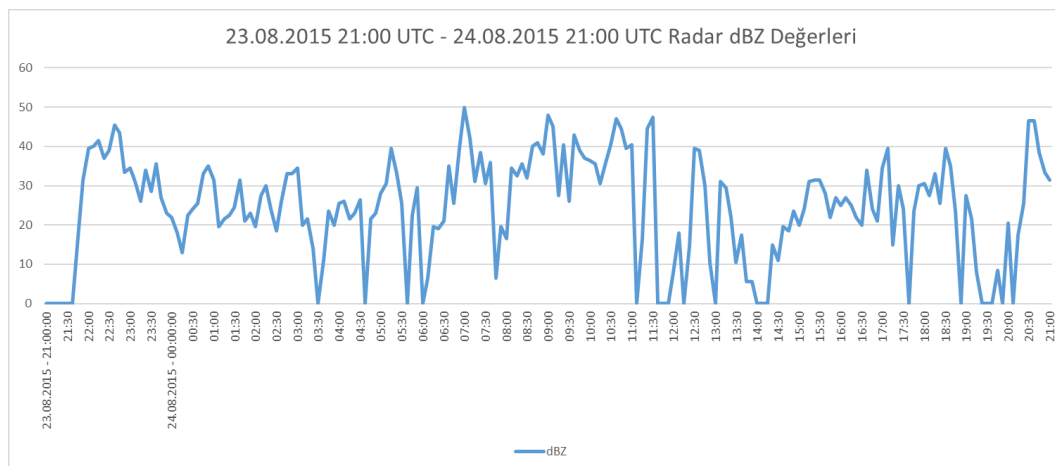
2000 yılında Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından, Elmadağ’da faaliyete giren ilk meteoroloji radarı, kısa vadeli hava tahmini ve erken uyarı amacıyla kurulmuştur. Akabinde hizmete açılan diğer radarlar ise, 1999 yılında Dünya Bankası’nın finanse ettiği TEFER (Türkiy Acil Sel ve Deprem İyileştirme Projesi) ile 2003 yılında açılan İstanbul, Balıkesir ve Zonguldak radarlarıdır. Bunları takiben 2007 yılında bir diğer proje ile Ege, Akdeniz, Doğu Karadeniz Bölgeleri’nde İzmir, Muğla, Antalya, Adana, Samsun ve Trabzon’da C-band radar hizmete sunulmuştur.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün 2014 yılında Atatürk Havalimanı’nda X-band dual-polarize radar kullanıma sunulması ve 2016 yılına kadar olan diğer radarlarında faaliyete girmesi ile birlikte hali hazırda 11 radar bulunmakta, 2017 sonunda ise 18 radar olacaktır. Kullanıma açılan radarların kapsama alanları tarama modunda 370, doppler modda ise 120 km yarıçapını bulmaktadır. Her bir radarın tam tarayış süresi 8 dakika olmakla birlikte uzaysal çözünürlüğü 125 metredir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan bilgiye göre aktif halde bulunan radarlara ek olarak yeni radarlar kullanıma sunulacak ve radar sayısında artış olacaktır. Şekil 4.3’de görülebileceği gibi, planlanan ve hali hazırda kullanılan radar kapsama alanları verilmiştir (MGM, t.y.).



Şekil 4.3'den görüldüğü gibi Artvin İli – Hopa bölgesi Doppler mod radar kapsama alanına girmemektedir. Bu bölgeye en yakın kullanımda olan radar Trabzon meteoroloji radarıdır. Trabzon meteoroloji radarının bölgeye olan uzaklığı yaklaşık 160 km'dir. Ancak Doppler mod taramalar için menzil 120 km olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle bu bölge için Doppler radar ürünleri bulunmamaktadır. Trabzon meteoroloji radarından tarama modunda elde edilen dBZ değerleri Şekil 4.4'de verilmiştir.

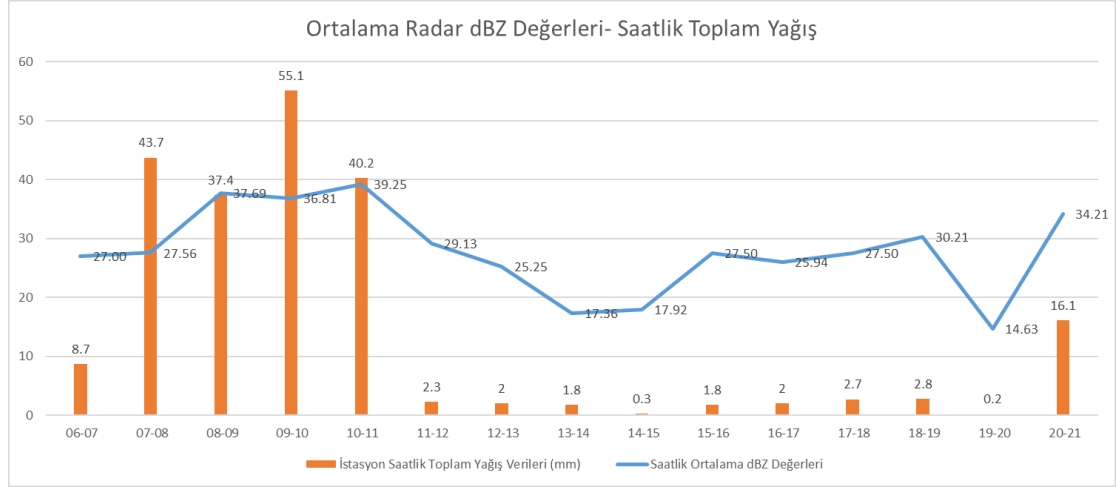


Şekil 4.4 : Afet Bölgesinde Ölçülen Reflektivite (dBZ) Değerlerinin Zamanla Değişimi.

Hopa’ da taşkına neden olan etkin yağışın 24 Ağustos 2015 tarihinde sabah saatlerinde etkili olmasına rağmen, 23 Ağustos gecesinden itibaren konvektif bulutların oluşmaya başladığı ve yüksek dBZ değerlerinin ölçüldüğü dikkat çekmektedir.

Saatlik toplam yağış değerleri ile noktasal olarak (41,40 K ve 41,43 D) C-band Trabzon meteoroloji radarından tarama modda elde edilen dBZ değerlerinin

ilişkilendirilebilmesi için dBZ değerlerinin saatlik ortalama değerleri alınmış ve yağış ile olan ilişkisi Şekil 4.5’de verilmiştir.



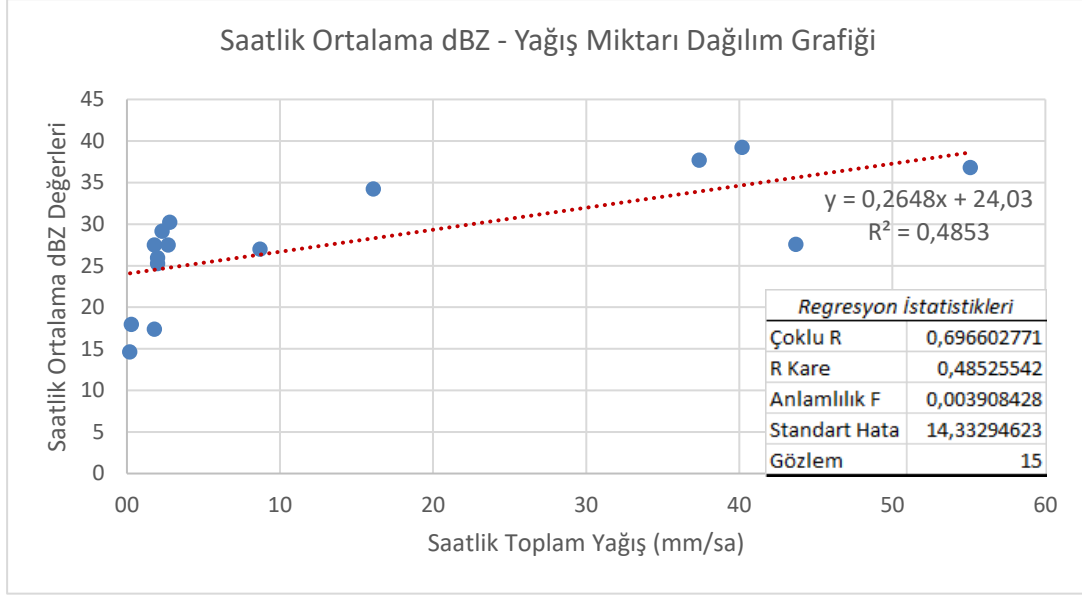
Şekil 4.5 : Reflektivite Değerleri - Ölçülen Yağış Miktarı İlişkisi.

Meteoroloji alanında Doppler Radar’ları kullanılmaya başlandıktan sonra, tarama modunda elde edilen reflektivite (dBZ) değerleri ile yağış tahmini yerini Doppler Radar ürünlerine bırakmıştır. Bu yaklaşım kümülför bulutlar için hala iyi bir yaklaşım olmasına rağmen, stratiform bulutlar için ölçülen yağış miktarlarına göre 2 kata kadar hatalar yapılabilmektedir.

Hopa’nın Trabzon radarına olan uzaklığının ortalama olarak 160 km olması nedeniyle Doppler Radar ürünleri kullanılamamaktadır. Bu nedenle, tarama mod radar verilerinden elde edilen reflektivite değerleri doğrudan yağış miktarı hakkında bilgi vermese de Şekil 4.5’den anlaşılabileceği gibi kümülför bulutlar için reflektivite değerleri yağış miktarı hakkında iyi bir öngörü sağlayabilir.

24 Ağustos 2015 tarihinde sabah saatlerinde yağışın maksimuma ulaştığı, bu saatlerde ölçülen saatlik ortalama reflektivite değerleri 38 – 55 dBZ arasında olduğu görülmektedir. Bu değerler Çizelge 8’den görüleceği gibi Şiddetli/Aşırı yağış skalasına denk gelmektedir. 24 Ağustos 2015 06 UTC – 21 UTC arasında yağış miktarı – radar dBZ ilişkisi incelendiğinde yağış miktarı ve dBZ değerleri arasında birebir ilişki görülmesede, yağış miktarına bağlı olarak ölçülen dBZ değerlerinin yükseldiği ve yağış miktarı ile uygun bir dağılım sergilediği görülmektedir.

Yağış miktarı ve reflektivite değerlerinin anlamlılıklarının belirlenebilmesi için Şekil 4.6’da saatlik ortalama dBZ değerleri ve saatlik toplam yağış ilişkisini veren dağılım grafiği ve regresyon istatistikleri verilmiştir.



Şekil 4.6 : Saatlik Ortalama dBZ - Yağış Miktarı Dağılım Grafiği.

ANOVA anlamlılık testine göre yağış miktarı ve reflektivite değerlerinin dağılım grafiği istatistiksel olarak anlamlıdır (<0.05). Şekil 4.6’da verilen dağılım grafiğine göre 24 Ağustos 2015 tarihinde 06 - 21 UTC arasında yağış verilerinin hatasız olduğu kabulü ile saatlik toplam yağış miktarı ile ölçülen dBZ değerlerinin yaklaşık %70’lik korelasyona sahip olduğu ve ölçülen dBZ değerlerinin %48.5’lik bölümünün yağış miktarı ile açıklanabildiği söylenebilir. Yağış miktarı ve dBZ değerleri arasındaki bu ilişkinin noktasal dBZ değerleri kullanılması göz önünde bulundurulduğunda iyi sayılabilecek bir ilişkidir.

4.4 Uydu

Uydular, bir gezegen veya yıldızın yörüngesinde dönen cisimler olarak tanımlanabilir. Uydular doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ay doğal uydulara örnek olmakla birlikte; hava durumu, kasırga tahmini gibi etmenlerin incelenmesi için insanlar tarafından gönderilen uydular ise yapay uydulara örnektir. Günümüzde Dünya yörüngesinde insan yapımı 1000’e yakın uydu sistemi bulunmaktadır. Uydular kullanım amaçlarına göre altıya ayrılmaktadır. Bunlar; askeri amaçlı uydu sistemleri, haberleşme amaçlı uydu sistemleri, meteorolojik amaçlı uydu sistemleri, navigasyon amaçlı uydu sistemleri, yeryüzü gözlem amaçlı uydu sistemleri ve uzay araştırma uydu sistemleridir (NASA, 2015).

4.4.1 Meteorolojik amaçlı uydular

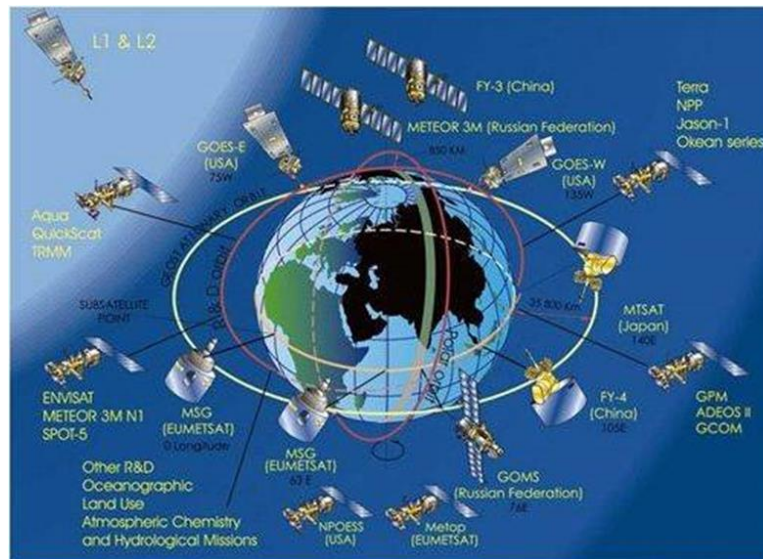
Meteoroloji uydusu, hava olaylarını küresel bağlamda incelemeye olanak sağlayan uzaktan algılama cihazlarıdır. Yörüngelerinde ki hareketleri esnasında, kaydettikleri verileri bağlı bulundukları istasyonlara iletmektedirler ve bu sayede yer gözlem istasyonu kurulumu sağlanamayan yerlerdeki bilgilere erişim sağlanmaktadır.

