

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE’NİN HORTUM KLİMATOLOJİSİ
VE
ETKİLİ OLAN YÜKSEK ATMOSFER
KOŞULLARININ İNCELENMESİ

BERKEHAN BAKIR
2501180058

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. BARBAROS GÖNENÇGİL

İSTANBUL – 2021

ÖZ

TÜRKİYE’NİN HORTUM KLİMATOLOJİSİ VE ETKİLİ OLAN YÜKSEK ATMOSFER KOŞULLARININ İNCELENMESİ

BERKEHAN BAKIR

Bu tez çalışmasının temel hedefi Türkiye’de meydana gelmiş olan hortum olaylarını araştırmak; coğrafi, zamansal ve mekânsal analizlerini yapmak ve yüksek atmosfer koşulları ile ilişkilerini incelemektir. Buna uygun olarak tez çalışması üç bölüm olarak hazırlanmıştır.

Birinci bölümde çeşitli kaynaklardan yararlanılarak hortumlar hakkında genel bilgi verilmeye çalışılmış; hortumların oluşumuna etki eden faktörler ve oluşum mekanizmaları, şiddet ölçekleri ve türleri anlatılmıştır.

Türkiye genelinde gerçekleşen hortum olaylarının coğrafi, zamansal ve mekânsal analizlerinin incelendiği ikinci bölümde; iki farklı kaynaktan alınan veri setleri birleştirilmiş, oluşturulan bu veri seti kullanılarak hortum olayları çeşitli kategorilere ayrılmış, coğrafi bölgelere, şiddetlerine, türlerine, ilerleme yönlerine göre dağılımları ile yıllık, aylık, saatlik bazlarda zamansal dağılımları analiz edilmiş, hem Türkiye geneli hem de coğrafi bölgeler özelinde hortum klimatolojileri incelenmiştir.

Üçüncü bölümde ise her coğrafi bölge için jeopotansiyel yükseklik, deniz seviyesi basıncı, özgül nem, rüzgâr şiri gibi atmosferik parametreler kullanılarak ortalama ve anomali haritaları hazırlanmış, değerler karşılaştırılmış ve yüksek atmosfer koşullarının durumu incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hortum, tornado, hortum klimatolojisi, atmosferik afet, yüksek atmosfer, Türkiye

ABSTRACT

INVESTIGATION OF TURKEY'S TORNADO CLIMATOLOGY AND EFFECTIVE HIGH ATMOSPHERIC CONDITIONS

BERKEHAN BAKIR

The main objective of this thesis is to investigate the tornado events that have occurred in Turkey; to conduct geographical, temporal and spatial analyses and to examine their relationship with high atmospheric conditions. According to this aim, the thesis study is prepared as three sections.

In the first part, general information about tornadoes was tried to be given by using various sources and their formation mechanisms, intensity scales and types were explained.

In the second part; geographical, temporal and spatial analyses of tornado events taking place throughout Turkey were examined. Data sets from two different sources were combined and tornado events were divided into various parameters. Then, their distribution according to geographical regions, severity, types, direction of progress and temporal distribution on annual, monthly, hourly basis were analyzed.

In the third part, average and anomaly maps were prepared using various atmospheric parameters like geopotential height, sea level pressure, specific moisture, wind shear for each geographical region. Their values were compared and the status of high atmospheric conditions was examined.

Keywords: Tornado, tornado climatology, atmospheric disaster, high atmosphere, Turkey

ÖNSÖZ

Atmosferik bir afet olan hortum olayı, diğer doğal afetlere kıyasla tahmin edilmesi ve önlem alınması zor olduğundan üzerinde durulması ve klimatolojik olarak incelenmesi gereken bir doğa olayıdır. Oluşum ve gelişimleri kesin bir temele henüz oturtulamamış olan hortumların, günümüzde tanık olduğumuz iklim değişikliği süreçlerinden nasıl etkilenecekleri sorusu da kesin bir şekilde cevaplanamamıştır. Bu nedenle kapsamlı hortum klimatolojisi çalışmaları ayrı bir önem arz etmektedir. Başta Amerika Birleşik Devletleri ve bunun yanında pek çok Avrupa ve çeşitli Asya ülkelerinde kapsamlı hortum klimatolojisi çalışmaları yapılmış durumdadır. Ülkemize bakıldığında ise hortum olaylarında son yıllarda bir artış görülmekte ise de bu konuda yapılmış bilimsel çalışmalar az sayıdadır.

Lisans dönemimden beri çok çeşitli konularda bana yardımcı olan, bu çalışma süreci boyunca da bilgisi ve yardımları ile benden desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Barbaros GÖNENÇİL'e öncelikle teşekkürü borç bilirim.

Çalışmam boyunca beni her konuda sürekli destekleyen sevgili annem Sema BAKIR ve babam Ahmet BAKIR'a sevgi, saygı ve minnetlerimi sunarım.

Teknik destek konularında ve özellikle coğrafi bilgi sistemleri temelli analizlerde her türlü yardımlarını sunan arkadaşlarım Mustafa Kağan ÖZBİLGE ve Asena ÇETİNKAYA'ya çok teşekkür ederim.

Bu çalışmada kullanılan veri setinin bir kısmı European Severe Weather Database (ESWD) tarafından sağlanmıştır. Benimle şahsen ilgilenip, çalışmamda bana büyük kolaylık sağlayan ve yardımı dokunan bu verileri tarafıma ulaştıran Thomas M. E. SCHREİNER'e ve European Severe Storms Laboratory (ESSL) – European Severe Weather Database'e (ESWD) teşekkür ederim.

Meteorolojik veriler ve fevk raporlarını tarafıma ulaştıran Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Bu tez çalışması TÜBİTAK 2211 Yurt İçi Lisansüstü Burs Programı tarafından desteklenmiştir. Bursiyeri olduğum TÜBİTAK'a sağladığı maddi destekten ötürü teşekkür ederim.

İSTANBUL, 2021
BERKEHAN BAKIR

İÇİNDEKİLER

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	x
GRAFİKLER LİSTESİ	xi
KISALTMALAR LİSTESİ	xiii
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM GENEL BİLGİLER

1.1. Hortumların Genel Özellikleri	6
1.2. Hortum Oluşumu ve Şiddeti	8
1.2.1. Hortum Oluşumuna Etki Eden Faktörler.....	10
1.2.1.1. Kararsızlık ve Orajlar	10
1.2.1.2. Rüzgâr Kayması (Rüzgâr Şiri)	13
1.2.1.3. Sıcaklık Terselmesi (Enverziyon).....	14
1.2.2. Hortum Şiddet Ölçekleri	15
1.3. Hortum Türleri	21
1.3.1. Mezosiklonik Hortumlar (Süperhücre Hortumları).....	21
1.3.2. Mezosiklonik Olmayan (Non-Mezosiklonik) Hortumlar	22
1.3.2.1. Toz Hortumları (Gustnado)	22
1.3.2.2. Su Hortumları (Waterspouts)	23

İKİNCİ BÖLÜM TÜRKİYE HORTUM KLİMATOLOJİSİ

2.1. Coğrafi ve Mekânsal Dağılım	24
2.1.1. Bölgelere Göre Dağılım	27
2.1.1.1. Marmara Bölgesi Hortum Dağılımları.....	28

2.1.1.2. Ege Bölgesi Hortum Dağılımları.....	29
2.1.1.3. Akdeniz Bölgesi Hortum Dağılımları	30
2.1.1.4. İç Anadolu Bölgesi Hortum Dağılımları	31
2.1.1.5. Karadeniz Bölgesi Hortum Dağılımları	32
2.1.1.6. Doğu Anadolu Bölgesi Hortum Dağılımları	33
2.1.1.7. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Hortum Dağılımları.....	34
2.1.2. Yoğunluk Analizleri.....	35
2.1.2.1. Marmara Bölgesi	37
2.1.2.2. Ege Bölgesi	37
2.1.2.3. Akdeniz Bölgesi.....	38
2.1.2.4. İç Anadolu Bölgesi.....	39
2.1.2.5. Karadeniz Bölgesi.....	40
2.1.2.6. Doğu Anadolu Bölgesi	41
2.1.2.7. Güneydoğu Anadolu Bölgesi	42
2.2. Zamansal Dağılım.....	43
2.2.1. Yıllık Dağılım.....	43
2.2.2. Aylık Dağılım.....	44
2.2.2.1. Marmara Bölgesi	44
2.2.2.2. Ege Bölgesi	45
2.2.2.3. Akdeniz Bölgesi.....	46
2.2.2.4. İç Anadolu Bölgesi.....	47
2.2.2.5. Karadeniz Bölgesi.....	47
2.2.2.6. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri	48
2.2.3. Mevsimsel Dağılım.....	50
2.2.4. Saatlik Dağılım.....	55
2.3. Hortum Türlerine Göre Dağılım	55
2.3.1. Marmara Bölgesi.....	57

2.3.2. Ege Bölgesi.....	59
2.3.3. Akdeniz Bölgesi	61
2.3.4. Karadeniz Bölgesi.....	62
2.4. Şiddete Göre Dağılım	64
2.4.1. Fujita Ölçeği.....	64
2.4.2. TORRO Ölçeği.....	65
2.5. İlerleme Yönlerine Göre Dağılım	66

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YÜKSEK ATMOSFER KOŞULLARININ İNCELENMESİ

3.1. Marmara Bölgesi	68
3.2. Ege Bölgesi.....	71
3.3. Akdeniz Bölgesi.....	75
3.4. İç Anadolu Bölgesi	79
3.5. Karadeniz Bölgesi	83
3.6. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri	86
DEĞERLENDİRME VE SONUÇ.....	92
KAYNAKÇA	96