Meteorolojik uydular yörüngelerine bağlı olarak,

- Sabit yörüngeli
- Kutupsal yörüngeli

olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. (MGM, t.y.)

Meteorolojik uydular, insan gözlemlerinin yetersiz olduğu durumlarda, bulutların şekil, boyut ve türlerinin gözlemlenmesinde geniş bir bakış açısı sağlanmaktadır. Özellikle yağış bırakan bulut türlerinin karakter ve dinamik yapısının anlaşılmasında büyük önem arz etmektedirler. Aşırı yağışa neden olan bulutlar, genellikle mezo ölçekte sistemlerdir. Bu sistemler, genellikle bir kaç bulut tipinin karışımı şeklinde meydana gelmektedir. Bu nedenle bulut sistemleri olarak adlandırılırlar. Uydular genellikle mezo ölçekli konvektif bulut sistemlerinin, kasırgaların ve orta enlem tropikal siklonlarının analizleri için kullanılsa da, Hopa’da meydana gelen yağış gibi, lokal yağışların analizi konusunda da önemli bilgiler vermektedir (Houze, 1993). Şekil 4.7’de Avrupa, Amerika, Asya ülkeleri ve Rusya’nın uzaya göndermiş olduğu sabit ve kutupsal yörüngeli meteorolojik amaçlı uydular verilmiştir.



Şekil 4.7 : Avrupa, Amerika, Asya Ülkeleri ve Rusya'nın Uzaya Göndermiş Olduğu Sabit Ve Kutupsal Yörüngeli Meteorolojik Amaçlı Uydular (MGM, t.y.).

Çalışmada kullanılan Meteosat uyduları, sabit yörüngeli uydular olarak adlandırılan, yeryüzünden yaklaşık 36000 km yükseklikte Ekvator düzlemindeki uydulardır. Dönme periyotları Dünya'ninkine eşit olmakla birlikte tüm Dünya'nın yaklaşık yarısını kapsayabilmektedir. İngilizce açılımı Meteorological Satellite olarak bilinen Meteosat uydulardır.

Meteosat uyduları, üç nesil uydu programından oluşmaktadır. Bu uydular; I. Nesil Uydu Programı (Meteosat First Generation-MFG), II. Nesil Uydu Programı (Meteosat Second Generation-MSG) ve III. Nesil Uydu Programı (Meteosat Third Generation-MTG)'dır. Meteosat Second Generation uyduları, dört uydu ve yer hizmetlerinden oluşmakla birlikte, planlanan gözlem süresi 2022 yılına uzanmaktadır (MGM, t.y.).

4.4.2 Meteosat Second Generation (MSG)

Teknolojik ilerlemeler ve hava tahmini biliminin karmaşıklığı, uzaydan daha sık, daha doğru ve yüksek çözünürlüklü gözlemlere yönelik bir talep yaratmıştır. Bu talebin karşılanması için Meteosat'ın dört uydusundan biri olan Meteosat Second Generation (MSG), 28 Ağustos 2002 tarihinde uzaya fırlatılmıştır.

2. Nesil bu uydu, ilk nesile göre 20 kat daha fazla bilgi iletebilmektedir. Geliştirilmiş çözünürlüğü ve frekansı ile kısa ve orta ölçekli hava tahminlerinin doğruluğuna önemli katkıları bulunmaktadır. 2004'den beri Dünya'nın tüm görüntüsünü her 15 dakikada bir, 12 ayrı bantta verebilmektedir (Schipper ve Nietosvaara, 2012).

Meteosat II. Nesil Uydu Programı (MSG), Meteosat-8, Meteosat-9, Meteosat-10 ve Meteosat-11 uydularından oluşmaktadır. İleri teknolojiye sahip olan MSG uyduları, yüksek zamansal ve alansal çözünürlüklü olması dolayısıyla, hava tahmini konusunda daha net bilgi vermektedir. Son olarak Meteosat 10 olarak da bilinen MSG 3 uydusu 2012 yılında EUMETSAT tarafından uzaya gönderilmiş ve 2022 yılına kadar operasyonel süresi belirlenmiştir (MGM, t.y.).

4.4.2.1 MSG – Seviri ekipmanı

2. Nesil Meteosat uydularında temel araç olarak SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) radyometresi kullanılmaktadır. Bu görüntüleyici radyometre yer yüzünü ve atmosferi görünür ve kızılötesi spektrumda taramaktadır. Üç aynalı teleskop kullanılarak her 15 dakikada bir olmak üzere görüntüler üretilir. Gelen radyasyonu

algılayan dedektör 12 ayrı kanala sahiptir. Dalga boyuna bağlı olarak her kanal farklı tipte bilgi edinilmek için kullanılır.

SEVIRI Ekipmanı kanalları özet olarak Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Meteosat-8, Meteosat-9, Meteosat-10 SEVIRI Spektrum Kanalları (MGM, t.y.).

Kanal Numarası	Kanal	Nominal Merkez Dalga boyu (µm)	Nominal Spektral Dalga boyu (µm)	Kullanım Alanları
1	VIS0.6	0.635	0.56 – 0.71	Yer, Bulutlar, Rüzgâr Alanları
2	VIS0.8	0.81	0.74 – 0.88	Yer, Bulutlar, Rüzgâr Alanları
3	NIR1.6	1.64	1.50 – 1.78	Yer, Bulut Safhaları
4	IR3.9	3.90	3.48 – 4.36	Yer, Bulutlar, Rüzgâr Alanları
5	WV6.2	6.25	5.35 – 7.15	Su buharı, Yüksek Bulutlar, Atmosferik Kararsızlık
6	WV7.3	7.35	6.85 – 7.85	Su Buharı, Atmosferik Kararsızlık
7	IR8.7	8.70	8.30 – 9.10	Yer, Bulutlar, Atmosferik Kararsızlık
8	IR9.7	9.66	9.38 – 9.94	Ozon
9	IR10.8	10.80	9.80 – 11.80	Yer, Bulutlar, Rüzgâr Alanları, Atmosferik Kararsızlık
10	IR12.0	12.00	11.00 – 13.00	Yer, Bulutlar, Atmosferik Kararsızlık
11	IR13.4	13.40	12.40 – 14.40	Cirrüs Bulut Yüksekliği, Atmosferik Kararsızlık
12	HRV	0.4-1.1	0.5 – 0.9	Yer, Bulutlar, 1 km Çözünürlük

Bu bantlar ve özellikleri;

- **Kanal 01 (VIS0.6):** Bu kanalda 0.6 mikrometre dalga boyunda algılama yapılır. Genellikle kalın bulutlar (beyaz) ve ince bulutların (gri) ayrımının yapılması için kullanılır. Özellikle kış mevsiminde kar kaplı yüzeylerin yüksek albedosu nedeniyle bu bölgelerde kar-bulut ayrımının iyi yapılması gerekir.

- **Kanal 02 (VIS0.8):** Bu kanalda 0.8 mikrometre dalga boyunda algılama yapılır. VIS0.6 bandıyla arasında küçük bir fark bulunmaktadır. Bu fark bitki örtüsü bu bantta daha yüksek yansıtma değerlerine sahiptir. Bu nedenle bitki örtüsü farkı daha kolay anlaşılır.

- **Kanal 03 (NIR1.6):** Bu kanalda yakın infrared 1.6 mikrometre dalga boyunda algılama yapılır. Bu kanalın en önemli özelliği su – buz bulutlarının kolayca ayırt edilebilmesidir. Buz bulutları bu kanalda gri olarak görünür (%30 – 40 yansıtma). Su bulutları ise yüksek yansıtma değerlerine sahiptir. Bu nedenle daha beyaz görünür. Kar örtüsü bu bantta koyu gri olarak görünür. Bu kanalda konvektif başlangıçlar kolaylıkla algılanabilir.

- **Kanal 04 (IR3.9):** Bu kanalda infrared 3.9 mikrometre dalga boyunda algılama yapılır. Hem solar (gün boyunca) hem de termal (gece, gündüz) sensörler ile gözlemler yapılır. Atmosferik optik derinlik ve alçak seviye bulutlarının algılanmasında oldukça başarılıdır. Alçak seviye bulutları gri renkte görünür. Cephesel bulutlar siyah olarak görülür. Buna ek olarak yangınların tespitinde de bu kanal kullanılır.

- **Kanal 05 (WV6.2):** Bu kanalda 6.2 mikrometre dalga boyunda algılama yapılır. Genellikle Troposferin tepesine kadar ulaşan bulutların belirlenmesinde kullanılır. Yüksek seviye su buharı (WV) parlak renklerde, kuru alanlar ise koyu renklerde görülür.

- **Kanal 06 (WV7.3):** Bu kanalda 7.3 mikrometre dalga boyunda algılama yapılır. Bir diğer su buharı algılanan kanaldır. WV6.2 kanalı ile kıyaslandığında alt troposfere kadar algılama yapılabildiği için, daha detaylı bir yapıyı yansıtır.

- **Kanal 07 (IR8.7):** Bu kanalda 8.7 mikrometre dalga boyunda algılama yapılır. Toz ve kükürtoksit bulutlarının algılanmasında oldukça başarılıdır. Temel kullanım alanı ince buz bulutlarının belirlenmesidir.

- **Kanal 08 (IR9.7):** Bu kanalda 9.7 mikrometre dalga boyunda algılama yapılır. Bu bant ozon absorpsiyon bandıdır. Bu nedenle siklojenlerin stratosferik havayı dışarı çıkardığı bölgeler kolaylıkla gözlemlenebilir. Ayrıca hava kütlelerinin ayrımlarının yapılması içinde kullanılır. Örneğin; alt tropopozda polar hava kütleleri ozon bakımından zengindir. Bu hava parsellerinin bu bantta belirlenmesi oldukça kolaydır.

- **Kanal 09 (IR10.8):** Bu kanalda 10.8 mikrometre dalga boyunda algılama yapılır. Tüm seviyelerdeki bulut çeşitleri geniş bir sıcaklık skalasında gözlemlenebilir. Ayrıca konvektif hücrelerin belirlenmesinde oldukça yararlıdır.

- **Kanal 10 (IR12.0):** Bu kanalda 12.0 mikrometre dalga boyunda algılama yapılır. Görüntü olarak IR10.8 bandı ile arasında çok küçük parlaklık farkları bulunmaktadır. Bu fark optik derinliği ifade eder. Solar kanallarda gözlemlenemeyen çok ince bulutların gözlemlenmesine olanak sağlar.

- **Kanal 11 (IR13.4):** Bu kanalda 13.4 mikrometre dalga boyunda algılama yapılır. Önemli bir CO₂ absorpsiyon bandıdır. Bu kanalı, orta-troposferik sıcaklık hakkında bilgi veridiği için sayısal uygulamalar için kullanılmaktadır. Bu bant geçirgen bulutların bulut tepe yüksekliği ve hava kütlelerinin kararsızlığı hakkında bilgiler verir.

- **Kanal 12 (HRV):** Bu kanalda 0.4 mikrometre ile 1.1 mikrometre arasında yüksek çözünürlükte (1-3 km) görüntüler elde edilir. Küçük ölçekli hareketler, konvektif hücrelerin tepeleri ve adveksiyon sisinin belirlenmesinde oldukça başarılıdır (Schipper ve Nietosvaara, 2012).