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil I: Fevk raporları alınan ravinsonde istasyonları.	4
Şekil II: ESWD kalite kontrol aşamaları.	5
Şekil 1. 1: Dünya genelinde hortum yaşanma olasılığı yüksek olan bölgeler	7
Şekil 1. 2: Hortumların oluşum düzeneği.....	9
Şekil 1. 3: Çokhücre orajlarının yapısı.....	11
Şekil 1. 4: Rüzgâr şiri ve yükselici hava hareketlerinin etkisi ile süperhücre oluşumu.	12
Şekil 1. 5: Bir süperhücre orajının basitleştirilmiş kesiti.	13
Şekil 1. 6: Güçlü rüzgâr şirinin bir oraja etkisi.....	14
Şekil 1. 7: Hortum oluşturan bir süperhücre orajının kesiti.....	22
Şekil 1. 8: Bir toz hortumu oluşumunun şematik gösterimi.	23
Şekil 2. 1: 2000-2019 yılları arasında gerçekleşen hortumların mekânsal dağılımı.....	25
Şekil 2. 2: 2000-2019 yılları arasında gerçekleşen hortumların illere göre sayısal dağılımı.....	26
Şekil 2. 3: Hortum olaylarının Marmara Bölgesi'ndeki dağılımı.....	29
Şekil 2. 4: Hortum olaylarının Ege Bölgesi'ndeki dağılımı.....	30
Şekil 2. 5: Hortum olaylarının Akdeniz Bölgesi'ndeki dağılımı.	31
Şekil 2. 6: Hortum olaylarının İç Anadolu Bölgesi'ndeki dağılımı.	32
Şekil 2. 7: Hortum olaylarının Karadeniz Bölgesi'ndeki dağılımı.	33
Şekil 2. 8: Hortum olaylarının Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki dağılımı.....	34
Şekil 2. 9: Hortum olaylarının Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki dağılımı. Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Şekil 2. 10: Türkiye geneli hortum yoğunluk haritası.	36
Şekil 2. 11: Marmara Bölgesi hortum yoğunluk haritası.....	37
Şekil 2. 12: Ege Bölgesi hortum yoğunluk haritası.....	38
Şekil 2. 13: Akdeniz Bölgesi hortum yoğunluk haritası.	39
Şekil 2. 14: İç Anadolu Bölgesi hortum yoğunluk haritası.	40
Şekil 2. 15: Karadeniz Bölgesi hortum yoğunluk haritası.	41
Şekil 2. 16: Doğu Anadolu Bölgesi hortum yoğunluk haritası.....	42
Şekil 2. 17: Güneydoğu Anadolu Bölgesi hortum yoğunluk haritası.....	42
Şekil 2. 18: Hortum olaylarının (a) İlkbahar, (b) Yaz, (c) Sonbahar, (d) Kış olmak üzere Türkiye geneli yoğunluk haritaları.....	51
Şekil 3. 1: Seçilen 120 hortumun Türkiye geneli dağılımı.	67

Şekil 3. 2: Marmara Bölgesi hortum günlerine ait 500 mb. jeopotansiyel yükseklik ortalama ve anomali haritası.....	69
Şekil 3. 3: Marmara Bölgesi hortum günlerine ait deniz seviyesi basıncı ortalama ve anomali haritası.	69
Şekil 3. 4: Marmara Bölgesi hortum günlerine ait özgül nem ortalama ve anomali haritası.....	70
Şekil 3. 5: Marmara Bölgesi hortum günlerine ait rüzgâr şiri ortalama (sol) ve anomali (sağ) haritası. (Üst: Yüzey - 850 mb., Alt: 850 - 200 mb. seviyeleri)....	71
Şekil 3. 6: Ege Bölgesi hortum günlerine ait 500 mb. jeopotansiyel yükseklik ortalama ve anomali haritası.....	73
Şekil 3. 7: Ege Bölgesi hortum günlerine ait deniz seviyesi basıncı ortalama ve anomali haritaları.	73
Şekil 3. 8: Ege Bölgesi hortum günlerine ait özgül nem ortalama ve anomali haritaları.	74
Şekil 3. 9: Ege Bölgesi hortum günlerine ait rüzgâr şiri ortalama (sol) ve anomali (sağ) haritaları. (Üst: Yüzey - 850 mb., Alt: 850 - 200 mb. seviyeleri).....	75
Şekil 3. 10: Akdeniz Bölgesi hortum günlerine ait 500 mb. jeopotansiyel yükseklik ortalama ve anomali haritaları.....	77
Şekil 3. 11: Akdeniz Bölgesi hortum günlerine ait deniz seviyesi basıncı ortalama ve anomali haritaları.	77
Şekil 3. 12: Akdeniz Bölgesi hortum günlerine ait özgül nem ortalama ve anomali haritaları.	78
Şekil 3. 13: Akdeniz Bölgesi hortum günlerine ait rüzgâr şiri ortalama (sol) ve anomali (sağ) haritaları. (Üst: Yüzey - 850 mb., Alt: 850 - 200 mb. seviyeleri) .	79
Şekil 3. 14: İç Anadolu Bölgesi hortum günlerine ait 500 mb. jeopotansiyel yükseklik ortalama ve anomali haritaları.....	80
Şekil 3. 15: İç Anadolu Bölgesi hortum günlerine ait deniz seviyesi basıncı ortalama ve anomali haritaları.	81
Şekil 3. 16: İç Anadolu Bölgesi hortum günlerine ait özgül nem ortalama ve anomali haritaları.	81
Şekil 3. 17: İç Anadolu Bölgesi hortum günlerine ait rüzgâr şiri ortalama (sol) ve anomali (sağ) haritaları. (Üst: Yüzey - 850 mb., Alt: 850 - 200 mb. seviyeleri) .	82
Şekil 3. 18: Karadeniz Bölgesi hortum günlerine ait 500 mb. jeopotansiyel yükseklik ortalama ve anomali haritaları.....	84

Şekil 3. 19: Karadeniz Bölgesi hortum günlerine ait deniz seviyesi basıncı ortalama ve anomali haritaları.	84
Şekil 3. 20: Karadeniz Bölgesi hortum günlerine ait özgül nem ortalama ve anomali haritaları.	85
Şekil 3. 21: Karadeniz Bölgesi hortum günlerine ait rüzgâr şiri ortalama (sol) ve anomali (sağ) haritaları. (Üst: Yüzey - 850 mb., Alt: 850 - 200 mb. seviyeleri) .	86
Şekil 3. 22: Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri hortum günlerine ait 500 mb. jeopotansiyel yükseklik ortalama ve anomali haritaları.	88
Şekil 3. 23: Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri hortum günlerine ait deniz seviyesi basıncı ortalama ve anomali haritaları.	88
Şekil 3. 24: Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri hortum günlerine ait özgül nem ortalama ve anomali haritaları.	89
Şekil 3. 25: Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri hortum günlerine ait rüzgâr şiri ortalama (sol) ve anomali (sağ) haritaları. (Üst: Yüzey - 850 mb., Alt: 850 - 200 mb. seviyeleri)	90

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. 1: Hortumların şiddet sınıflandırmalarında kullanılan Fujita ölçeği.	16
Tablo 1. 2: Fujita Ölçeği ile Geliştirilmiş Fujita (Enhanced Fujita / EF) Ölçeği karşılaştırması.	17
Tablo 1. 3: Geliştirilmiş Fujita (EF) Ölçeği Hasar Göstergeleri.....	18
Tablo 1. 4: TORRO Ölçeği Skalası.....	20
Tablo 3. 1: Marmara Bölgesi'nden seçilen hortum olayları.	68
Tablo 3. 2: Ege Bölgesi'nden seçilen hortum olayları.	72
Tablo 3. 3: Akdeniz Bölgesi'nden seçilen hortum olayları.	76
Tablo 3. 4: İç Anadolu Bölgesi'nden seçilen hortum olayları.....	80
Tablo 3. 5: Karadeniz Bölgesi'nden seçilen hortum olayları.....	83
Tablo 3. 6: Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinden seçilen hortum olayları. ...	87
Tablo 3. 7: Bölgelere ait ortalama değer aralıkları.	91
Tablo 3. 8: Bölgelere ait anomali değerleri aralıkları.....	91

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 2. 1: Hortum olaylarının coğrafi bölgelere göre dağılımı.....	27
Grafik 2. 2: Hortum olaylarının bölgelere göre yüzdelik dağılımları.....	28
Grafik 2. 3: 2000-2019 yılları arası hortum olaylarının yıllara göre dağılımı.....	43
Grafik 2. 4: 2000-2019 yılları arası hortum olaylarının aylara göre dağılımı.....	44
Grafik 2. 5: Marmara Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların aylara göre dağılımı. .	45
Grafik 2. 6: Ege Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların aylara göre dağılımı.	46
Grafik 2. 7: Akdeniz Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların aylara göre dağılımı....	46
Grafik 2. 8: İç Anadolu Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların aylara göre dağılımı.	47
Grafik 2. 9: Karadeniz Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların aylara göre dağılımı.	48
Grafik 2. 10: Doğu Anadolu Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların aylara göre dağılımı.....	49
Grafik 2. 11: Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların aylara göre dağılımı.....	49
Grafik 2. 12: Hortum olaylarının Türkiye genelinde mevsimlere göre dağılımı.	50
Grafik 2. 13: Hortum olaylarının bölgelere göre mevsimlik dağılımları.....	54
Grafik 2. 14: Hortumların saatlik dilimlere (UTC) göre dağılımı.	55
Grafik 2. 15: Hortumların türlerine göre dağılımı.	56
Grafik 2. 16: Hortum türlerinin saatlik dilimlere (UTC) göre dağılımı.	57
Grafik 2. 17: Marmara Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre aylık dağılımları.....	58
Grafik 2. 18: Marmara Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre saatlik (UTC) dağılımları.	59
Grafik 2. 19: Ege Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre aylık dağılımları.....	60
Grafik 2. 20: Ege Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre saatlik (UTC) dağılımları.....	60
Grafik 2. 21: Akdeniz Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre aylık dağılımları.....	61
Grafik 2. 22: Akdeniz Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre saatlik (UTC) dağılımları.	62
Grafik 2. 23: Karadeniz Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre aylık dağılımları.....	63

Grafik 2. 24: Karadeniz Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre saatlik (UTC) dağılımları.	64
Grafik 2. 25: Hortumların Fujita Ölçeği'ne göre şiddet dağılımları.	65
Grafik 2. 26: Hortumların TORRO Ölçeği'ne göre şiddet dağılımları.	66
Grafik 2. 27: Hortum olaylarının ilerleme yönlerine göre dağılımı.	66



KISALTMALAR LİSTESİ

CAPE	: Convective available potential energy (Mevcut konvektif potansiyel enerji)
EF	: Enhanced Fujita (Geliştirilmiş Fujita)
ESRL	: Earth System Research Laboratories (Yer Sistem Araştırma Laboratuvarları)
ESSL	: European Severe Storms Laboratory (Avrupa Şiddetli Fırtına Laboratuvarı)
ESWD	: European Severe Weather Database (Avrupa Şiddetli Hava Veritabanı)
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NCAR	: National Center for Atmospheric Research (Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi)
NCDC	: National Climatic Data Center (Ulusal İklim Veri Merkezi)
NCEP	: National Centers for Environmental Prediction (Ulusal Çevresel Tahmin Merkezleri)
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration (Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi)
NSSL	: The National Severe Storms Laboratory (Ulusal Şiddetli Fırtına Laboratuvarı)
PSL	: Physical Sciences Laboratory (Fiziki Bilimler Laboratuvarı)
QC	: Quality Control (Kalite Kontrolü)
SLP	: Sea level pressure (Deniz seviyesi basıncı)
TORRO	: Tornado and Storm Research Organisation (Hortum ve Fırtına Araştırma Organizasyonu)
TÜBA	: Türkiye Bilimler Akademisi

GİRİŞ

Doğal afet kavramı insanların genel yaşamını etkileyen ve çeşitli olumsuzluklara yol açan doğa olayları kaynaklı doğal yıkımlar olarak tanımlanabilir (TÜBA). Doğal afetler sonucunda genellikle uzun dönemde toplumsal hafızada derin izler bırakan ekonomik krizler, sosyal ve psikolojik açıdan olumsuz etkiler meydana gelir. Deprem, sel, taşkın, hortum, çığ, kütle hareketleri gibi doğal olaylar bunlara örnek verilebilir. Bunlar doğada sürekli gerçekleşen süreçlerdir; ancak ekstrem boyutlara ulaşır, insanlar üzerinde olumsuz etki yapmaya başladıkları anda doğal afet olarak nitelendirilirler.

“Doğal afetler, afetin oluşmasını tetikleyen faktöre göre sınıflandırılırlar. En yaygın kullanımına göre afetleri yersel, atmosferik (klimatolojik-meteorolojik, hidrolojik) ve biyolojik afetler olarak gruplandırabiliriz.” (Gönençgil & Deniz, 2016). Hortumlar da birer atmosferik kökenli doğal afettir ve ciddi can ve mal kayıplarına yol açabildiklerinden incelenmeleri önemlidir. Dünya genelinde fırtına karakterli önemli boyuttaki afetlerden 2018 yılında 95 tane gerçekleşmiş; bunların sonucunda ise 19,4 milyon insan afetlerden olumsuz olarak etkilenmiş, 70,8 milyar dolar ekonomik zarar meydana gelmiştir (CRED, 2018). Bundan dolayı ülkeler bazında detaylı hortum klimatolojilerini incelemek ve oluşturmak önem arz etmektedir. Nitekim Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa ülkeleri başta olmak üzere çok sayıda ülkenin çeşitli yılları kapsayan hortum klimatolojileri çalışılmıştır. Bu çalışmalara (Brázdil vd., 2020; Gayà, 2011; Giaioti vd., 2007; Holzer, 2001; Kirk, 2014; Rauhala vd., 2012; Sioutas vd., 2006; Sioutas, 2011; Sioutas & Keul, 2007; Taszarek & Brooks, 2015; Tyrrell, 2003; Leitão & Pinto, 2020; Miglietta & Matsangouras, 2018) örnek olarak verilebilir.

Yapılan literatür taramalarında Türkiye özelinde ise genellikle tek olayların ve hortum afetlerinin incelendiği görülmüştür. Kapsamlı hortum klimatolojisi düzeyinde ise önem arz eden birkaç tane çalışmaya rastlanmıştır. Literatür taramasında karşılaşılan bazı çalışmalar aşağıdaki gibidir:

Coşkun ve Aksoy (2007) yapmış oldukları çalışmada 19 Haziran 2004 tarihinde Ankara'nın Çubuk ilçesi sınırları içerisinde gerçekleşmiş olan Söğüt Hortumu olayını incelemişlerdir. Çalışmada öncelikli olarak hortumlar hakkında bilgi verilmiş ve bölgenin klimatolojik ve jeomorfolojik özellikleri anlatılmıştır. Hortum olayını incelemede yüksek seviye kartları, uzaktan algılama-uydu görüntüleri ve meteogramlar kullanılmış, hortumun oluştuğu tarih ve saatte atmosferin meteorolojik

durumu incelenmiştir. Çalışmada hortumun sonucunda meydana gelen etkiler ve yol açtığı hasarlara da değinilmiştir. Sonuç olarak yüksek kararsızlık ve rüzgâr şirinin hortumun oluşmasına sebep olduğu, hortum şiddetinin ise F-2 kategorisinde olduğu tespit edilmiştir.

Yurtseven (2013) hazırladığı çalışmada 9 Nisan 2014 tarihinde Elazığ'ın Maden ilçesinde meydana gelmiş olan hortum olayının oldukça detaylı bir şekilde analizini gerçekleştirmiş; sinoptik ortam parametreleri, yukarı seviye analizleri, termodinamik diyagramlar, dikey kesit grafikleri, uydu verileri gibi veri kaynaklarını kullanarak hortumun oluştuğu tarihte atmosfer koşullarını derin bir biçimde incelemiştir.

Kahraman ve Markowski (2014) yapmış oldukları çalışmada Türkiye'yi hortumlar açısından dört bölgeye ayırmışlar, çeşitli veri setleri kullanarak hortumların zamansal ve mekânsal analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma içerisinde hazırlanmış olan olayların coğrafi dağılım haritası, Türkiye hortumlarının oldukça detaylı bir şekilde dağılımını gösteren ilk ciddi haritadır. Çalışma, Kahraman'ın 2016 yılında hazırlamış olduğu "Tornadoes, Severe Hail, and Their Environments in Turkey" adlı tez çalışmasından derlenmiştir.

Yavuz vd. (2015) yapmış oldukları çalışmanın temelini ESWD verilerine dayandırmıştır. Çalışmada bu veriler kullanılarak Türkiye'de 1997-2015 yılları arasında gerçekleşen hortumların yıllık ve aylık dağılımları, coğrafi ve mekânsal analizleri incelenmiştir.

Koç ve Ünlüler (2017), Coşkun & Aksoy (2007)'ye benzer şekilde yaptıkları çalışmada Muğla ilinin Çallı köyünde meydana gelmiş olan bir hortum olayını incelemişlerdir. Çalışmanın giriş bölümünde Türkiye'de meydana gelen önemli hortum olayları ile bunların coğrafi ve mevsimlik dağılımları hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra yer kartları, yüksek seviye haritaları, radar ve uydu görüntülerinden yararlanılarak hortum tarih ve saatindeki atmosferin durumu incelenmiştir. Sonuç olarak hortum incelemelerinde uzaktan algılama ve radar teknolojilerinin önemine vurgu yapılmış, bu verilerin hortum incelemelerinde ne şekilde kullanılabileceği konusunda bilgi verilmiş ve hortum oluşumuna yol açabilecek atmosferik koşullar hakkında örnekler sunulmuştur.

Demircan vd. (2019) hazırladıkları çalışmada hortum afetlerinin iklim değişikliği ile bağlantısını incelemiş; Akdeniz ve Karadeniz'deki nem artışının meteorolojik afetlerin

şiddetini arttırabileceğini, iklim modellerinin ilkbahar ve yaz mevsimleri için Akdeniz, Ege, Marmara ve Karadeniz bölgelerinde yağışın arttığını gösterdiğini, aynı modellerde sıcaklık artışının da görüldüğü ve artan buharlaşma da göz önüne alındığında bu faktörlerin hortum sayısının gelecekte artmaya devam edeceğini belirtmiştir.

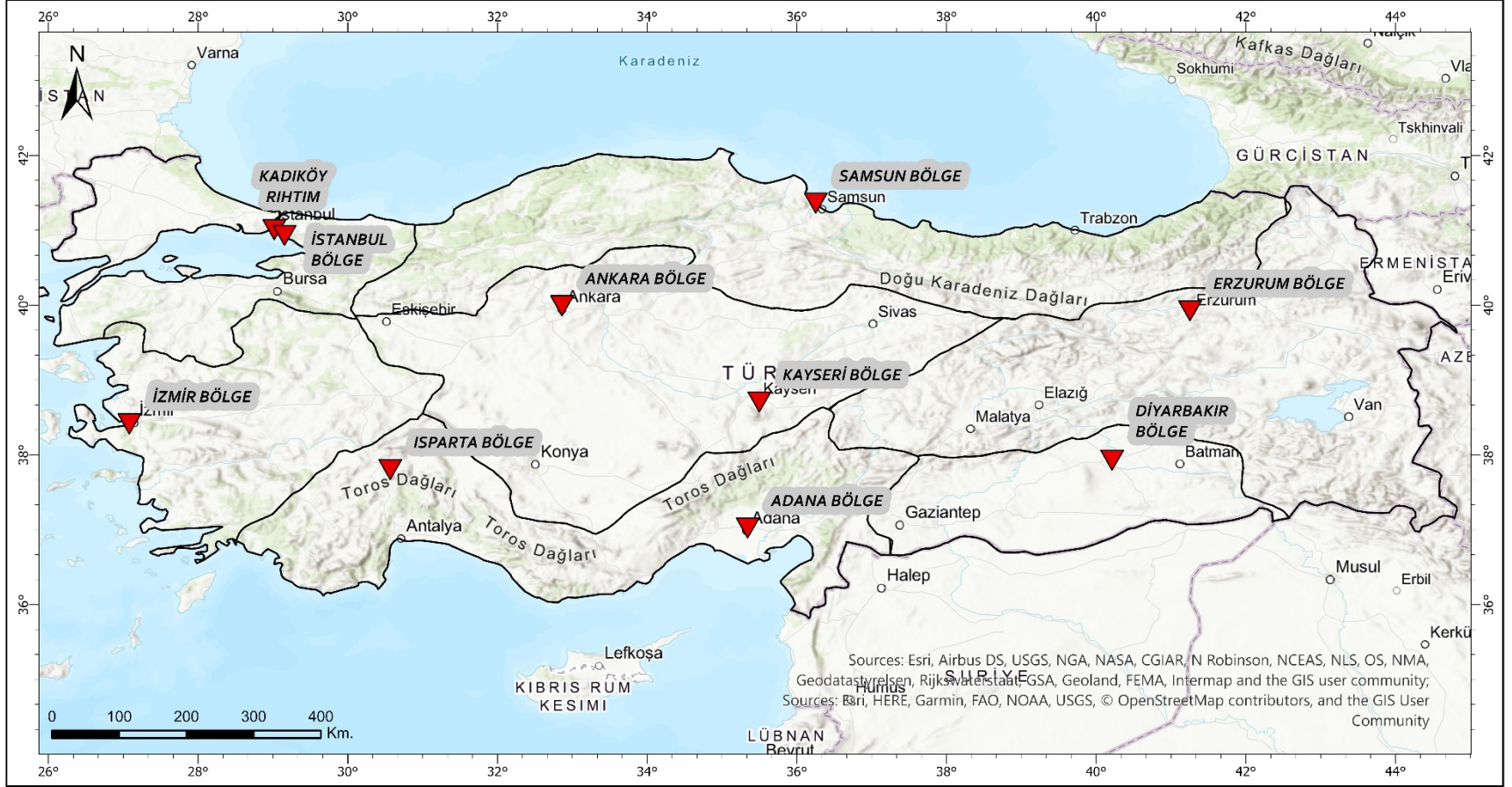
Kahraman (2020) yapmış olduğu çalışmada Türkiye’de meydana gelmiş süperhücre hortumlarının sinoptik klimatolojisini incelemiştir. Çalışmada sinoptik koşullar çeşitli kategorilere ayrılmış; yüksek atmosfer haritaları, CAPE değerleri, Skew-T diyagramları gibi veriler kullanılarak süperhücre hortumları görülen tarihlerde atmosferin sinoptik koşulları incelenmiştir.

Kolay vd. (2020) yapmış oldukları çalışmalarında 29 Kasım 2018 tarihinde Bodrum’da meydana gelen ve sel ile birlikte gerçekleşen hortum olayını incelemişlerdir.

Özgenç (2020) hazırlamış olduğu tez çalışmasında öncelikli olarak Türkiye ve Akdeniz Bölgesi’nde meydana gelmiş hortum olaylarının klimatolojik analizini gerçekleştirmiş, daha sonra da Akdeniz Bölgesi’nde Kasım 2016 Demre ve Ocak 2017 Finike hortumlarının sinoptik analizini model çıktıları, uydu görüntüleri ve radar verileri kullanarak gerçekleştirmiştir.