4.4.3 RGB (Kırmızı-Yeşil-Mavi) görselleştirme tekniği

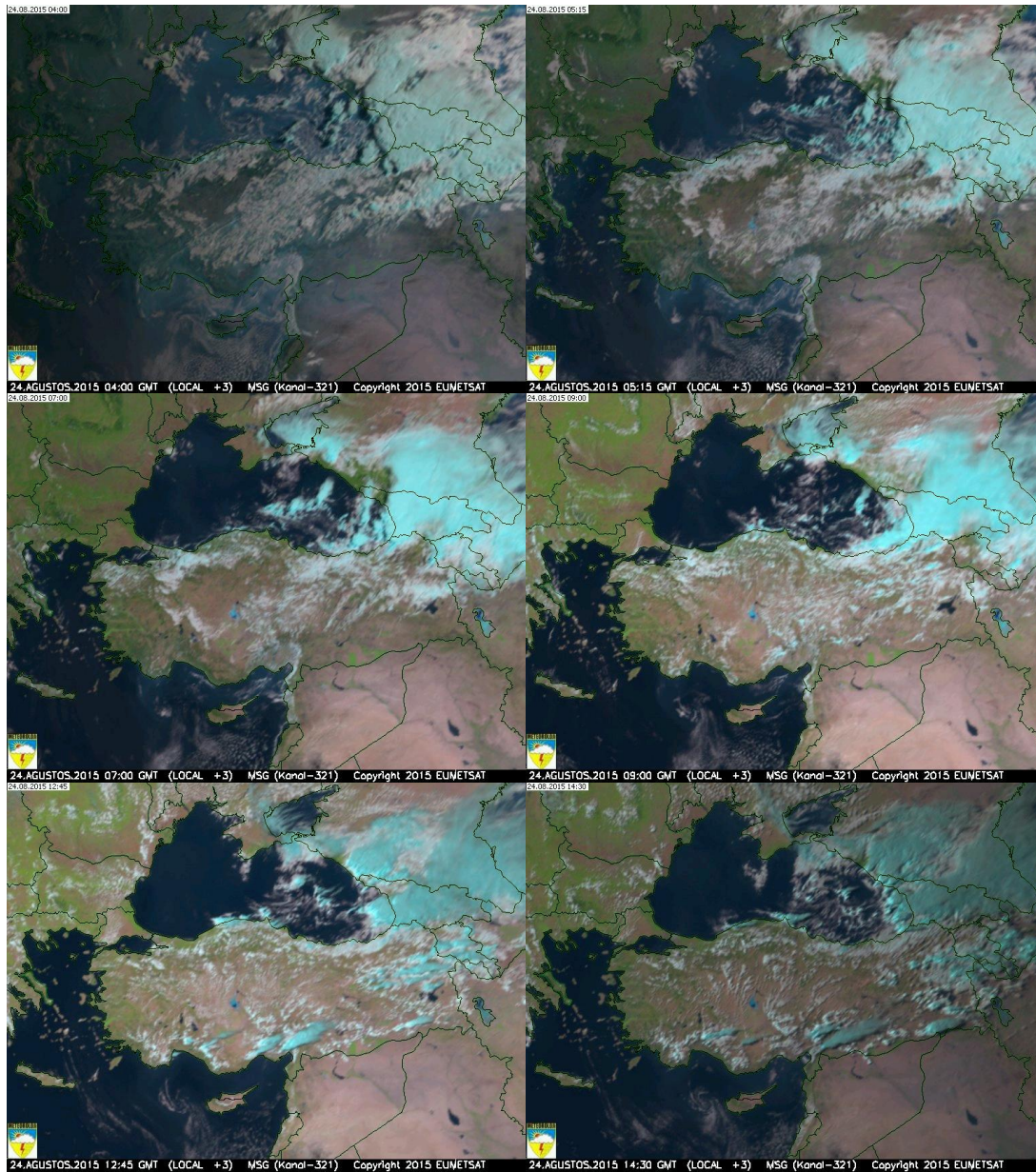
I. Nesil Meteosat uydularına göre, II. Nesil Meteosat uydularından elde edilen 20 kat fazla bilginin kullanıcılar tarafından anlaşılabilmesi ve sayısal analizinin kolaylıkla yapılabilmesi için Red-Green-Blue (RGB) görselleştirme tekniği geliştirilmiştir. RGB görüntüler 12 ayrı bantta algılanan fiziksel parametreleri, renklendirilmiş ve kombine edilmiş şekilde verebilmektedir.

Sis, kar, atmosferik tozlar, kükürtdioksit (SO₂) butları, konvektif sistemlerdeki şiddetli yükselici hareketler, potansiyel vortisi (PV) anomalileri gibi atmosferik hadiselerin belirlenmesi ve yorumlanmasında bu görselleştirme tekniği oldukça yararlıdır.

Hava tahmini uygulamalarında farklı kanallardan elde edilen görüntülerin birbiri ile mukayese edilmesi konusunda kullanılır; fakat farklı kanallardan elde edilen ve aralarında çok az fark bulunan siyah – beyaz görüntüler birbirleri ile karşılaştırılırken gözle ayırt etmek zor olabilir. Bu farkı daha görünür kılabilmek için parlak kırmızı, yeşil ve mavi renkler kullanılarak görüntüler oluşturulur (Schipper ve Nietosvaara, 2012).

4.4.3.1 Natural Colour RGB

Natural Colour RGB görüntüler su bulutlarını buz bulutlarından ve kar örtüsünden ayırma konusunda kullanıcıya büyük kolaylık sağlar. Genellikle beraber kullanılan bantlar; NIR1.6 – VIS0.8 –VIS0.6’dır. Su bulutlarında küçük damlacıkların yansıtma değerleri bu üç kanalda da yüksek olduğundan beyazımsı görünür. Kar örtüsü ve buz bulutları NIR1.6 bandında yüksek absorbsyona sahiptir. Bu nedenle kar örtüsü ve buz cam göbeği rengindedir. Bu yöntem ile bitki örtüsü, denizler ve karalarda birbirinden kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Bunlara ek olarak bulut mikrofiziği hakkında da önemli bilgilerin ayrımı konusunda kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır (Schipper ve Nietosvaara, 2012).



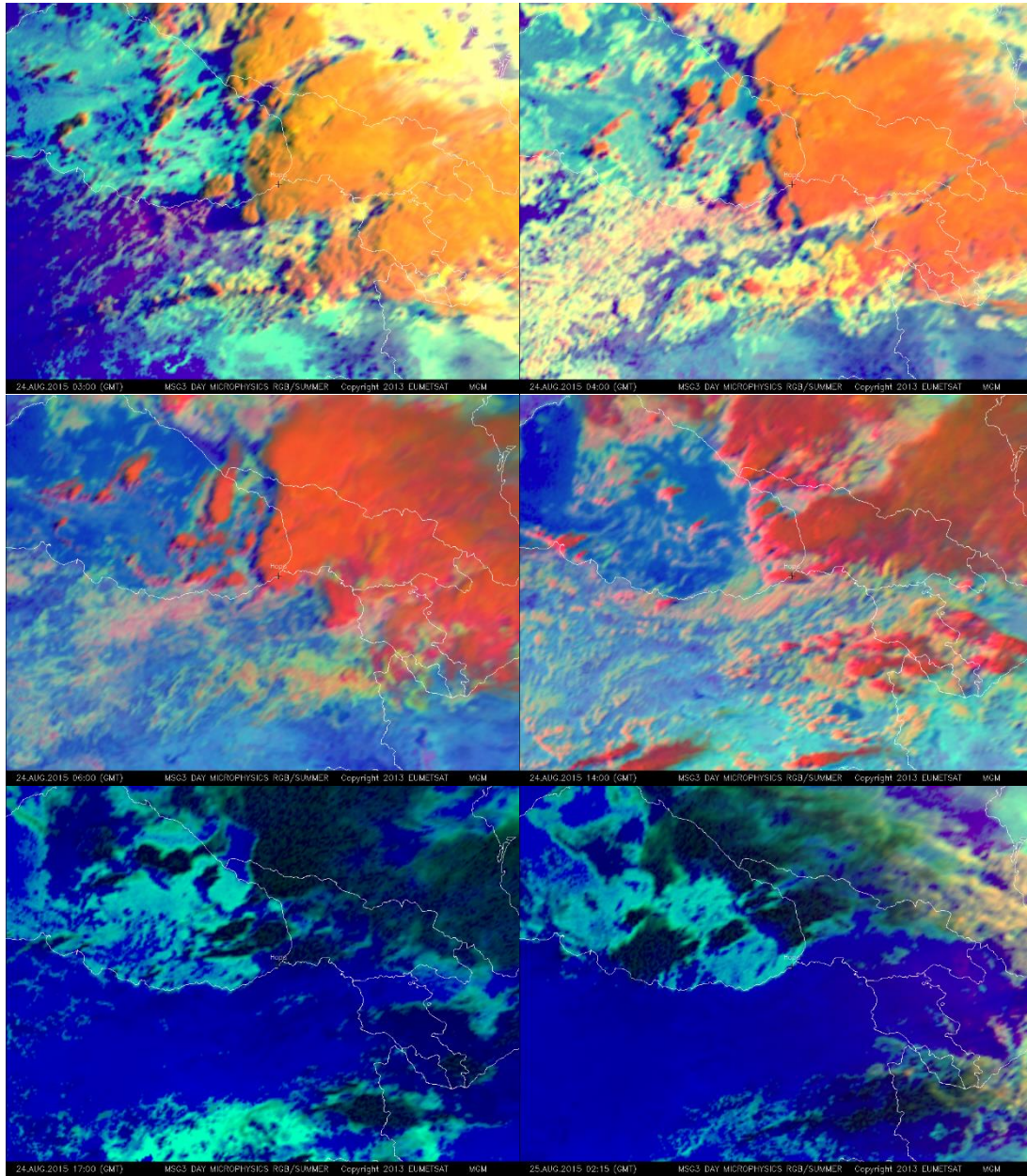
Şekil 4.8 : 24 Ağustos 2015 Tarihli Natural Colour RGB Görüntüleri.

Hopa'ya ait Natural Colour RGB görüntüler incelendiğinde; Hopa üzerinde gün ışığına bağlı olarak net görüntüler 04 UTC'den itibaren alınabilmeye başlanmıştır. Alınan ilk görüntülerle birlikte yaz mevsiminde olunması ve Ağustos ayı olduğu için Hopa üzerinde ve dağlarda etkin bir kar bulunmadığı görülmektedir. Bu nedenle uydu görüntülerinde görülen cam göbeği rengi buz bulutlarını göstermektedir. Görüntüler incelendiğinde sabah saatlerinden itibaren buz bulutlarının etkin olarak rol oynadığı, akşam saatlerinde yer yer Hopa çevresinde sıvı su damlacıklarından oluşan bulutların da varlığı tespit edilmiştir. Görüntülerde görülen kahverengi ve koyu yeşil bölgeler ise bitki örtüsünü göstermektedir (Şekil 4.8).

4.4.3.2 Day Microphysics RGB

Day Microphysics RGB görüntülerde, VIS0.8 – IR3.9 – IR10.8 bantları kullanılır. Bu sayede konveksiyon, sis ve alçak seviye bulutları kolaylıkla gözlemlenebilir. Bu görüntüleme tekniğinde kullanılan VIS0.8 kanalı yalnızca bulut optik derinliği değil yeryüzü hakkında da önemli bilgiler edinilmesini sağlar. Buna örnek olarak bitki örtüsü, karalar, çöller ve kar örtüsü yüksek yansıtma değerlerini sahip olduğu için parlak renklerde görünür. IR3.9 kanalı solar ve emmisive kanalın birleşiminden oluşan bir hibrit kanaldır. Bu nedenle her zaman bir kızılötesi kanalı şekilde davranmamaktadır. Gündüzleri buna ek olarak solar bileşenden oluşur, parlaklığı yansıtılan bir güneş katkısı ve aynı zamanda yayılan termal radyasyon içerir. Bu kanaldaki parlak renkler küçük buz kristallerini gösterir. Bu parlak renkler bulut tepesi ile ilgili önemli bilgiler içermektedir. Day Microphysics RGB görüntülerde kullanılan son kanal IR10.8 kanalıdır. Bu kanal atmosferik pencere olması nedeniyle yüzey örtüsü ve bulut tepe sıcaklığı konusunda bilgi sağlar. En soğuk yerler siyah yada beklendiği gibi beyaz olmayan renklerde karşımıza çıkar. Özetle bu görüntülerde, VIS0.8 kanalı aracılığıyla buz bulutlarının kalın yada ince olduğu, IR3.9 kanalı ve IR10.8 kanalı ile bu bulutların kalınlığı belirlenebilir. Güçlü yükselici hareketlere sahip konvektif hücreler, küçük buz parçacıklarıyla karakterize edilir (diğer bir deyişle, parçacıklar çarpışmak ve birleşip daha büyük parçacıklar oluşturmak için bir şans ya da zaman bulamazlar) ve böylece elde edilen RGB'de yeşilin daha yüksek bir katkısına sahip olacaklardır. Bu nedenle şiddetli konveksiyon alanları turuncu renklerdedir. Su damlacıklarının yansıtma değerler fazla olduğundan açık yeşil (cam göbeği) görünürken, buz kristallerinin boyutları arttıkça turuncu renkler artacaktır.

Gün ışığı olduğu sürece, stratus ve stratocumulus gibi küçük su damlacıklarından oluşan bulutlar, buz bulutlarından koyu renklerde görülür (koyu yeşil - sarı). Küçük su damlacıklarının yansıtma değerlerinin yüksek olmasından dolayı küçük buz kristallerinden konveksiyon ve büyük buz kristallerinden oluşan konveksiyon ayrımı kolaylıkla yapılabilir. Bu durum, küçük buz parçacıkları oluşan konvektif hücrelerin, büyük buz parçacıklarından oluşan olgun konvektif hücrelere kıyasla daha güçlü yükselici hareketler ve daha şiddetli hava sergiledikleri için önemlidir. Cephesel sistemler ise genellikle üç farklı renkten oluşmaktadır (Rosenfield, 2012).



Şekil 4.9 : 24 Ağustos 2015 Tarihli Day Microphysic RGB Görüntüleri.