Materyal ve Yöntem

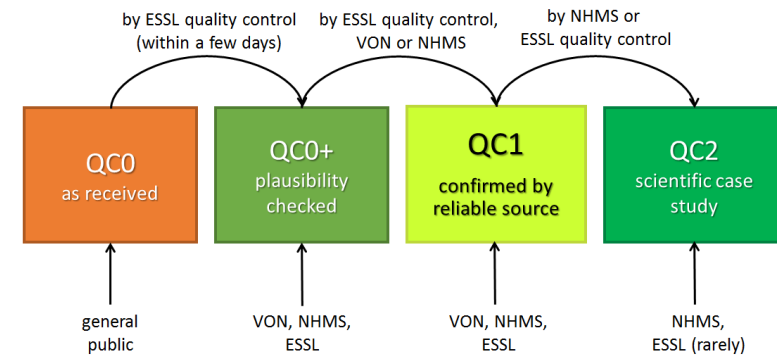
Çalışma için ilk olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü’ne (MGM) ait Türkiye genelinde faaliyet gösteren 10 ravinsonde istasyonundan 1975- 2018 dönem aralıklı hortum fevk raporları alınmıştır (Şekil-I). İkinci olarak ise Avrupa Şiddetli Fırtına Laboratuvarı’na (ESSL) bağlı olarak çalışan Avrupa Şiddetli Hava Veri Tabanı’ndan (European Severe Weather Database – ESWD) 1997-2019 dönemini kapsayan 22 yıllık hortum verileri temin edilmiştir. İki veri tabanı da Microsoft Excel programına aktarılmış, incelenmiş ve düzenlenmiş; daha sonra MGM ve ESWD verileri tek bir dosyada birleştirilerek çoklu kayıt girişleri temizlenmiş ve veri seti analizler için kullanıma hazır hale getirilmiştir. Bu işlemler sonucunda çalışmada kullanılabilecek nitelikte olan 2000 – 2019 yılları arasında toplamda 616 hortum olayı belirlenmiştir. Bu olaylar tarih, saat, konum, koordinat, şiddet, hasar gibi özelliklerine göre kategorilere ayrılıp analiz edilmiştir.



Şekil I: Fevk raporları alınan ravinsonde istasyonları.

Çalışmada iki farklı veri tabanından yararlanılmasının sebebi; MGM kayıtlarında eksiklikler ve düzensizlikler olması, ayıklamalar yapıldığında MGM setinde yıl aralığının 2004-2017'ye kadar düşmesi, eski yıllarda kaydedilen olayların güvenilirliğinin düşük olması ve olay türünün kesin ifadelerle belirtilmemesidir. ESWD'den alınan veri setinde kaydedilmiş hortum olaylarına ait görüntüler, videolar, haberler, internet siteleri gibi çeşitli kaynaklar da verilmekte; bu da verilerin güvenilirliğini artırmaktadır. ESSL, ESWD verilerini kalite açısından dört QC (quality control – kalite kontrol) sınıfına ayırmaktadır. QC0 seviyesindeki veriler güvenilirliği kontrol edilmemiş bir kaynaktan eklenen verilerdir ve kontrolü halen devam etmektedir. QC0+ verileri olasılığı yüksek hortum olaylarıdır. Bu veriler olayın etkili olduğu bölgenin ve tarihin meteorolojik koşulları göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. QC1 verileri güvenilir bir kaynak tarafından doğrulanmış olaylardır. QC2 sınıfı veriler ise doğruluk kontrolünün yanı sıra bir uzman tarafından hortumun doğası ve etkileri temelli bir incelemesi yapılmış olaylardır. MGM verileri ise tarih, yer, olay tanımı ve zarar gibi kategorilere ayrılmış, herhangi bir kalite ve doğruluk kontrolüne ya da şiddet vb. bilgilere yer verilmemiştir. Ek olarak hortum olaylarına ait şiddet değeri, koordinat, zaman ve yer doğruluğu, veri kaynakları gibi önemli bilgiler MGM veri setinde bulunmamakta, ESWD verilerinde yer almaktadır. Bu özelliği de ESWD veri tabanından yararlanma tercihinde etkili olmuştur.

ESWD Quality control



* reliable sources include:

- conclusive photo and/or video material, with accurate time & location
- certified storm spotter reports

VON = Voluntary Observer Network
NHMS = National Hydro-Meteorological Service



Kaynak: <https://www.essl.org/cms/european-severe-weather-database/eswd-quality-control/>

Şekil II: ESWD kalite kontrol aşamaları.

Çalışmada kullanılan veri setindeki toplamda 616 hortum olayının 473'ü (%76,78) ESWD verilerine, 143'ü (%23,21) ise MGM verilerine aittir.

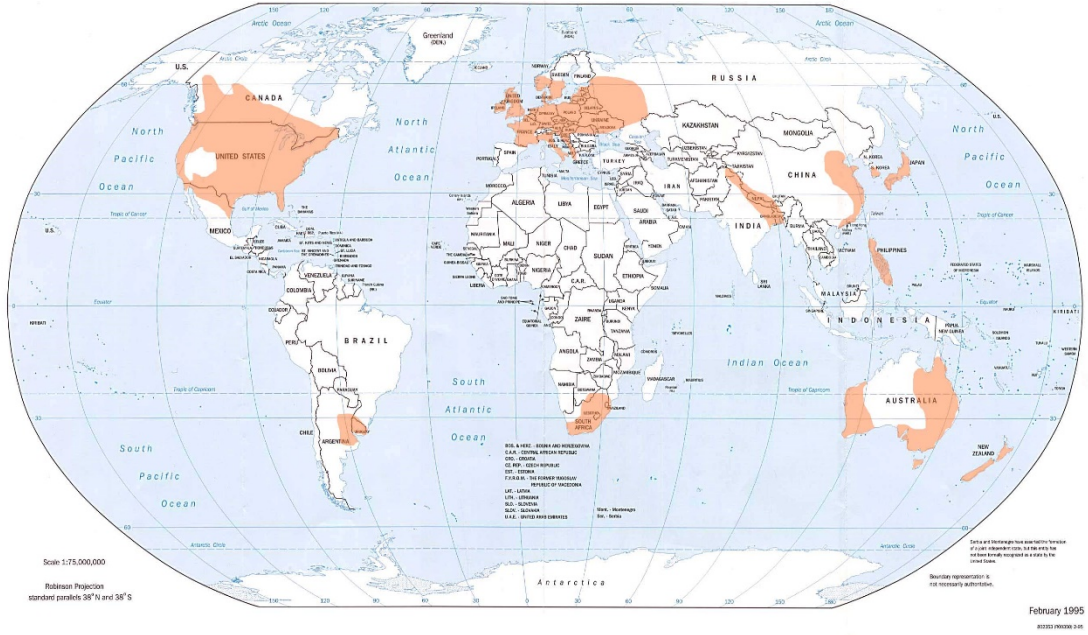
BİRİNCİ BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Hortumların Genel Özellikleri

“Hortum, iyi gelişmiş derin bir konvektif fırtına bulutunun tabanından siklonik bir dönüşle birlikte yeryüzüne ulaşan küçük ama şiddetli-derin bir alçak basınç alanının çevresinde hızla dönen bir hava sütunu olarak tanımlanabilir.” (Türkeş, 2015). Bir hortumun sirkülasyonu yüzeye doğru uzanan bir huni bulutu sayesinde görünür hale gelebilir fakat yüzeye doğru uzanan görünür bir yapısı olması, hortum varlığı için gerekli değildir. Tornadolar ya da diğer adıyla hortumlar, ciddi hasar oluşturabilen ve ağır can ve mal kayıplarına sebep olabilen şiddetli atmosferik afetlerden bir tanesidir. Diğer doğal afetlere kıyasla etki süreleri daha kısa olmasına rağmen rüzgâr hızları, oluşacakları yerler, ilerleyecekleri yol gibi özellikleri kesin olarak tahmin edilemediğinden etkili oldukları bölgelerde önemli problemlere sebep olabilmektedirler. Bu nedenle kapsamlı hortum klimatolojileri oluşturmak günümüzde giderek önemli bir çalışma alanı haline gelmektedir.

Hortum, Avustralya’dan Kuzey Amerika’ya Dünya’nın tüm kıtalarında görülebilen bir doğa olayıdır. Dünya genelinde en fazla hortum olayı gerçekleşen ülkeler arasında birinci sırada ABD gelmektedir. ABD’de her yıl yaklaşık 1200 hortum olayı gerçekleşmektedir. Hortum yoğunluğunun en yüksek olduğu ülkeler olarak ABD dışında ise Arjantin ve Bangladeş sayılabilir (NSSL). Bu ülkelerin dışında Kuzey Avrupa’nın büyük bir kesimi, Batı Asya, Avustralya ve Yeni Zelanda, Japonya örnek olarak verilebilir (Şekil-1.1).



Kaynak: <https://www.ncdc.noaa.gov/climate-information/extreme-events/us-tornado-climatology>

Şekil 1. 1: Dünya genelinde hortum yaşanma olasılığı yüksek olan bölgeler.

Dünya’da gerçekleşmiş en şiddetli hortum olayı; ABD’nin Missouri, Illinois ve Indiana eyaletlerini kapsayan, saatte 96-117 km/h hızla yaklaşık 390 km.’lik yol katetmiş, F-5 şiddetindeki Üç Eyalet Hortumu (Tri-State Tornado)’dur. 18 Mart 1925 tarihinde gerçekleşen olay sonucunda kesin bir sayı verilemese de 700’e yakın insan hayatını kaybetmiş, 3000’e yakın kişi yaralanmıştır (NOAA – SPC).

Tarihteki en ölümcül hortum olayı ise 26 Nisan 1989 tarihinde Bangladeş’te gerçekleşmiş olan Daulatpur-Saturia Hortumu’dur. Hortum; yerel saat ile saat 18:00’da Bangladeş’in Manikganj bölgesinde gerçekleşmiş, 1300 insan yaşamını yitirmiş, 12.000 kişi yaralanmış, 120.000 kişi evsiz kalmış, bazı yerleşim merkezleri tamamen ortadan kalkmıştır. Yol açtığı sonuçlar sebebiyle olay, literatürde Dünya tarihinde gerçekleşmiş en ölümcül hortum afeti olarak geçmektedir (Hosen & Jubayer, 2016).

Tornado patlaması (tornado outbreak), tek ve belirli bir sinoptik sisteme bağlı olarak birden fazla ve çok sayıda hortum gerçekleşmesi olayıdır (Glossary of Meteorology). 2011 Süper Patlama (2011 Super Outbreak) olayı ise kayıtlara geçmiş en büyük, en ölümcül ve en fazla hasar veren hortum patlaması olayı olarak kabul edilmektedir. Sadece 27 Nisan günü içerisinde Alabama eyaleti ve çevresinde 5 tanesi EF-5

şiddetinde olmak üzere 120'nin üzerinde hortum meydana gelmiştir. Hortumların çok büyük bir kısmı yoğun nüfuslu alanlarda ve yakınlarında gerçekleşmiş, 315 ölüme ve 2400 yaralanmaya sebep olmuştur (Knox vd., 2013). 27-28 Nisan tarihlerinde gerçekleşen olay ABD'nin 14 eyaletinde etkili olmuştur (Sanders vd., 2020).