Hopa'ya ait Day Microphysics RGB görüntüler incelendiğinde; Hopa'da aşırı yağışa sebep olan konvektif hücrenin sabahın erken saatlerinden itibaren gelişmeye başladığı (küçük buz kristallerinden oluşan yükselici hareketlerin etkin olduğu), öğle saatlerine kadar gelişimini sürdürdüğü ve öğle saatlerinden sonra gelişimini tamamlayarak, akşam saatlerinde de Hopa için etkisini yitirdiği söylenebilir. Bu görüntüler incelendiğinde göze çarpan bir diğer önemli durum ise Hopa üzerinde gün boyunca sadece konvektif bulutların etkin olduğu görülmektedir. Ayrıca Hopa ve çevresinde herhangi bir cephesel etki görülmemektedir. Bu durum ise 24 Ağustos 2015 tarihinde ani taşkına neden olan aşırı yağışın yalnızca konvektif ve orografik karakterli olduğunu göstermektedir (Şekil 4.9).

4.4.3.3 Airmass RGB

Airmass RGB görüntüleri kızılötesi ve su buharı kanallarının (WV6.2, WV7.3, IR9.7 ve IR10.8) birleşiminden oluşmaktadır. Temel prensip olarak Parlaklık - Sıcaklık Farkı'ndan (BTD) yararlanır. Temel kullanım alanı incelenen bölgedeki hava kütlelerinin ayrımının yapılmasıdır (polar – tropikal). Bunun yanı sıra bu görüntüler; siklonların oluşumu ve tespit edilmesi, jet akımlarının tespiti, potansiyel vortisiti adveksiyonlarının belirlenmesi ve atmosferin dinamik özellikleri konusunda da önemli bilgiler verir. Bu görüntüleme tekniğinde kullanılan renkler için;

- **Kırmızı:** WV6.2 – WV7.3
- **Yeşil:** IR9.7 – IR10.8
- **Mavi:** WV6.2 kanalları kullanılmaktadır.

WV6.2 – WV7.3 (kırmızı) bandı düşey nemin belirlenmesinde oldukça etkilidir. WV6.2, kabaca 500 ila 200 hpa arasındaki nem içeriğini gösterirken, WV7.3, troposferde biraz daha derin görüntüleme imkanı sunarak 700 ila 400 hpa arası nem içeriğini belirlenmesinde oldukça başarılıdır. Bu parlaklık-sıcaklık farkları için sıcaklık aralığı -25 ve 0 K arasındadır. Düşük BTD skalaları kuru atmosferi gösterirken, bu skalanın yüksek olması nemli atmosferi göstermektedir; fakat 700 hPa'da nemli bir tabaka küçük ve 500 hpa'da nemli bir tabaka yüksek BTD'ye neden olur.

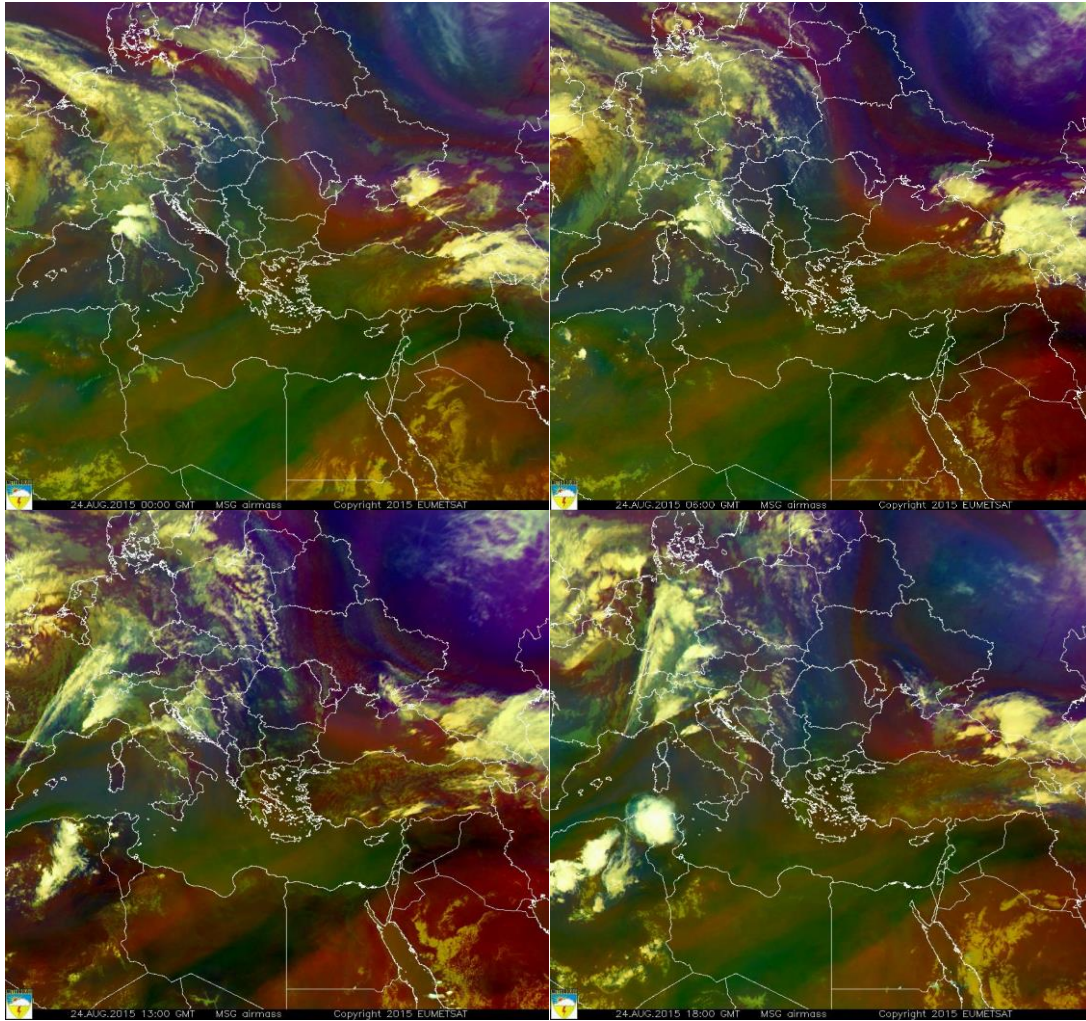
Farklı hava kütleleri, tropopoz yüksekliği ile ayırt edilebilir. Polar hava kütleleri düşük tropopoz yüksekliği ile tropikal hava kütleleri ise yüksek tropopoz yüksekliği ile

karakterize edilir. Bunun nedeni tropik bölgelerdeki derin konveksiyonların (gök gürültülü fırtınalar) ya da yazın orta enlemlerde bulunan kıtaların sürekli olarak yükselici hareketler ile Tropopoz'u iterek Troposferi derinleştirmesidir.

Bu görüntülerde kırmızımsı bölgeler, Stratosferik havanın Troposferin içine doğru girdiği ve böylece Tropopoz seviyesini düşüttüğü bölgeleri gösterir. Ayrıca bu bölgeler potansiyel vortisiti anamolilerinin merkezidir.

Jet akımları kendi içinde bir çapraz dolaşıma sahiptir; siklonik taraf yükselici hareketler ve antik siklon tarafında alçalıcı hareketler mevcuttur. Bu nedenle alçalıcı hareketler yine kırmızı şeritler şeklinde görülür (Santurett ve Georgiev, 2005).

Kısaca özetlemek gerekirse, bu görüntülerde potansiyel vortisiti alanları kırmızı, soğuk hava kütleleri mor, sıcak hava kütleleri yeşil kalın orta seviye bulutları krem, kalın yüksek seviye bulutları beyaz renkte görünür.



Şekil 4.10 : 24 Ağustos 2015 Tarihli Airmass RGB Görüntüleri.

Hopa'ya ait 24 Ağustos 2015 tarihli Airmass RGB görüntüleri incelendiğinde; afetin yaşandığı gün boyunca Karadeniz üzerinde yüksek vortisi anamolileri olmasına rağmen Hopa üzerinde sıcak karakterli hava kütlelerinin etkin olduğu görünmektedir. Ayrıca gün boyunca konvektif bulutların orta ve üst seviyelerde varlığını sürdürdüğü görülmektedir. Tropopoz seviyesinin gün boyunca yükselici hareketler nedeniyle yüksek olduğu dikkat çekerken, troposferik nem oranları ise günün ilk saatlerinden itibaren konvektif hareketlilik nedeniyle yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.10).

4.4.3.4 Day Convective Storms RGB

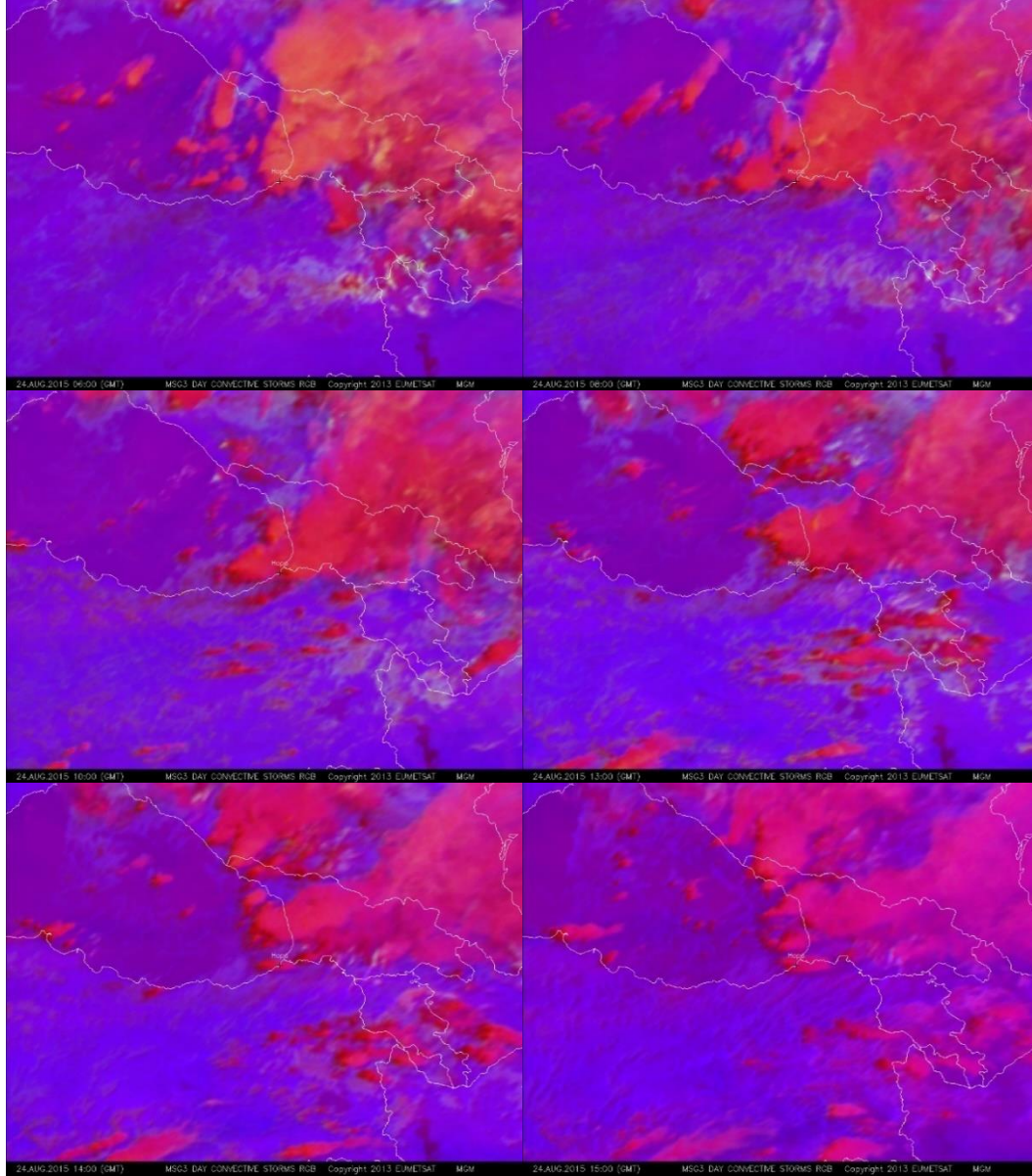
Bu RGB'de görüntüler oluşturulurken, iki su buharı bandı (WV6.2 - WV7.3), iki mikrofizik kanal (NIR1.6 - IR3.9), kızılötesi pencere kanalı (IR10.8) ve görünür kanaldaki (VIS0.6) bantları kullanılır.

Day Microphysics RGB'den farklı olarak Day Convective Storms RGB'de konveksiyon bölgeleri daha kolay gözlemlenebilir. Buna ek olarak, Kümülonimbus (CB) bulutlarının içerdiği buz kristalleri küçük/büyük olarak sınıflandırılabilir. Bu nedenle Day Convective Storms RGB konveksiyon alanları ve CB bulutlarının belirlenmesinde daha detaylı bir inceleme olanağı sunmaktadır.

Bu görüntülerde, arka plan menekşe renginde, yüksek seviye kalın buz bulutları, ve büyük buz kristalleri içeren konvektif CB bulutları kırmızı ve küçük buz kristalleri içeren konvektif bulutlar ise sarı renkte görülmektedir.

Küçük buz kristallerinden oluşan olgunlaşmamış konvektif CB bulutlarda kuvvetli yükselici rüzgarlar baskın durumdadır. Olgunlaşmış ve büyük buz kristallerinden oluşan konvektif CB bulutlarda ise yükselici rüzgarlar zayıftır (Rosenfeld ve diğ, 2008).

Hopa'ya ait Day Convective Storms RGB görüntüleri incelendiğinde; Sabahın erken saatlerinde oluşan konvektif CB bulutlarının, küçük buz kristalleri içerdiği ve kuvvetli yükselici hareketlerin hâkim olduğu, öğle saatlerine doğru olgunluğunu tamamlaması rağmen Hopa çevresinde yer yer genç CB bulutlarının geliştiği göze çarpmaktadır. Öğle saatlerinden sonra ise Hopa üzerindeki tüm konvektif bulutların olgunluklarını tamamladıkları ve zayıf yükselici hareketler içerdiği görülmektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 : 24 Ağustos 2015 Tarihli Day Convective Storm RGB Görüntüleri.

4.4.3.5 SAF (Satellite Application Facilities)

EUMETSAT 1992 yılı Kasım ayında, uydu verisi uygulama merkezleri olarak adlandırılan İngilizce kısaltılmış adı “SAF (Satellite Application Facilities)” olan, uzmanlaşmış geliştirme ve işleme merkezlerini kurma kararı almıştır. SAF merkezlerinin ana amacı, Ulusal Meteoroloji Hizmetleri tarafından operasyonel meteorolojik uydu verilerinin kısa vadeli hava tahmininde kullanılacak yazılım paketleri sağlamak, geliştirmek ve korumaktır. Uydu verisi ile çeşitli uygulamaları geliştirmeye yarayan SAF’lar, yüksek kalite ürün ve servis olanağı sağlamaktadır (SMHI, 2014). SAF ürünleri oluşturulurken EUMETSAT' ın Sabit ve Kutupsal

Yörüngeli uydularından elde edilen verilere ek olarak diğer operasyonel ve araştırma amaçlı uydularında verileri de kullanılır.

SAF çalışmaları;

- Kısa vadeli hava tahminlerini geliştirmek,
- Havacılık, tarım ve enerji sektörlerini desteklemek,
- Üst atmosfer kirliliği ve ozon seyrelmesi konularında sonuç ve etkilerin daha anlaşılır kılmak ve geliştirmek,
- Afetlerde erken uyarının zamanında yapılması için çalışmalar yapmak,
- İklim çalışmalarında kullanılan verilerin kalitesinin artırılması,
- Sayısal hava tahminleri için sağlıklı veri girdisi hazırlanması ve operasyonel uygulamalar için yazılım paketlerinin sağlanması,
- Gerçek zamanlı ve eski verilerin temini gibi yan amaçlarda taşımaktadır.

Toplamda, bu amaçların yerine getirilmesi için 8 adet SAF merkezi bulunmaktadır. Bu çalışmada yalnızca kısa vadeli hava tahmin SAF'ı olan (NWC-SAF) ürünleri kullanılmıştır (MGM, t.y.).

4.4.3.6 NWC-SAF

Anlık Hava Tahmini terimi lokal bir bölgede birkaç saate kadar herhangi bir periyot içerisindeki hava tahminini yapmak için kullanılır. NWC-SAF, çok kısa periyotlu hava tahmini olarak da bilinen 12 saate kadar olan hava tahminini desteklemek amacıyla uydu bilgilerini, yazılım ve araçlarını sağlamaktadır (MGM, t.y.).

NWC-SAF bünyesinde II. Nesil Meteosat uyduları (MSG) üzerinde bulunan SEVIRI radyometresinden alınan veriler ile birlikte Sayısal Hava Tahmin Modeli (SHTM) çıktıları kullanılarak, kısa vadeli hava tahminini desteklemek amacıyla 12 farklı ürün üretilmektedir. Bu ürünler;

- Bulut Maskesi Ürünü (CMA)
- Bulut Tipi Ürünü (CT)
- Bulut Tepe Sıcaklığı ve Yüksekliği Ürünü (CTTH)
- Yağış Bulutları Ürünü (PC)

- Konvektif Yağış Oranı Ürünü (CRR)
- Toplam Yağışabilir Su Ürünü (TPW)
- Tabaka Yağışabilir Su Ürünü (LPW)
- Kararlılık Analizi Görüntüleme Ürünü(SAI)
- Yüksek Çözünürlüklü Rüzgâr Ürünü (HRW)
- Otomatik Uydu Görüntü Yorumu Ürünü (ASII)
- Hızlı Gelişen Gök Gürültülü Sağanak Yağış Ürünü (RDT)
- Hava Kütlesi Analizi Ürünü (AMA)'dür.

MSG yazılımı ürünleri, SEVIRI radyometresinden alınan ve en güncel SHTM ürünleri kullanılarak her 15 dakikada elde edilmektedir (SMHI, 2007). Bu çalışmada Bulut Tepe Sıcaklık ve Yükseklik Ürünü (CTTH) ve Konvektif Yağış Oranı Ürünü (CRR) aracılığı ile elde edilen sayısal veriler kullanılmıştır.

Bulut Tepe Sıcaklığı ve Yüksekliği Ürünü (CTTH)

NWC SAF projesinde geliştirilen Bulut Tepe Sıcaklık ve Yükseklik (CTTH) ürünlerinin ana amacı kısa vadeli hava tahmini uygulamalarını desteklemektir. Bu ürün detaylı bulut analizlerinin yapılmasına da imkân sağlamaktır. Bu ürünün temel kullanım alanı; gök gürültülü fırtına gelişiminin analizi olmasına rağmen erken uyarı ve bulut dinamik yapılarının analizinde de kullanılabilir. CTTH ürünü, uydu görüntüsünde bulutlu olarak tanımlanan tüm piksellerin bulut tepe sıcaklığı ve yüksekliği hakkında bilgi sağlamaktadır.

CTTH ürünlerinde bulut özelliklerine göre düşük ve orta kalınlıktaki bulutlar için IR10.8 kanalı, kalın ve yarı geçirgen bulutlar için IR10.8, IR13.4, WV7.3, WV6.2 kanalları, fraksyonel bulutlar için ise IR10.8 ve IR12.0 kanalları kullanılır. Bu üründe, bulut tepe sıcaklığı ve yüksekliği IR parlaklık sıcaklık farkı verileri IR Radyasyon Transfer Modeli (RTTOV) kullanılarak elde edilir. Bu model ölçülen bu değerleri tahmin edilen sıcaklık ve düşey nem profili ile karşılaştırarak sonuçları verir. Yarı saydam stratiform bulutlar için saydamlık düzeltmesi yapılması gerekebilirken konvektif ve kalın bulutlar için oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

CTTH ürünü genel kullanım alanlarının dışında, mezo ölçek modellerde girdi verisi olarak ya da havacılıkta bulut tepe yüksekliği tespitinde ve bulut klimatolojisi çalışmalarında da kullanılabilir (SMHI, 2013).

Konvektif Yağış Oranı Ürünü (CRR)

NWC-SAF projesi kapsamında geliştirilen konvektif yağış oranı (CRR) ürünlerinin temel amacı konvektif bulutlarla ilişkili olarak yağış oranının tahmin edilmesidir. Bu ürün yağış ve konveksiyon ile ilgili diğer NWC-SAF ürünlerine tamamlayıcı bilgi olarak da kullanılmaktadır.

CRR ürünü için geliştirilen algoritma (Denklem 4.9), hem yüksek hem de düşük genişlikteki bulutların yağmur yağması ihtimalinin yüksek olduğunu ve dolayısıyla yağış yoğunluğunun (R);

$$R = f (IR, VIS), \text{ mm / sa} \quad (4.9)$$

olarak ifade edildiğini varsaymaktadır.

CRR ürünlerinde, bulutların zamansal ve mekânsal değişkenliğine bağlı olarak yağış tahmini için mevcut nem miktarı ve yağış dağılımı üzerindeki orografik etkilerin etkisi göz önüne alındığında, kullanıcılar tarafından temel CRR değerine birkaç düzeltme faktörü uygulanabilir. Bu düzeltme faktörleri; nem düzeltme faktörü, bulut büyüme/bozunma oranı düzeltme faktörü, bulut üst sıcaklık gradyan düzeltme faktörü, paralaks düzeltme ve orografik düzeltme faktörüdür. Bu düzeltmelerin yapılması elde edilen yağış tahmininde hata oranlarının yüksek oranda azalmasını sağlar (Vicente ve diğ, 1999).

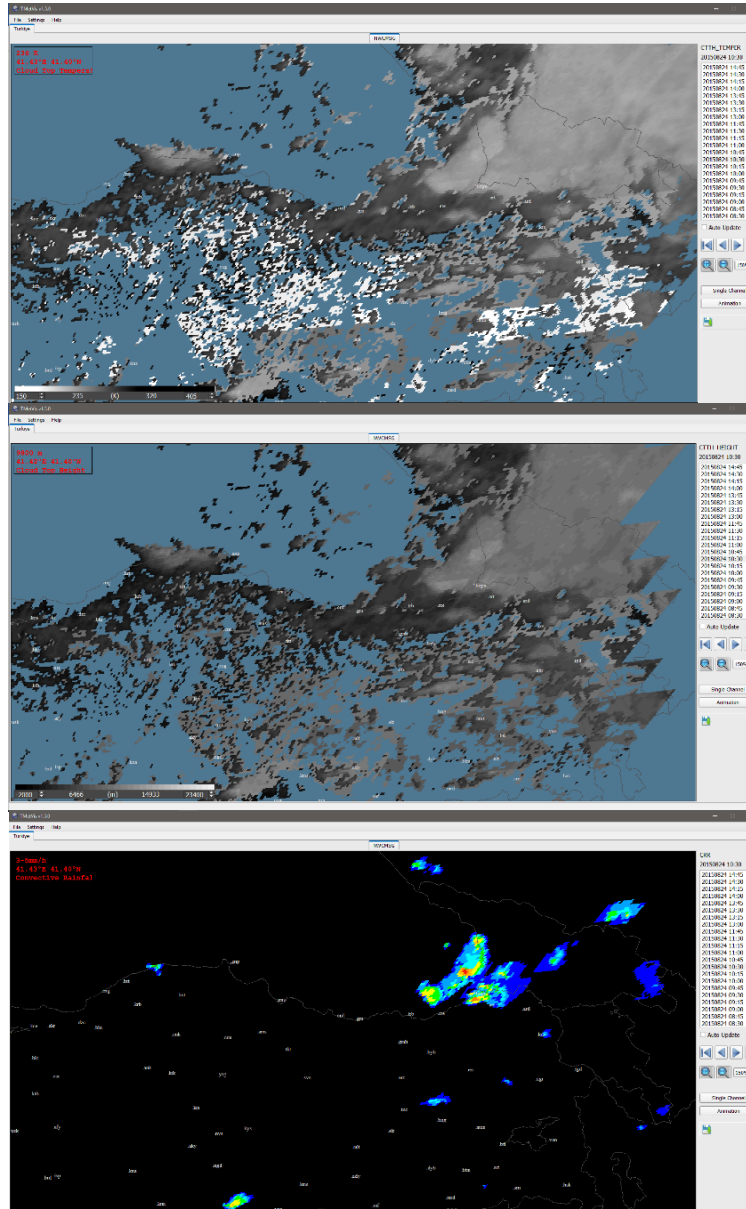
4.4.3.7 TMeTPro ve TMeTVis yazılımları

TMeTVis bir uydu verisi görüntüleme yazılımıdır. Yazılım, TMeTPro programının işlemiş olduğu verileri görüntülemeye yaramaktadır. Program, RGB ve kanal farkı uygulamalarını da barındırmakla birlikte canlandırma yapılmasına da olanak sağlamaktadır.

Yazılım, II. Nesil Meteosat (MSG) uydularının 15 dakikalık görüntülerine, bunun haricinde 5 dakikalık kanal ve RGB görüntülerine, NWC-SAF bulut ürün ve parametrelerine ulaşılabilmesini sağlamaktadır.

Program kullanılarak, yansıtma değerleri elde edilebilmekte, elde edilen görüntülerle bulut sistem hareketleri canlandırma yoluyla izlenilebilmektedir. TMeTVis, Avrupa ve Türkiye'yi aynı karede barındırabilmektedir. RGB (Red Green Blue), RGB farkları, kanal farkı ve tek kanal uygulamaları görüntüleme ve görüntü büyütme özelliklerine de sahiptir.

Bu çalışmada SAF-NWC/MSG CTTH ve CRR ürünlerinin hazırlanması için MGM'den (h5 formatında) alınan veriler TMeTPro aracıyla işlenmiş, daha sonrasında TMeTVis programı aracılığıyla görüntülenerek OMGİ istasyonunun koordinatları olan 41.40 K enlemi, 41.43 D boylamı için noktasal olarak bulut tepe yükseklikleri ve sıcaklıkları elde edilmiştir. Bu veriler elde edilirken, 23.08.2015 – 21 UTC ile 24.08.2015 21 UTC arasındaki 24 saatlik zaman dilimi için 15'er dakika aralıklarla bulut tepe yükseklikleri, sıcaklıkları ve konvektif yağış tahmin değerleri elde edilmiştir. Bu verilerin saatlik toplam yağış verileri ile ilişkilendirilebilmesi için saatlik ortalama değerler hesaplanmıştır. TMeTVis programı aracılığıyla elde edilen veriler için örnek görüntüler Şekil 4.12'de verilmiştir.