1.2. Hortum Oluşumu ve Şiddeti

Hortum oluşumu farklı atmosfer mekaniklerine ve özelliklerine bağlı olarak geliştiğinden tam olarak ne şekilde oluştuklarını belirleyen kesin bir model mevcut değildir. Bu konu tamamen aydınlatılmış bir konu olmasa da hortumların orajlar ile bağlantılı olarak oluştuğu ve atmosferin kararsız bir özellik göstermesinin gerekli olduğu bilinmektedir. Hortumlar genellikle güçlü rüzgâr şirinin bulunduğu bir ortamda süperhücre orajlarına bağlantılı olarak oluşurlar (Şekil-1.2). Hortumun dönüş hareketine sahip rüzgârları orajın içerisinde oluşup yüzeye doğru inebilir ya da tam tersi şekilde yüzeyde gelişip yukarı yönde de yükselebilir. Hortum oluşumu için çok çeşitli faktörlerin bir araya gelmesi gerekmektedir. Buna bağlı olarak özellikle şiddetli ve büyük hortumlar, yaşam süreleri boyunca belirli evrelerden geçerek gelişirler:

(1) Birinci evre, yüzeydeki toz benzeri döküntü unsurlarının döner bir şekilde yukarı doğru hareket ettiği anaför evresidir. Bu hareket, hortum sirkülasyonunun yüzeydeki işaretidir ve sonucunda genellikle kısa bir huni bulutu oluşarak fırtına tabanından yere doğru uzanır. Verebileceği hasar oldukça hafif olmasına karşın hortum bu evreden sonra giderek güçlenerek bir sonraki evreye geçiş yapar.

(2) İkinci evre, hortumun giderek gücünün arttığı olgunluk evresidir. Fırtına tabanından yüzeye doğru uzanan huni bulutu en büyük genişliğine ulaşır ve dik bir konuma gelir.

(3) Üçüncü ve son evre ise hortumun bir halat ya da ip görünümüne benzer şekilde incelindiği ve büküldüğü bozulma evresidir. Hortum, bu evrede yavaş yavaş gücünü kaybeder ve dağılır.

Bunlar klasik bir hortumun tipik gelişim evreleri olsa da ufak boyutlu hortumlar olgunluk evresini atlayarak direk olarak dağılma evresine geçebilirler. Fakat bir hortum olgunluk evresine ulaştığında, sirkülasyon hortum dağılana kadar yüzey ile bağlantıda kalır (Ahrens & Henson, 2017).

Hortumlar Nasıl Oluşur?

Hortumlar büyüklük, kuvvet ve konum gibi özellikleri açısından farklılıklar gösterebilir de hepsinin taşıdığı belirli bazı özellikler vardır.

①



Rüzgâr Şiri (Rüzgâr Kayması)

Hızlı esen rüzgârlar, karşıt yüzey rüzgârları üzerindeki havayı yatay bir girdap oluşacak şekilde -dönen bir tüp benzeri- çevirirler.

②



Havanın Yükselmesi

Güneşin ısıtması sonucu yüzeydeki hava hafifleyerek yükselir ve beraberinde yatay girdabın bir bölümünü de yükselterek dikey hale getirir.

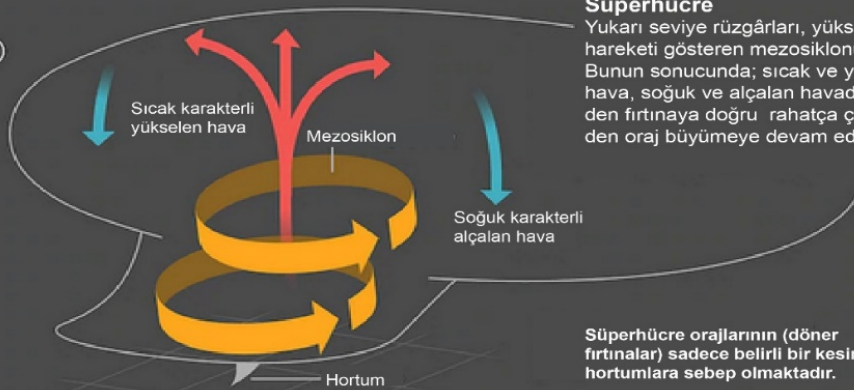
③



Fırtına

Isınan havanın yükselmesi sonucu oluşan iki girdaptan güçlü olanı orajın merkezi haline gelirken diğeri ise ortadan kalkar.

④



Süperhücre

Yukarı seviye rüzgârları, yükselerek dönüş hareketi gösteren mezosiklonu eğer. Bunun sonucunda; sıcak ve yükselen hava, soğuk ve alçalan havadan etkilenmeden fırtınaya doğru rahatça çekilebildiğinden oraj büyümeye devam edebilmektedir.

Süperhücre orajlarının (döner fırtınalar) sadece belirli bir kesimi hortumlara sebep olmaktadır.

NG STAFF. SOURCE: GABE GARFIELD, NATIONAL WEATHER SERVICE AND COOPERATIVE INSTITUTE FOR MESOSCALE METEOROLOGICAL STUDIES

Kaynak: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/tornadoes>

Şekil 1. 2: Hortumların oluşum düzeneği.

1.2.1.Hortum Oluşumuna Etki Eden Faktörler

1.2.1.1. Kararsızlık ve Orajlar

Hortumların ve orajların oluşumunda en temel faktör atmosferin kararlılık durumudur. Atmosferik kararlılık ya da kararsızlık, bir hava kütleinin dış etmenlerden ne şekilde etkileneceğini belirtmektedir. Kararlı bir hava kütleinde önemli bir değişim meydana gelmezken kararsız bir hava kütleinde kısa sürede ciddi değişiklikler oluşabilmekte, bu da başta oraj ve hortum olmak üzere çok çeşitli meteorolojik olaylara sebebiyet verebilmektedir. Atmosferik kararsızlığı, dolayısı ile hortum oluşumlarını denetleyen en temel iki unsur ise sıcaklık ve nemdir.

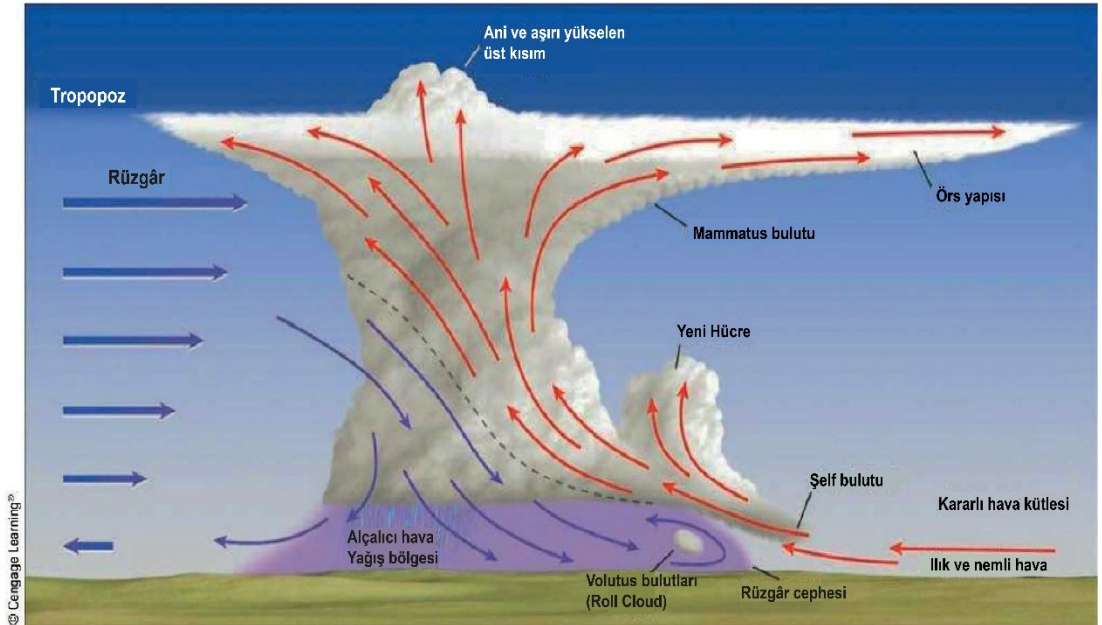
Kararsız bir atmosfer orajlar, kümülüs oluşumları ve dikey hareket ile bağlantılıdır. Kararsız hava kütlelerinde ısınmaya bağlı olarak yükselim hareketi ve genleşme görülür. Kararlı bir hava kütlei ise çevresine kıyasla daha soğuktur ve alçalıcı hareket gösterir. Nötr koşulda ise herhangi bir değişim gerçekleşmemektedir. Hava kütleinin kararlı mı yoksa kararsız mı olacağı ise yükselen ya da alçalan hava kütlei sıcaklığı ile çevredeki havanın sıcaklığı karşılaştırılarak anlaşılabilir. Hava kütlei, çevresi ile aynı sıcaklığa sahip ise nötr durumdadır. Bu hava kütlei yer değiştirdiğinde; eğer yeni konumundaki sıcaklığı çevresine göre daha soğuk olursa yoğunlaşarak alçalacak ve eski pozisyonuna geri dönecektir. Dikey harekete karşı direnç gösterip eski konumuna geri döndüğü için bu durumda kütleinin kararlı olduğundan bahsedilebilir. Tam tersi şekilde, gerçekleşen hareket sonucunda hava kütleinin sıcaklığı çevresine göre daha yüksek bir dereceye ulaşırsa çevre sıcaklığı ile eşitlenene kadar yükselmeye devam edecektir. Bu durumdan ise hava kütleinin kararsız olduğu çıkarılmaktadır (Nugent vd.).

Orajlar ve hortumların oluşumu çok büyük bir oranda atmosferik kararsızlığa bağlıdır. Tek hücreli orajlar cephe sistemlerine ya da sinoptik bozukluklara bağlı olarak oluşan, oldukça yaygın ve ciddi bir etkisi olmayan fırtına türleridir. Genellikle nemli ve kararsız atmosferik koşulların bulunduğu ancak dikey rüzgâr şirinin (rüzgâr kayması) oldukça zayıf olduğu bölgelerde gerçekleşirler.

Rüzgâr şirinin konvektif hareketler üzerindeki etkisi arttığında; ana orajdan etrafa doğru yayılan soğuk havanın, oraja doğru çekilen sıcak ve nemli hava ile arasında konverjans hareketi gelişir ve bu da yeni orajların oluşmasına yol açar. Bunun sonucunda ise çok hücreli orajlar meydana gelir. Çok hücreli orajlar devamlı bir

yükselim hareketinin görüldüğü rüzgâr cephesinin (gust front) ön kısmında, squall hattı adı verilen bir çizgi boyunca oluşurlar (Şekil-1.3).