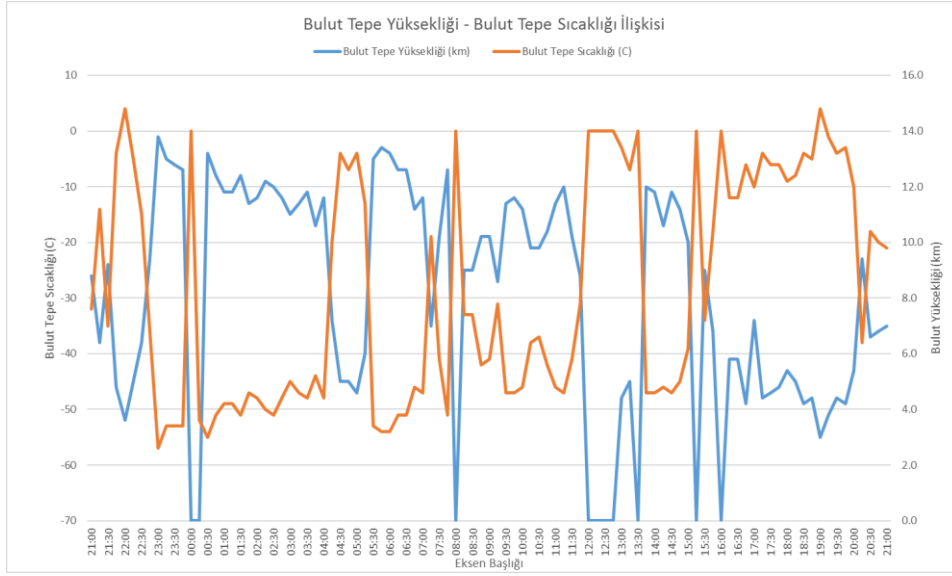
Şekil 4.12 : SAF-NWC CTTH Ürünü Bulut Tepe Sıcaklığı (Üstte), Bulut Tepe Yüksekliği (Ortada), Konvektif Yağış Oranı (Altta).

TMetPro ve TMetVis programları aracılığı ile SAF-NWC CTTH ve CRR ürünleri kullanılarak elde edilen saatlik ortalama bulut tepe yükseklik, sıcaklık ve konvektif yağış miktarı değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : TMetVis Programı Aracılığı ile CTTH ve CRR Ürünlerinden Elde Edilen Bulut Tepe Yükseklikleri, Sıcaklıkları ve Konvektif Yağış Miktarları.

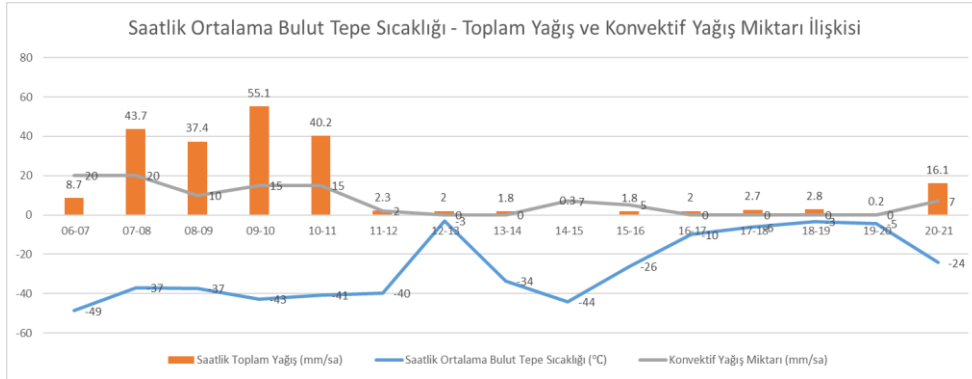
Saat (UTC)	Saatlik Ortalama Bulut Tepe Yüksekliği (m)	Saatlik Ortalama Bulut Tepe Sıcaklığı (°C)	Konvektif Yağış Miktarı (mm/sa)
23.08.2015 22:00	6000	-12	0
23:00	8650	-28	3
24.08.2015 00:00	12800	-53	20
01:00	12467	-52	20
02:00	11800	-49	30
03:00	11700	-49	15
04:00	11350	-47	7
05:00	5450	-9	7
06:00	11400	-44	20
07:00	12000	-49	20
08:00	9933	-37	20
09:00	9600	-37	10
10:00	10700	-43	15
11:00	10350	-41	15
12:00	10333	-40	2
13:00	4400	-3	0
14:00	9600	-34	0
15:00	10900	-44	7
16:00	7900	-26	5
17:00	5750	-10	0
18:00	4800	-6	0
19:00	4150	-3	0
20:00	4450	-5	0
21:00	7450	-24	7

SAF-NWC/MSG bulut ürünlerinden TMetPro ve TMetVis programları aracılığı ile elde edilen Bulut tepe sıcaklık ve yükseklik ilişkisi Şekil 4.13’de verilmiştir. Hopa’da meydana gelen afet boyunca etkin rol oynayan bulutların konvektif ve orografik etkilerle oluşan kümülüform bulutlar olduğu önceki bölümlerde MSG uydu ürünleri ile belirlenmiştir. Bu nedenle elde edilen bu değerler kullanılarak oluşturulan Şekil 4.13’de beklenildiği gibi bulut tepe yüksekliği ile bulut tepe sıcaklığı arasında neredeyse doğrusal bir ilişkisi bulunmaktadır. Bulut tepe yüksekliğinin artması ile orantılı olarak bulut tepe sıcaklıkları düşmüştür. Bu durum afete neden olan bulutların konvektif ve orografik etkilerle oluştuğunu destekler bir göstergedir.



Şekil 4.13 : Bulut Tepe Yüksekliği ve Sıcaklığı Arasındaki İlişki.

24 Ağustos 2015 tarihi 06 UTC – 21 UTC arasında ortalama bulut tepe sıcaklığı, ölçülen yağış ve SAF-NWC/MSG Konvektif Yağış Oranı Ürünü (CRR) tahmin değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.14’de verilmiştir.

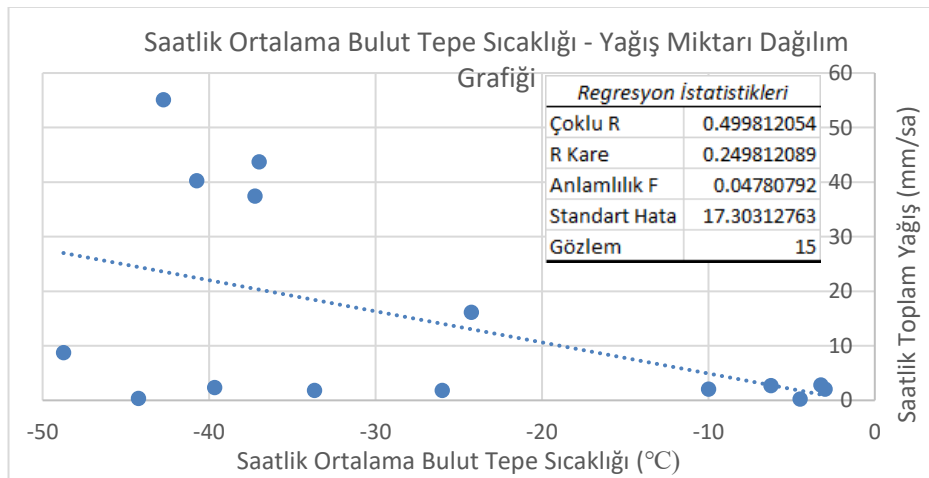


Şekil 4.14 : Ortalama Saatlik Bulut Tepe Sıcaklığı - Yağış ve Konvektif Yağış Tahmini İlişkisi.

Şekil 4.14 incelendiğinde; 24 Ağustos 2015 tarihinde Hopa’da ani taşkına neden olan yağışın sabah erken saatlerde başladığı, 06 UTC – 11 UTC arası (CB bulutunun gelişim evresi) yükselici hareketlerin etkin olduğu evrede bulut tepe sıcaklıklarının bulut tepe yüksekliğine bağlı olarak oldukça düşük olduğu ve maksimum yağışların bu saatlerde ölçüldüğü görülmektedir. Öğle saatlerinden sonra CB bulutlarının olgunluğa ulaşması ile birlikte ölçülen yağış değerleri azalmış, 12 UTC – 16 UTC arasında bulut tepe sıcaklıklarının azalmasına rağmen, önemli bir yağış kayda geçmemiştir. Bu aralıkta bulut tepe sıcaklıklarının düşmesine ve bulut tepe yüksekliklerinin artmasına rağmen, yağış ölçülememesinin sebebi olarak, üst

atmosfer seviyelerdeki nem miktarının sabah saatlerinde meydana gelen aşırı yağışa bağlı olarak azalması gösterilebilir. IFS modelinin bu zaman aralığı için 700 hPa ve 500 hPa nispi nem oran tahminleri de oldukça düşüktür. 16 UTC'den sonra dağılma evresine giren CB bulutlarında alçalıcı hareketler nedeniyle bulut tepe sıcaklıklarının, bulut tepe yüksekliklerine azalmasına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ancak 20 UTC'den sonra yeniden konvektif ve orografik etkilerle CB bulutlarının oluştuğu ve gelişimine bağlı olarak 16.1 mm yağış bıraktığı görülmektedir; ancak sabah saatlerinde oluşan CB bulutları kadar kuvvetli etkiler ile oluşmadıkları için hiçbir afete daha neden olmamıştır.

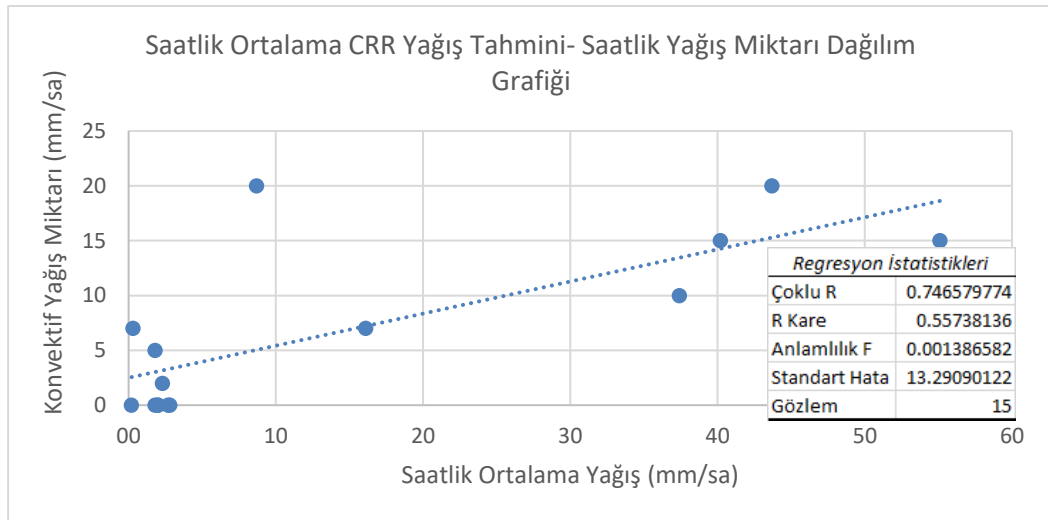
SAF-NWC/MSG Konvektif Yağış Oranı Ürünü (CRR) ile elde edilen yağış verilerinin yer ölçümleri ve bulut tepe sıcaklıkları ile uygun bir dağılım sergilediği; ancak yağış miktarı tahminlerinin ölçülen yağış miktarından çok daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, Hopa bölgesi için gerekli olan düzeltmelerin (nem, bulut büyüme/bozunma oranı, bulut üst sıcaklık gradyan, paralaks ve orografik düzeltmeler) lisanslı yazılıma erişim imkânının bulunmamasından dolayı yapılamamasıdır. SAF-NWC/MSG bulut ürünlerinden elde edilen verilerin anlamlılıklarının belirlenebilmesi için regresyon analizleri yapılmış ve dağılım grafikleri çizilmiştir. ANOVA anlamlılık test sonuçlarına göre bulut tepe sıcaklığı – yağış miktarı, konvektif yağış miktarı tahmini – saatlik gözlemlenen yağış ve bulut tepe sıcaklığı – konvektif yağış miktarı ilişkileri istatistiksel olarak anlamlıdır (<0.05). Grafik 4.15'de saatlik ortalama bulut tepe sıcaklığı ve ölçülen yağış miktarı dağılım grafiği verilmiştir.



Şekil 4.15 : Saatlik Ortalama Bulut Tepe Sıcaklığı Ve Ölçülen Yağış Miktarı Dağılım Grafiği.