Squall hattı, “Soğuk cepheyle bağlantısı olmayan aktif ve dar oraj bandı. Konvektif veya kararsızlık hattı olarak ta bilinir. İlerleyen soğuk hava parselinin önündeki sıcak havayla yer değiştirdiği kesimlerdeki süreksizlik alanlarında gözlenir. Bu hattın en önemli özelliği, rüzgarın güneyden batıya veya kuzeye keskin bir şekilde yön değiştirmesidir.” olarak tanımlanabilir. (Meteoroloji Sözlüğü, MGM). Kuru hat (dry line) bir kuru hava kütlesi ve nemli hava kütlesini birbirinden ayıran sınırdır. Bu sınır boyunca çiylenme sıcaklığında keskin değişimler meydana gelebilmektedir. Soğuk cephe ise soğuk karakterli bir hava kütesinin sıcak hava kütlesi ile yer değiştirdiği geçiş zonuna verilen isimdir. Soğuk cephenin gerisindeki hava, ön kısmındaki havaya kıyasla daha soğuk ve kuru bir özelliğe sahiptir. Squall hatları genellikle soğuk cepheler ve kuru hatlarla birlikte ya da bu yapıların ön kesimlerinde oluşurlar ve ağır yağış, güçlü rüzgâr, dolu, yıldırım gibi şiddetli hava olaylarına yol açarlar. Gelişimleri; alt seviyedeki havanın, havadaki su buharının yoğuşabileceği seviyeye kadar bir cephe tarafından yükseltilmesi ve kararsız hale gelmesi ile bağlantılıdır (The Weather World 2010 Project, University of Illinois).

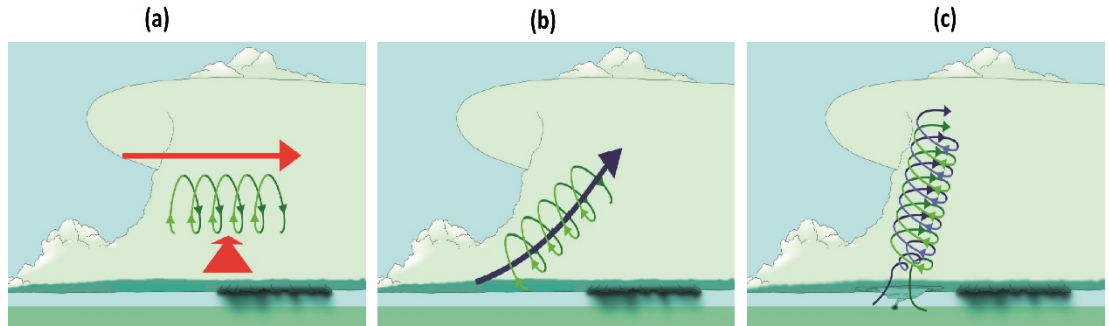


Kaynak: Ahrens & Henson, 2017

Şekil 1. 3: Çokhücreli orajlarının yapısı

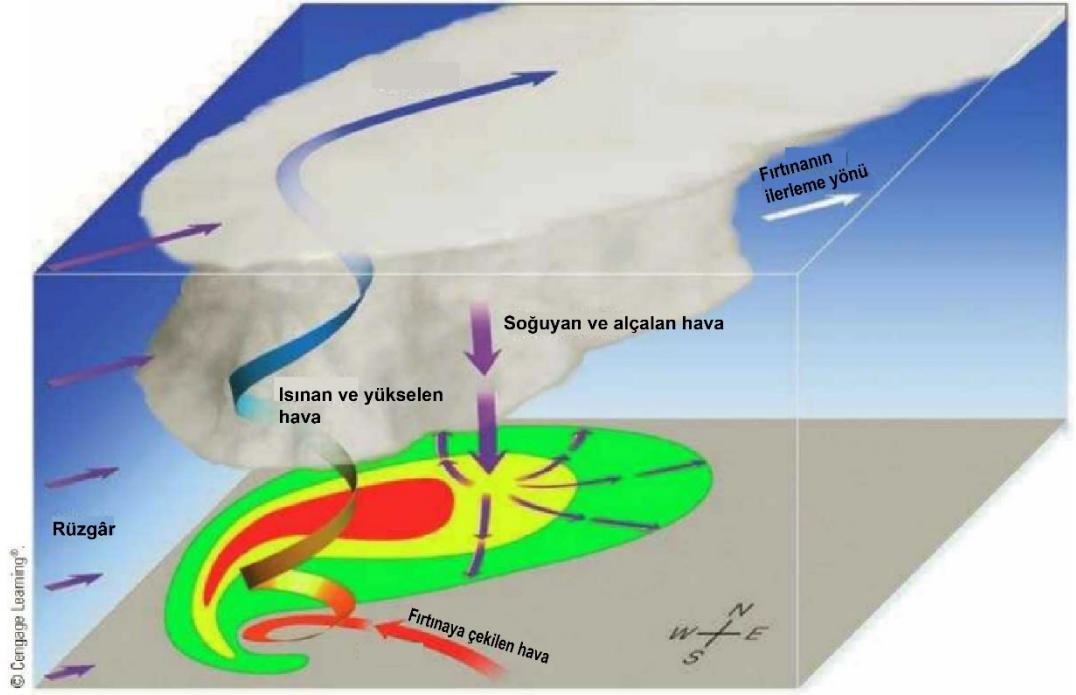
Süperhücre fırtınaları ise en güçlü oraj türü olarak kabul edilmektedir. Diğer orajlardan en büyük farkı mezosiklon adı verilen dönüş hareketine sahip, yukarı yönlü hava akımlarıdır. Bu özellik oraja çekilen sıcak ve nemli havanın tek bir merkeze yönlendirilmesini sağlamakta, dolayısı ile birden fazla hücre oluşumu yerine süperhücre orajının ömrünü uzatmaktadır (Şekil-1.4). Sahip olduğu dönüş hareketi ve uzun süreli olması, süperhücre orajlarının şiddetli ve güçlü hortumlara yol açma şansını arttırmaktadır (Stimac, 2006).

Süperhücre oluşumları kabaca üç aşama gerçekleşmektedir. (a) Alt ve üst seviye rüzgârları arasındaki güçlü rüzgâr şiri, havayı yatay ekseninde burgaç şeklinde döndürmeye başlar. (b) Yükselici hava hareketleri geliştiğinde yatay yönde dönen havayı da yükseltir, böylece dik yönde eğmeye başlar. (c) Sonuç olarak dikey ekseninde dönüş hareketi gösteren bir yükselici hava sütunu meydana gelir ve süperhücre oluşur (Şekil-1.3). Oluşum mekanizmaları bakımından süperhücre orajlarında dışarı yönlü alçalıcı hava akımları, içeri yönlü yükselici hava akımlarını kesemez (Şekil-1.5). Süperhücre orajlarının hortum oluşumuna asıl etkisi, bu dönüş hareketine sahip yukarı yönlü hava akımlarına sahip olmalarıdır (Ahrens & Henson, 2017).



Kaynak: <https://en.wikipedia.org/wiki/Supercell>

Şekil 1. 4: Rüzgâr şiri ve yükselici hava hareketlerinin etkisi ile süperhücre oluşumu.

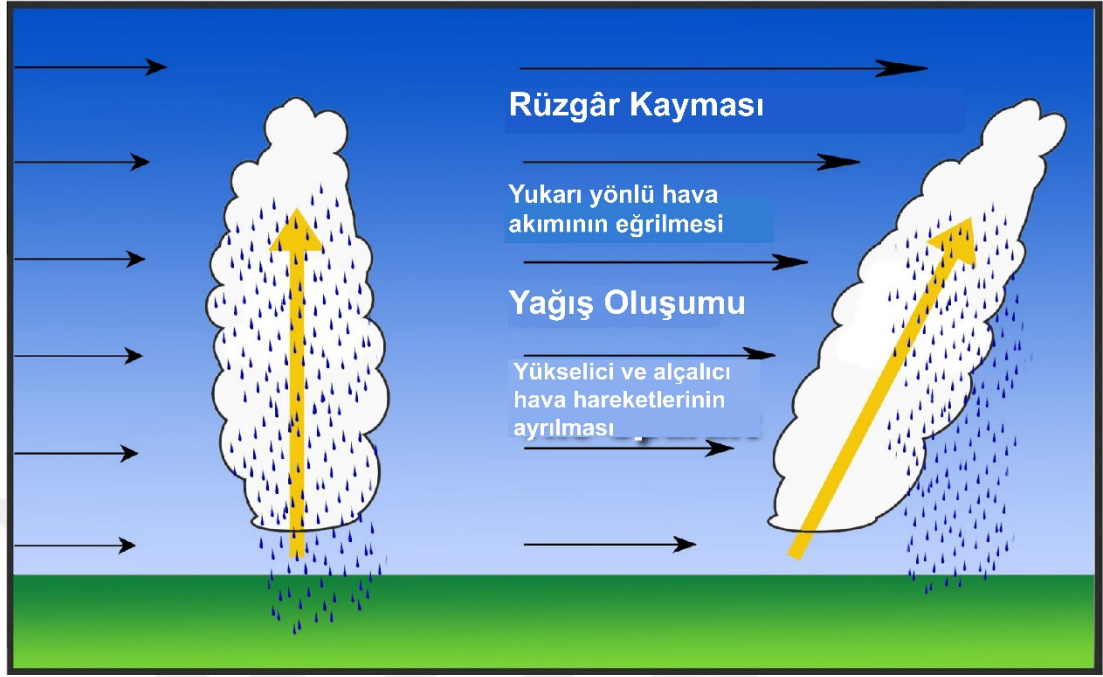


Kaynak: Ahrens & Henson, 2017

Şekil 1. 5: Bir süperhücre orajının basitleştirilmiş kesiti.

1.2.1.2. Rüzgâr Kayması (Rüzgâr Şiri)

Rüzgâr şiri ya da rüzgâr kayması, orajların ve hortumların tür ile şiddetlerini belirleyen kritik faktörlerden bir diğeridir. Özellikle dikey rüzgâr şiri, yani rüzgâr yönü ya da hızının yükseklikle bağlantılı olarak değişmesi, orajları güçlendirebilmesi ya da ortadan kaldırabilmesi bakımından önemlidir (The Weather World 2010 Project). Rüzgâr şiri oraj ve hortumlara iki yönden etki etmektedir. Birincisi; eğer rüzgâr şiri kuvvetli bir hale gelirse, oraj aksını eğerek yükselici ve alçalıcı hava hareketlerini birbirinden ayırabilir ve bu da yükselici havanın, alçalıcı hava tarafından boğulmasını/kesilmesini engelleyerek orajın daha uzun süreler boyunca etkili olmasına yol açabilir (Şekil-1.6). İkinci faktör özellikle hortum oluşumu bakımından önemlidir. Rüzgâr şiri, oraj içerisindeki yükselici hava hareketlerinin yatay yönde dönüşünü artırarak hortum oluşumuna olanak sağlayabilir. Bu gibi sebeplerden ötürü güçlü bir rüzgâr şiri, uzun süreli ve ciddi orajlar ile hortumların oluşumunda belirgin bir role sahiptir (National Weather Service, NOAA).



Kaynak: <https://www.weather.gov/ilx/swop-springtopics>

Şekil 1. 6: Güçlü rüzgâr şirinin bir oraja etkisi.

1.2.1.3. Sıcaklık Terselmesi (Enverziyon)

Hortumlar üzerinde etkisi bulunan bir diğer faktör ise sıcaklık terselmesi ya da diğer bir ismiyle enverziyondur. Enverziyon, “Atmosfer içerisinde yukarı seviyelere doğru çıkıldıkça hava sıcaklığının azalması yerine artmasıdır. Yer seviyesindeki enverziyonun temel nedeni, üst seviyeleri etkilemeyen alt seviyedeki radyasyonel soğumadır.” (Meteoroloji Sözlüğü, MGM); enverziyon tabakası, “Yükseklikle sıcaklığın arttığı tabaka. Enverziyon tabakası boyunca statik kararlılık görülür ve dikine yukarı hava hareketi yoktur.” (Meteoroloji Sözlüğü, MGM) olarak tanımlanmaktadır. Kararlılık durumuna etki ederek oraj ve hortum oluşumunu denetleyebilmektedir. Bir enverziyon tabakası, yükselici hareketlere karşı oldukça stabil durumda, yani kararlı konumdadır. Yükselen hava kütleleri bu tabakayı geçemeyeceğinden oraj oluşumunu engellemektedir. Ancak zaman ilerledikçe ve atmosfer alt kesimlerden ısınmaya devam ettikçe enverziyon tabakası etkisini yitirmeye ve sıcaklık terselmesi ortadan kalkmaya başlar. Alt tabakaların gün boyu ısınmasının yanı sıra buharlaşma sonucu artan nem oranı da enerji miktarını yükseltir. Böylece yüzeydeki hava katmanları, enverziyon tabakasını parçalayıp geçmek ve yukarı kesimlerdeki kararsız atmosfere ulaşmak için yeterince ısınmış olurlar. Bu aşamaların sonucunda ise bir patlamaya

benzer şekilde şiddetli konveksiyonlar ve çok ciddi orajlar oluşabilmektedir (ATMO336, Severe Weather, University of Arizona).

1.2.2. Hortum Şiddet Ölçekleri

Hortumların oluşturduğu güçlü rüzgârlar yapıları yok edebilir ve ağaçları yerlerinden sökebilir. İnsanlar, hayvanlar, taşıtlar ve her türlü malzeme birkaç kilometre boyunca taşınabilir. Bazı alanlarda hortum karakterli rüzgârlar yakın bir göl ya da su birikintisinden geçtikten sonra, gökyüzünden su canlıların düştüğü görülmüştür. Rüzgârın basıncı, rüzgâr hızının karesi ile doğru orantılıdır. Bu sebeple rüzgâr hızı iki katına çıktığında hortumun yıkıcı potansiyeli dört kat artmaktadır. Hortum hasarının alışılmadık olmasının bir nedeni de hortum davranışını etkileyen faktör çeşitliliğidir. Hortumlar sadece birkaç saniye içerisinde zayıflayabilir ya da güçlenebilir (Ahrens & Henson, 2017).

Hortum olaylarını sınıflandırmak için Dünya genelinde ağırlıklı olarak Fujita ölçeği kullanılmaktadır. Chicago Üniversitesi'nden Dr. Theodore Fujita bu ölçeği rüzgâr hızı ve hasarına göre hortumları sınıflandırmak için geliştirmiştir (Tablo-1.1). Hortum şiddeti, rüzgâr hızı ve oluşturduğu hasar ile bağlantılıdır ancak hortumun verdiği zarara göre rüzgâr hızları tahmini olarak belirlenmiştir (Fujita, 1971).

Geliştirilen bu ölçek, hortum şiddeti sınıflandırmasında ahşap yapılı meskenleri temel almaktadır, ancak mesken ya da yapı çeşitleri sadece ahşapla sınırlı değildir ve hortumlar da sadece ahşap değil, çok çeşitli türlerde yapılara hasar verebilmektedir (Ahrens & Henson, 2017). Bunların yanında Fujita ölçeği Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilmesi sebebiyle yapı türü bakımından Amerikan meskenlerini baz almaktadır. Bu durum da ölçeğin Dünya'nın diğer ülkelerinde kullanılabilirliği açısından soru işaretleri oluşturmaktadır. Ölçek geliştirilirken yapıların inşaa kalitesi de göz önünde bulundurulmamıştır.

Ölçek	Şiddet	Hız (km/s)	Hız (mph)	Etki
F-0	Hafif	64 - 116	40 - 72	Baca ve antenlerde hafif hasarlar, ufak ağaç dallarında kırılmalar, sıg köklü ağaçlarda devrilmeler
F-1	Orta	117 - 180	73 - 112	Çatı yüzeylerinde hasarlar, pencere kırılmaları, ağaçlarda devrilme ve sökölme, hareket halindeki araçlarda savrulmalar
F-2	Ciddi	181 - 253	113 - 157	Çatılar uçar, zayıf binalarda tahribatlar, büyük ağaçlarda da görülen devrilme ve kopmalar, ulaşımda aksamalar
F-3	Şiddetli	254 - 332	158 - 206	Çatıların yanında konut duvarlarında da ağır hasarlar, zayıf binalarda tamamen yıkılmalar, otomobillerin yerden kaldırılıp savrulması, çoğu ağacın kökünden kopması ve kırılması
F-4	Yıkıcı	333 - 418	207 - 260	Çelik yapıli konutlarda ağır hasarlar, havadaki ufak boyutlu döküntüler sebebiyle ağaçlarda kabuk soyulmaları, otomobil, tren vb. araçların uzağa fırlatılması
F-5	Olağanüstü	419 - 512	261 - 318	Evlerin temellerinden sökölmesi, yapılarda çok ağır hasarlar, havada uçar halde otomobil büyüklüğünde döküntü oluşumları

Kaynak: Fujita, 1971

Tablo 1. 1: Hortumların şiddet sınıflandırmalarında kullanılan Fujita ölçeği.

Bu gibi sebeplerle 2007 yılında Geliştirilmiş Fujita Ölçeği (Enhanced Fujita Scale-EF) adında yeni bir ölçek yayınlanmıştır. Bu yeni ölçek, hortum rüzgâr hızının tahmin edilmesinde 28 hasar göstergesini temel alarak çok çeşitli ve geniş kriterler kullanmaktadır. Ayrıca EF ölçeğinde yapının inşa kalitesi de göz önünde bulundurulmaktadır (Ahrens & Henson, 2017; Kahraman & Markowski, 2014)

EF ölçeği temel olarak Fujita ölçeğini baz almaktadır. Benzer şekilde hortumlar EF-0 seviyesinden EF-5 seviyesine kadar sınıflandırılmaktadır. Ek olarak Bilinmeyen sınıfı (EF-U) eklenmiştir. İki ölçek de incelendiğinde aralarındaki farkın düzenlenen rüzgâr hızları ile standartlaştırılmış ve detaylandırılmış hasar göstergeleri olduğu görülmüştür (Tablo-1.2).

Fujita Ölçeği			Geliştirilmiş Fujita Ölçeği		
Ölçek	Şiddet	Hız (km/s)	Ölçek	Şiddet	Hız (km/s)
F-0	Hafif	64 – 116	EF-0	Hafif	105 – 137
F-1	Orta	117 – 180	EF-1	Orta	138 – 177
F-2	Ciddi	181– 253	EF-2	Önemli	178 – 217
F-3	Şiddetli	254 – 332	EF-3	Ciddi	218 – 266
F-4	Yıkıcı	333 – 418	EF-4	Yıkıcı	267 – 322
F-5	Olağanüstü	419 – 512	EF-5	Olağanüstü	> 322

Tablo 1. 2: Fujita Ölçeği ile Geliştirilmiş Fujita (Enhanced Fujita / EF) Ölçeği karşılaştırması.

EF ölçeğinde kullanılan hasar göstergeleri incelendiğinde Fujita ölçeğine göre çok daha detaylı bir hasar sınıflaması yapıldığı görülmüştür (Tablo-1.3). Hasar göstergeleri 28 farklı sınıfa ayrılmış, daha da detaya inildiğinde numarasına göre her sınıfa ait yapıların ne gibi özelliklere sahip olabileceği ya da hangi binaları kapsayabileceği belirtilmiş, her birinde en az 4-5 maddede hasar tanımı ve seviyesi yapılmış, ek olarak da hasar seviyelerine bağlı olarak alt sınır-üst sınır-beklenen şeklinde üç kategoride tahmini rüzgâr hızları verilmiştir.

Numara	Hasar Göstergesi
1	Küçük ahırlar, çiftlik evleri
2	Müstakil evler
3	Tek genişlikte prefabrik/mobil evler
4	Çift genişlikte prefabrik/mobil evler
5	Apartmanlar, 3 katlı veya daha az
6	Motel
7	Taş yapılı evler ya da moteller
8	Küçük perakende yapıları (fast-food tarzı iş yerleri vb.)
9	Küçük profesyonel iş yerleri (doktor ofisleri, banka şubeleri vb.)
10	Dinlenme tesisi tarzı yapılar ve alışveriş merkezleri
11	Büyük alışveriş merkezleri
12	Büyük perakende iş yerlerine ait binalar
13	Otomobil satış mağazaları
14	Otomobil servis merkezleri
15	Tek katlı ilköğretim
16	Lise binaları
17	Alçak katlı (1-4) binalar
18	Orta katlı (5-20) binalar
19	Yüksek katlı (20+) binalar
20	Kurumsal/devlet binaları (hastahane, üniversite vb.)
21	Metal yapılı binalar
22	Benzin istasyonu gölgelikleri
23	Ağır yapılı depo binaları
24	İletim hattı kulesi (elektrik vb.)
25	Tek kuleler (baz istasyonu, GSM istasyonu vb.)
26	Direkler (bayrak direkleri, aydınlatma direkleri vb.)
27	Sert yapılı ağaçlar
28	Yumuşak yapılı ağaçlar

Kaynak: <https://www.spc.noaa.gov/efscale/ef-scale.html>

Tablo 1. 3: Geliştirilmiş Fujita (EF) Ölçeği Hasar Göstergeleri

Fujita ve Geliştirilmiş Fujita (EF) ölçeklerinin yanı sıra üçüncü bir hortum şiddet ölçeği ise TORRO Ölçeği (T-Scale)'dir. TORRO Ölçeği, hortumların rüzgâr hızlarını sınıflandırmak amacıyla 1972 yılında Dr. G. Terence Meaden tarafından Birleşik Krallık'ta geliştirilmiştir ve direkt olarak Bofor Skalası ile ilişkilidir. T-Ölçeği T0 ile T10 arası kategorilerden oluşmaktadır. Bir hortum, bir yapının üzerinden geçtiği halde hasar oluşturmamış ise T0 şiddetinde sınıflandırılır. Rüzgâr hızı arttıkça T-Ölçeği şiddeti de artmaktadır. T0 – T3 arası hortumlar zayıf, T4 – T7 arası hortumlar güçlü, T8 – T10 arası ve T10 üzeri hortumlar ise şiddetli/yıkıcı hortumlar olarak gruplandırılmaktadır (Tablo-1.4).