Bu dağılım grafiğine göre 24 Ağustos 2015 tarihinde 06 UTC - 21 UTC arasında yağış verilerinin hatasız olduğu kabulü ile saatlik ortalama bulut tepe sıcaklığı ve ölçülen saatlik toplam yağış değerleri arasında yaklaşık %50'lik korelasyon bulunduğu ve saatlik ortalama bulut tepe sıcaklık değerlerinin yaklaşık %25'lik bölümünün yağış miktarı ile doğrusal olarak ilişkili olduğu söylenebilir. Bu ilişkideki R^2 değerinin düşük çıkmasındaki temel sebebi 12 - 16 UTC saatleri arasında bulut tepe sıcaklığının düşük olmasına rağmen, üst atmosferdeki nem miktarının düşük olmasından kaynaklanan önemli bir yağışın gözlemlenmemesidir. Bulunan bu ilişki, bulut tepe sıcaklık değerlerinin noktasal olarak elde edildiği de göz önünde bulundurulduğunda iyi sayılabilecek bir ilişkidir.

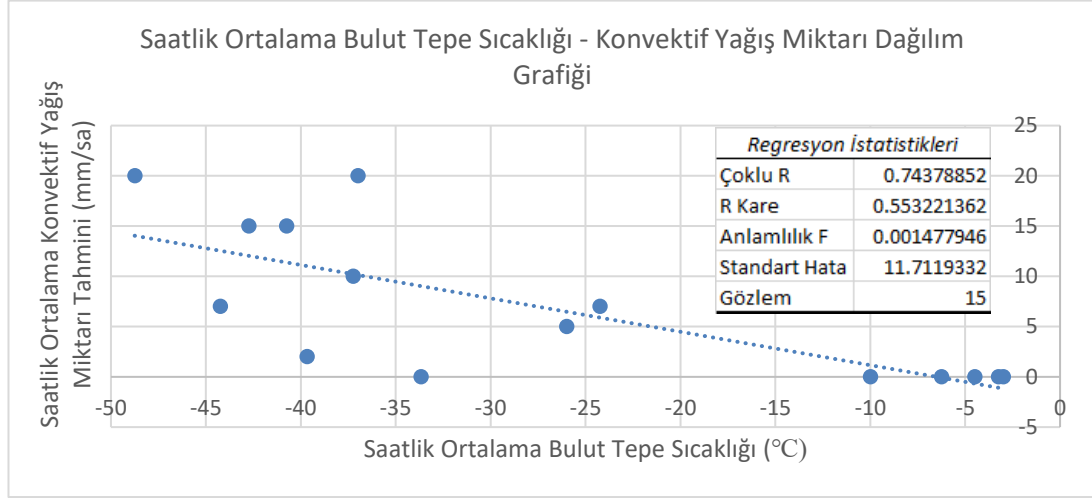
Grafik 4.16'da NWC-SAF/CRR bulut ürünleri aracılığı ile elde edilen saatlik ortalama konvektif yağış miktarı ile yer gözlemlerinden elde edilen saatlik toplam yağış miktarı dağılım grafiği verilmiştir.



Şekil 4.16 : Saatlik Ortalama Konvektif Yağış Miktarı İle Yer Gözlemlerinden Elde Edilen Saatlik Toplam Yağış Miktarı Dağılım Grafiği.

Bu dağılım grafiğine göre 24 Ağustos 2015 tarihinde 06 UTC - 21 UTC arasında yağış verilerinin hatasız olduğu kabulü ile saatlik ortalama konvektif yağış miktarı ve ölçülen saatlik toplam yağış değerleri arasında yaklaşık %75'lik korelasyon bulunduğu ve saatlik ortalama konvektif yağışın %55'lik bölümünün yağış miktarı ile doğrusal olarak ilişkili olduğu söylenebilir. Bu ilişkideki çoklu R (korelasyon) değerinin ve R^2 değerleri ışığında konvektif yağış tahmini ile yer ölçümlerinden elde edilen saatlik toplam yağış değerleri arasında oldukça iyi bir ilişki olduğu görülmektedir.

Şekil 4.17’de NWC-SAF bulut ürünlerinden elde edilen saatlik ortalama bulut tepesi sıcaklığı – konvektif yağış miktarı dağılım grafiği verilmiştir.



Şekil 4.17 : Saatlik Ortalama Bulut Tepesi Sıcaklığı – Konvektif Yağış Miktarı Dağılım Grafiği.

Bu dağılım grafiğine göre 24 Ağustos 2015 tarihinde 06 UTC - 21 UTC arasında yağış verilerinin hatasız olduğu kabulü ile saatlik ortalama bulut tepesi sıcaklığı ve ölçülen saatlik ortalama konvektif yağış değerleri arasında yaklaşık %74’lük korelasyon bulunduğu ve saatlik ortalama konvektif yağışın yaklaşık %55’lik bölümünün bulut tepesi sıcaklığı ile açıklanabildiği söylenebilir. Bu ilişkideki çoklu R (korelasyon) değerinin ve R^2 değerleri ışığında bulut tepesi sıcaklığı ve konvektif yağış arasında oldukça iyi bir ilişki olduğu söylenebilir.

Özetle, bu çalışmada kullanılan yer gözlemlerinden elde edilen yağış verileri ile NWCSAF bulut ürünlerinden elde edilen verilerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu, bu değişkenler arasında iyi bir ilişki olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 24 Ağustos 2015 tarihinde Artvin ili – Hopa ilçesinde meydana gelen ani taşkın afeti sinoptik ve hidrometeorolojik açıdan incelenmiş, yağış tahminlerinde sıkça kullanılan IFS, ALR ve WRF modellerinin ve Taşkın Erken Uyarı Sistemi sonuçlarının tahmin başarıları irdelenmiştir. Buna ek olarak aşırı yağışa neden olan bulut sistemleri belirlenmiş ve bulut dinamik yapıları irdelenmiştir.

Sinoptik ve hidrometeorolojik analizler doğrultusunda şu sonuçlara ulaşılmıştır;

24 Ağustos 2016 tarihli 00 ve 06 UTC yer seviyesi sinoptik haritalar ve rüzgâr haritaları incelenmiş, bu seviyede Karadeniz'in Doğu Karadeniz Bölgesi kıyıları ile bulunduğu yerde hareket doğrultusu güneydoğu olan 1006 – 1008 hPa değerindeki siklon girişi olduğu belirlenmiştir. Ani taşkına neden olan aşırı yağış afeti boyunca basınç değerlerinde önemli bir değişim olmazken Rusya üzerinden başlayarak, Karadeniz üzerinden geçen ve Hopa'ya ulaşan yer seviyesi rüzgârların siklonik dönüş yaptığı belirlenmiştir. Ayrıca yüzey sıcaklıklarının Ağustos ayı ortalamalarından yaklaşık 1.5 °C daha yüksek olduğu görülmüştür.

24 Ağustos 2015 tarihli yüksek seviye haritaları incelenmiş; 850 hPa seviyesinde, Türkiye'nin doğu bölgelerini içine alan 144 dam'lık alçak basınç merkezi ve Hopa üzerinde batılı akışlar ile soğuk hava girişi belirlenmiştir. 700 hPa seviyesinde, Ege Bölgesi (312 dam) ve Karadeniz (309 dam) üzerinde bulunan oluklar tespit edilmiş, öğleden sonra Ege Bölgesi üzerinde bulunan oluğun koparak alçak merkez haline geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca bu seviyedeki nispi nem miktarının yaklaşık %100 olduğu IFS modeli aracılığı ile tespit edilmiştir. 500 hPa seviyesinde, Marmara Bölgesi'nin güneyinde soğuk katof olduğu görülmüş, 700 hPa seviyesinde olduğu gibi nispi nem değerlerinin bu seviyede de %100'e yaklaştığı belirlenmiştir. Ayrıca bu seviyedeki düşey hızların -8/-10 m/s mertebesinde olduğu görülmüştür. 300 mb seviyesinde ise, Türkiye üzerinde etkin durumda olan güçlü bir jet koridoru olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan kararsızlık analizi sonucunda, tüm kararsızlık indekslerinin şiddetli oraj potansiyelini gösterdiği ve 23 Ağustos akşamından itibaren Hopa üzerinde kararsız bir atmosfer olduğu belirlenmiştir.

Yapılan bu analizler ışığında, 24 Ağustos 2016 tarihine Hopa bölgesi ve çevresinde aşırı yağışa neden olan sinoptik koşulların konvektif bulut oluşumu ve yağış için uygun olduğu, yağışın konvektif ve orografik karakterli olduğu belirlenmiştir.

Yapılan yağış analizi sonucunda, sabah erken saatlerde başlayan yağış şiddetlenerek 07 – 11 UTC arasında maksimuma ulaşmış ve kısa süre içinde ani taşkın afetine neden olduğu görülmüştür. Saatlik yağış verileri daha detaylı incelenirse, 06 – 07 UTC arasında 8.7 mm, 07 – 08 UTC arasında 43.7 mm, 08 – 09 UTC arasında 37.4 mm, 09 – 10 UTC arasında saatlik maksimuma ulaşarak 55.1 mm, 10 – 11 UTC arasında 40.2 mm ve 11 UTC'den sonra düşük miktarlarda yağışın devam ettiği belirlenmiştir. 24 Ağustos 2015 00 UTC – 25 Ağustos 2015 00 UTC arasında Hopa'da ölçülen 24 saatlik toplam yağış miktarı 287,2 mm, 23 Ağustos 2015 06 UTC – 24 Ağustos 2015 06 UTC arası toplam yağış 221 mm olarak belirlenmiştir. Hopa'da meydana gelen 287,2 mm'lik günlük toplam yağışın 60, 120, 180, 240 ve 300 dakikalık toplamlarının 100 yıldan fazla tekerrür aralığına sahip olduğu saptanmıştır. Bu bölge için IFS, ALR ve WRF modellerinin tahmin sonuçları karşılaştırılmış, Hopa'da meydana gelen bu konvektif ve orografik yağışın bölge ve yağış miktarı açısından en iyi tahminlerin WRF modeline ait olduğu görülmüştür.

Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi (FFGS) sonuçlarının Hopa bölgesi için yağışın lokal olmasına karşın yağış bölgesini gayet başarılı tespit ettiği ancak yağış miktarı tahmininde yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir.

NOAA'nın HYSPLIT modeli kullanılarak yağışı maksimuma ulaştıran hava parselinin yörünge analizi yapıldığında standart atmosfer seviyelerindeki 50 m, 1500 m ve 3000 m yükseklikteki hava parsellerinin uzun süre Karadeniz üzerinde alçak seviyelerde bir yörünge izleyerek Hopa'ya ulaştığı, bu nedenle tüm seviyelerdeki nemlilik miktarlarını arttırdığı belirlenmiştir.

24 Ağustos 2015 06 UTC – 21 UTC arasında yağış miktarı – radar dBZ ilişkisi incelendiğinde yağış miktarı ve dBZ değerleri arasında birebir ilişki görülmesede, yağış miktarına bağlı olarak ölçülen dBZ değerlerinin yükseldiği ve yağış miktarı ile uygun bir dağılım sergilediği görülmektedir. 24 Ağustos 2015 tarihinde 06 - 21 UTC

arasında yağış verilerinin hatasız olduğu kabulü ile saatlik toplam yağış miktarı ile ölçülen dBZ değerlerinin yaklaşık %70'lik korelasyona sahip olduğu ve ölçülen dBZ değerlerinin %48.5'lik bölümünün yağış miktarı ile açıklanabildiği söylenebilir. Doppler Radar ürünleri meteoroloji alanında kullanılmaya başlandıktan sonra tarama mod radar ürünleri aracılığı ile yağış tahmini azalsa da, bu yöntemin kümülüform bulutlar için hala iyi bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Doppler mod radar ürünlerinin Hopa bölgesi için kullanılamaması, bulut dinamik yapılarının belirlenmesinde Trabzon meteoroloji radarlarının kullanılamayacağını göstermektedir.

Bulut dinamik yapılarının belirlenmesi amacı ile kullanılan 2. Nesil Meteosat uydu (MSG) ürünü olan RGB görüntüler aracılığı ile Hopa ve civarında ani taşkın afetine neden olan aşırı yağış boyunca etkin olan bulut türünün Kümülonimbus (CB) bulutları olduğu belirlenmiştir. Bu CB bulutlarının konvektif ve orografik etkilerle oluştuğu görülmüştür. 23 Ağustos gecesinden itibaren gelişmeye başlayan CB bulutlarında, gelişim evresinde buz kristallerinden oluşan yükselici hareketlerin etkin olduğu, öğleden sonra ise yükselici ve alçalıcı hareketlerin dengeye ulaşarak CB bulutlarının olgunluklarını tamamladıkları belirlenmiştir. CB bulutlarının gelişim evresinde yağışın maksimuma ulaştığı, olgunluk evresine geçtiğinde ise yağışlar aralıklı olarak hafif şiddette devam ettiği görülmüştür. 24 Ağustos 2015 tarihinde Hopa üzerinde gün boyunca orta ve üst seviyede kümülüform bulutların varlığını sürdürdüğü belirlenmiştir. Hopa'da ani taşkına neden olan yağış boyunca cephesel herhangi bir etkiye rastlanmamıştır. 24 Ağustos 2015 tarihinde gün boyunca Karadeniz üzerinde yüksek vortisiti anomalilerinin olmasına rağmen, Hopa üzerinde sıcak karakterli hava kütlelerinin etkin olduğu görülmüştür. Ayrıca, Tropopoz seviyesinin gün boyunca yüksek olduğu belirlenmiştir.

Buna ek olarak MSG uydularının NWC-SAF/MSG Bulut Tepe Sıcaklık - Yükseklik Ürünü (CTTH) ve Konvektif Yağış Oranı Ürünü (CRR) kullanılarak bulut tepe sıcaklıkları, yükseklikleri ve konvektif yağış oranı belirlenmiştir. Afet boyunca etkin bulutların konvektif ve orografik etkilerle oluştuğu için bulut tepe sıcaklığı ve yüksekliği arasında çok yüksek korelasyon olduğu görülmüştür. Genel olarak bulut tepe sıcaklıkları ile yer yağış gözlemleri karşılaştırıldığında düşük bulut tepe sıcaklıklarının gözlemlendiği durumlarda yağış miktarının fazla olduğu görülmüştür. Yağışın tamamen konvektif ve orografik etkilerle oluşmasına rağmen SAF-

NWC/MSG Konvektif Yağış Oranı Ürünü (CRR) ile elde edilen yağış verilerinin yer ölçümleri ve bulut tepe sıcaklıkları ile uygun bir dağılım sergilediği; ancak yağış miktarı tahminlerinin ölçülen yağış miktarından daha düşük olduğu görülmektedir. Konvektif yağış oranlarının daha düşük tahmin edilmesinin nedeni, Hopa bölgesi için gerekli olan düzeltmelerin (nem, bulut büyüme/bozunma oranı, bulut üst sıcaklık gradyan, paralaks ve orografik düzeltmeler) lisanslı yazılıma erişim imkânının bulunmamasından dolayı yapılamamasıdır.

SAF-NWC/MSG bulut ürünlerinden elde edilen verilerin anlamlılıklarının belirlenebilmesi için regresyon analizleri yapılmış ve dağılım grafikleri çizilmiştir. ANOVA anlamlılık test sonuçlarına göre bulut tepe sıcaklığı – yağış miktarı, konvektif yağış miktarı tahmini – saatlik gözlemlenen yağış ve bulut tepe sıcaklığı – konvektif yağış miktarı ilişkileri istatistiksel olarak anlamlıdır (<0.05). Bulut tepe sıcaklığı – yağış miktarı arasında %50, konvektif yağış oranı tahminleri ile gözlemlenen yer ölçümlerine dayalı saatlik toplam yağış miktarı arasında %75, saatlik ortalama bulut tepe sıcaklığı ve konvektif yağış miktarı tahminleri arasında ise %74'lük korelasyon bulunmuştur.

Türkiye’de ani taşkına neden olan aşırı yağışların sinoptik ve hidrometeorolojik analizi konusunda birçok çalışma yapılmaktadır. Ancak aşırı yağışı oluşturan bulut dinamik yapıları ile ilgili çalışmaların sayısı oldukça azdır. Bu nedenle aşırı yağışa neden olan bulut sistemleri ve dinamik yapıları konusunda yapılan çalışmaların sayısının artırılması, benzer çalışmaların, Doppler Radar ürünleri kullanılabilen bölgelerde yapılarak radar ve uydu ürünlerinin tutarlılıklarının karşılaştırılması ve Doppler yağış ürünleri ile elde edilen bulut içi düşey hızlarla yağış miktarı ilişkisinin araştırılması önerilmektedir.

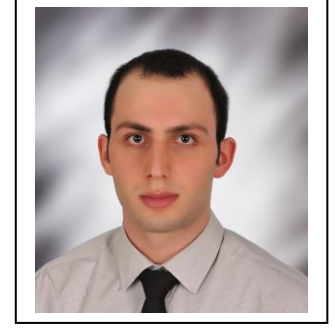
KAYNAKLAR

- Akgün, N.** (t.y.). *Atmosferik Kararlılığın Değerlendirilmesi*. Erişim: 28 Kasım 2016, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/indisler.pdf>
- American Meteorological Society (AMS)** (2012). “Cloud” Retrieved November 18, 2016, from <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Cloud>
- Atalay, İ.** (2010). *Uygulamalı Klimatoloji*. Meta basım Matbaacılık, İzmir.
- Bilgin, Recai.** (1997). *Türkiye’de Su Sorunları ve Çözüm Önerileri*. Meteoroloji Mühendisliği TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası Yayın Organı. Sayı 2: 18.
- Çelik, H. E.** (2016). Sel/Taşkın Kontrolünde Terminoloji Sorunu. *4. Ulusal Taşkın Sempozyumu*, (s.573-578). Rize: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, 23 – 25 Kasım.
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI).** (t.y.). *Meteoroloji Ders Kitabı*. (s.24–25).
- Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)** (2010). *Radar Measurements*. Retrieved November 23, 2016, from https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/CIMO-Guide/Prelim-2014Ed/Prelim2014Ed_P-II_Ch-9.pdf
- Eken, M., Ceylan, A., Taştekin, T. A., Şahin, H., & Şensoy, S.** (2014). *Klimatoloji II*. DMİ Yayınları.
- Eminoğlu, S., Beştepe, F., Geçer, C., & Öztürk, K.** (2015). Meteorolojik Karakterli Doğal Afetlerin Tahmininde Meteoroloji Radarlarının Kullanılması, *TMMOB Afet Sempozyumu*. (s.143-157). Erişim: 20 Kasım 2016 <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3897.pdf>
- Gökter, M.** (2006) Türkiye’de Taşkın Afetleri ve Sivil Savunma, *I. Ulusal Taşkın Sempozyumu Tebliğler Kitabı*, 10-12 Mayıs 2006 DSİ Genel Müdürlüğü, Konferans Salonu, Yücetepe, Ankara, (s.157-163).
- Görçelioğlu, E.** (2003). *Sel ve Çığ Kontrolü*. İ.Ü. Yayın No. 4415, Orman Fakültesi Yayın No 473, İstanbul.
- Hopa Belediyesi Resmi Web Sitesi.** (t.y.). *Coğrafi Yapı*, Erişim: 12 Temmuz 2016 <http://www.hopa.bel.tr/?pnum=9>
- Houze, R. A.** (1993). *Cloud Dynamics*. San Diego: Academic Press.
- Kadioğlu, M.** (2008) *Sel, Heyelan ve Çığ için Risk Yönetimi*; Kadioğlu, M. ve Özdamar, E., (editörler), “Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri”; (s.251-276), JICA Türkiye Ofisi Yayınları No: 2, Ankara

- Klimatoloji Şube Müdürlüğü.** (2004), *Klimatoloji II Ders Kitabı*. DMİ Yayınları.
- Klimatoloji Şube Müdürlüğü.** (t.y.). *İklim Sınıflandırmaları*. Erişim: 13 Eylül 2016. https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari.pdf
- Kömüşçü, A. Ü, Çelik, S., & Ceylan, A.** (2011). 8-12 Eylül 2009 Tarihlerinde Marmara Bölgesi'nde Meydana Gelen Sel Olayının Yağış Analizi. Co, 209-220. doi:10.1501/cogbil_0000000125
- Kurino, T.** (1996). A Rainfall Estimation with the GMS-5 Infrared Split-Window and Water Vapour Measurements, Tech. Rep., Meteorological Satellite Centre, Japan Meteorological Agency.
- Marshall, J. S., Palmer W. McK.** (1948). The Distribution of Raindrops with Size. J. Meteor., 5, (p.165–166).
- May, S.** (2015). *What Is a Satellite?* Retrieved November 23, 2016, from <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-a-satellite-58.html>
- MGM** (2016). *Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler 2015 Yılı Değerlendirmesi*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Meteorolojik Afetler Şube Müdürlüğü. Ankara.
- MGM** (n.d.). *MSG Uydu Görüntüleri ve Yorumlama*. Erişim: 19 Aralık 2016 <http://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojikuydular.aspx?s=61>
- MGM** (n.d.). T.C. ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Erişim: 6 Aralık 2016 <http://www.mgm.gov.tr/kurumsal/istasyonlarimiz.aspx>
- MGM.** (n.d.). *Karadeniz Ve Ortadoğu Ani Taşkın Erken Uyarı Projesi*. Erişim: 29 Kasım 2016, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/ani-taskin.pdf>
- New Jersey Audubon (NJA) (2014).** *What Is Radar?* Retrieved November 20, 2016, from <http://www.njaudubon.org/SectionOases/Whatisradar.aspx>
- Oğuz, K., Oğuz, E., & Çoşkun, M.** (2016). Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Taşkın Risk Alanlarının Belirlenmesi: Artvin İli Örneği. 4. *Ulusal Taşkın Sempozyumu Tebliğler Kitabı*, (s.793-804).
- Özalp, D.** (2009). *Dere Taşkın Risk Haritalarının Cbs Kullanılarak Oluşturulması Ve Cbs İle Taşkın Risk Analizi*, (Doktora Tezi), Geomatik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ
- Özgüler, H.** (1997). *Su, Su Kaynakları Ve Çevresel Konular*. Meteoroloji Mühendisliği. TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası Yayın Organı Sayı 2: (s.57-63).
- Paddock, M. J., & Graves, C. E.** (2008). *Examining Preconvective Heavy Rainfall Environments Utilizing Observational and Model Analysis Proximity Soundings*. Martinelli reighton University, Nebraska
- Rosenfeld, D.** (2012). *Meteosat Microphysics RGBs*. Retrieved November 18, 2016, from http://www.eumetrain.org/resources/meteosat_microphysics_rgbs_2012.html

- Rosenfeld, D., Woodley, W. L., Lerner, A., Kelman, G., & Lindsey, D. T.** (2008). *Satellite Detection of Severe Convective Storms by Their Retrieved Vertical Profiles of Cloud Particle Effective Radius and Thermodynamic Phase*. Journal of Geophysical Research, 113 (D4). doi:10.1029/2007jd008600
- Santurett E, P. And C.G. Georgiev.** (2005). *Weather Analysis and Forecasting: Applying Satellite Water Vapor Imagery and Potential Vorticity Analysis*. Elsevier, Academic Press, ISBN 0-12-619262-6.
- Schipper, J., & Nietosvaara, V.** (2012). *Operational use of RGBs*. Retrieved November 18, 2016, from http://www.eumetrain.org/resources/operational_use_rgb.html
- SMHI** (2007). *Software User Manual for the SAFNWC/MSG Application: Software Part*. Retrieved November 18, 2016, from ftp://iacftp.ethz.ch/pub_read/giuntai/SAF-NWC-CDOP-INM-SW-SUM-2_v6.0.pdf
- Stein, A. F., Draxler, R. R., Rolph, G. D., Stunder, B. J., Cohen, M. D., & Ngan, F.** (2015). *NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System*. Bull. Amer. Meteor. Soc. Bulletin of the American Meteorological Society, 96 (12), 2059-2077. doi:10.1175/bams-d-14-00110.1
- Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)** (2013) *Algorithm Theoretical Basis Document for Cloud Products, Applicable to SAFNWC/MSG version 2013* Retrieved November 20, 2016, from <http://www.nwcsaf.org/HD/MainNS.jsp>
- Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)** (2014). *Product User Manual for "Cloud Products" (CMA-PGE01 v3.2, CTPGE02 v2.2 & CTHH-PGE03 v2.2)*. Retrieved November 20, 2016, from <http://www.nwcsaf.org/HD/MainNS.jsp>
- Turan, B., Dr., Akçalı, E., Dr., & Turan, B.** (2016, November 23). Doğu Karadeniz Sahil Kesiminde Taşkın Etkisinin Taşkın Tehlike Haritaları İle Analizi. Artvin İli Örneği. 4. *Ulusal Taşkın Sempozyumu Tebliğler Kitabı*, (s.529-546).
- Türkiye Ormancılar Derneği.** (2015). *Artvin İli, Hopa İlçesi Ve Çevresinde 24 Ağustos 2015 Tarihinde Meydana Gelen Sel Ve Heyelan Felaketi Hakkında Rapor*. Erişim: 7 Kasım 2016, http://ormancilardernegi.org/UserFiles/file/tod_hopa_sel_raporu.pdf
- Ulupınar, Y., Çelik, S., Gülsoy, E., Akbaş, A. İ., & Köse, S.** (2015). 24 Ağustos 2015 Tarihinde Hopa'da Meydana Gelen Şiddetli Yağışın Meteorolojik ve Hidrometeorolojik Analizi. II. *Uzaktan Algılama Sempozyumu*, 622-633.
- Vicente, G.A., Davenport, J.C. and Scofield, R.A.** (1999) *The role of orographic and parallax corrections on real time high resolution satellite rainfall estimation*, Proc. 1999 Eumetsat Meteorological Satellite Data User's Conferences, EUM P26, pp. 161-168.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Onur DURMUŞ
Doğum Tarihi ve Yeri : 18.02.1991 - ANKARA
E-posta : odurmus@thk.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Atmosfer Bilimleri Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2014 yılında Türk Hava Kurumu Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak başladığı görevine, 2016 yılından itibaren Öğretim Görevlisi olarak devam etmektedir.
- 2014 yılı, Meteoroloji Mühendisliği Lisans ikincilik derecesi

Yayınlar;

- İşler S., Oğuz E., Durmuş O., (2016). Antalya Kemer İlçesi için Sentetik Yöntemlerle Taşkın Analizi. 4. Ulusal Taşkın Sempozyumu, 23-25 Kasım 2016 Rize, Türkiye.