Ayrıca bu ölçeğin Fujita ve EF ölçeklerinden en önemli farkı; hortumun verdiği hasardan ziyade hortumun rüzgâr hızına göre sınıflama yapması ve hortumların rüzgâr hızları, yol uzunlukları, yol genişlikleri ve etkili oldukları alan genişliğine göre ayrı ayrı sınıflandırılabilmesidir. Örneğin 7 Aralık 2006 Kensal Rise, Londra'da meydana gelen hortum T5-L4-W6-A5 olarak sınıflandırılmıştır (Kirk, 2014). Bu özelliğinden dolayı bir hortum hasara yol açmasa bile T-Ölçeği bazında derecelendirilmesi mümkün olmaktadır.

Ölçek	Rüzgâr Hızı (T)	Hasar Tanımı (Sınıflamayı kolaylaştırmak içindir)	Yol Uzunluğu (L)	Yol Genişliği (W)	Alan (A)
0	Yumuşak Hortum 17 – 24 m/s	Yerdeki zayıf süprüntü ve döküntülerin uçuşması Çadırların ve tentelerin deformasyona uğraması Çatılarda hafif kiremit hasarları, dal kopmaları Çöp kutuları vb. unsurların hareket etmesi ve yer değiştirmesi	≤ 215 m.	≤ 2.1 m.	≤ 464 m ²
1	Hafif Hortum 25 – 32 m/s	Sandalye vb. ağır unsurların havaya kaldırılması Küçük bitkilerin zarar görmesi Kulübe tipi yapılarda, baca ve çitlerde hasarlar	216 – 464 m.	2.2 – 4.6 m.	465 – 2150 m ²
2	Orta Derecede Hortum 33 – 41 m/s	Karavan tarzı mobil araçların/evlerin havaya uçurulması Bahçe kulüpleri, garajlar vb. yıkılması Çatı ve bacalarda ciddi hasarlar Ağaçlarda ciddi hasarlar, küçük boyutlu ağaçların yerlerinden sökülmesi Cam ve pencere patlamaları, tuğla duvarların devrilmesi	465 – 999 m.	4.7 – 9.9 m.	2160 – 9990 m ²
3	Güçlü Hortum 42 – 51 m/s	Karavan ve mobil evlerde ağır hasarlar Çatılarda şiddetli hasarlar, çatı yapısının açığa çıkması Ağır döküntülerin havaya kaldırılması, buna bağlı zararlar oluşması Binaların fiziksel olarak sarsılması	1 – 2.1 km.	10 – 21 m.	0.01 – 0.046 km ²
4	Ciddi Hortum 52 – 61 m/s	Otomobillerin havaya kaldırılması Bazı yapılarda çatıların tamamen yıkılması Çok sayıda ağacın köklerinden sökülmesi Trafik işaretlerinde yamulma tarzı deformasyonlar Enkazın/döküntülerin arkada belirgin bir iz bırakarak iki kilometreye kadar taşınabilmesi	2.2 – 4.6 km.	22 – 46 m.	0.047 – 0.21 km ²
5	Şiddetli Hortum 62 – 72 m/s	Ağır motorlu taşıtların havaya kaldırılması Çatıların tamamen yıkılması, ev içi eşyaların dışarı emilmesi Eski ve zayıf binaların çökmesi Elektrik direkleri vb. devrilmesi	4.7 – 9.9 km.	47 – 99 m.	0.22 – 0.99 km ²
6	Orta Derecede Yıkıcı Hortum 73 – 83 m/s	Güçlü inşa edilmiş yapılarda ciddi hasarlar Tuğla tarzı blokların havalanarak uçurulması ve buna bağlı tehlikeler Elektrik iletim hatlarında hasarlar	10 – 21 km.	100 – 215 m.	1 – 4.6 km ²
7	Güçlü Derecede Yıkıcı Hortum 84 – 95 m/s	Tuğla ve ahşap yapı evlerin tamamen yıkılması Çelik temelli yapıların ağır hasar alması ya da çökmesi Lokomotif/tren devrilmeleri Uçan enkaz parçaları sebebi ile ağaçlarda ciddi kabuk soyulmaları	22 – 46 km.	216 – 464 m.	4.7 – 21 km ²
8	Ciddi Derecede Yıkıcı Hortum 96 – 107 m/s	Otomobillerin ciddi mesafeler içerisinde taşınması Çelik yapı fabrika binalarında ağır hasarlar ve çökmeler Çelik tarzı ağır enkaz unsurlarının uzak mesafelere taşınması Hasar alanı çevresinde yüksek derecede hasar	47 – 99 km.	465 – 999 m.	22 – 99 km ²
9	Şiddetli Derecede Yıkıcı Hortum 108 – 120 m/s	Çelik yapı binaların çökmesi Trenlerin/lokomotiflerin uzak mesafelere taşınması Ayakta kalabilmiş ağaçların kabuklarının tamamen soyulması Hayatta kalmak yer altı seviyesindeki sığınaklara bağlıdır	100 – 215 km.	1 – 2.1 km.	100 – 464 km ²
10	Süper Hortum 121 – 134 m/s	Ev tarzı yapıların temelden parçalanması ve belirli mesafeler boyunca taşınması Vejetasyon ve beşerî yapılardan yoksun geniş bir çizgisel yol şeklinde doğanın ciddi şekilde tahribatı	216 – 464 km.	2.2 – 4.6 km.	≥ 465 km ²

Kaynak: <https://www.torro.org.uk/research/tornadoes/tscale>

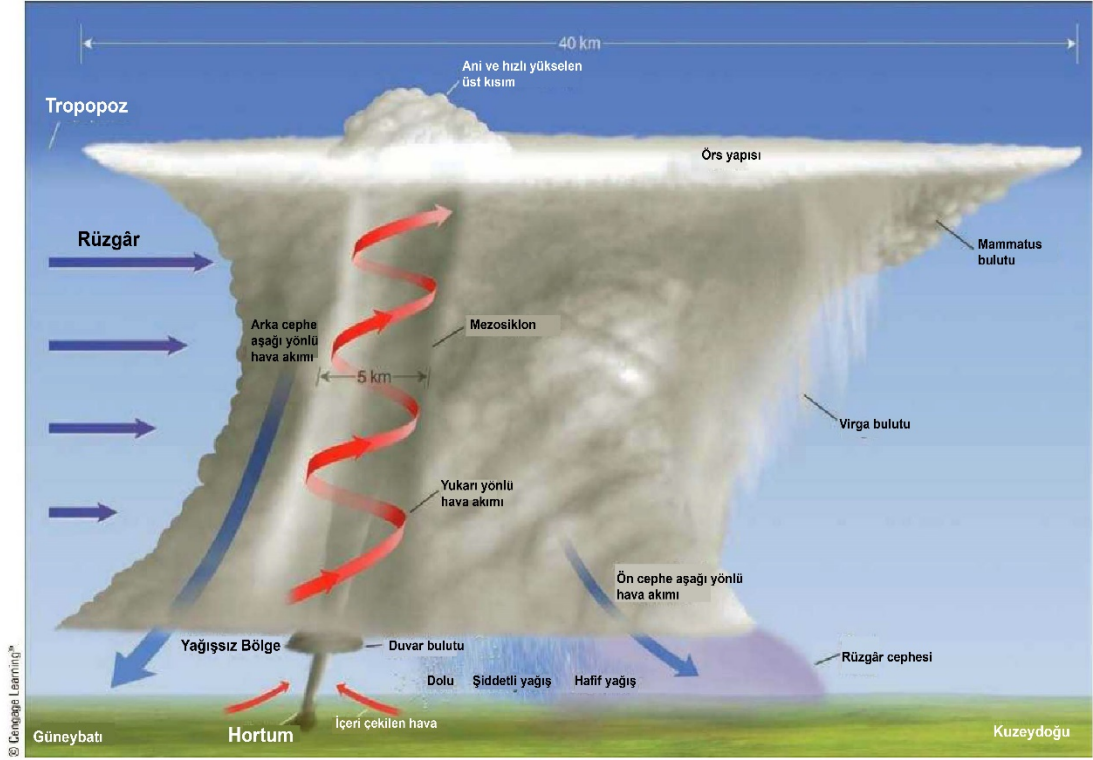
Tablo 1. 4: TORRO Ölçeği Skalası

1.3. Hortum Türleri

Hortumlar oluşum kökenleri ve yapıları bakımından mezosiklonik hortumlar (süperhücre hortumları) ve mezosiklonik olmayan (non-mezosiklonik) hortumlar olmak üzere iki temel kategoriye ayrılabilir.

1.3.1. Mezosiklonik Hortumlar (Süperhücre Hortumları)

Süperhücre orajları içerisinde gelişen hortumlara mezosiklonik kökenli hortumlar ya da süperhücre hortumları denilmektedir. Süperhücre, yukarı yönlü hava akımına sahip ve dönüş hareketi gösteren bir oraj türüdür (Şekil-1.7). Sıcak ve nemli hava süperhücre içine doğru çekildikçe yükselir ve yükselirken saat yönünün tersi istikamette dönüş hareketi gösterir. Orajın üst kısmına doğru güçlü rüzgarlar yükselen havayı iter. Bu süreçte evaporatif buharlaşma sebebiyle soğuyan ve ağırlaşan hava alçalmaya başlar. Sonuç olarak yukarı yönlü ve aşağı yönlü hava akımları birbirinden ayrılır. Bu şekilde gelişen bir oraj kendisini tek bir yapı olarak saatlerce sürdürebilir. Oraj gelişmeye devam ettikçe yükselen yukarı yönlü hava akımı yatayda incelirken dikeyde ise genişler. Bu dikey genişleme, dönerek yükselen havanın daha da hızlı dönmesine sebep olur. Bu incelmeye süreci devam ederse hortum girdabı adı verilen dar boyutlu ve hızlıca dönen bir hava sütunu oluşur. Hava, alçak basınç merkezinin etrafında hızlıca dönerek yükseldikçe genişler, soğur ve yeterince nemli ise yoğunlaşarak huni bulutu adı verilen görünür bir bulut oluşturur ve yer yüzüne doğru iner. Yüzeye ulaştığında ise yerdeki toz, birikinti ve kırıntıları taşımaya başlar. Bundan dolayı da karanlık bir görünüm kazanır. Mezosiklona sahip süperhücre orajlarının sadece %25'i hortum oluşturur (Ahrens & Henson, 2017)



Kaynak: Ahrens & Henson, 2017

Şekil 1. 7: Hortum oluşturan bir süperhücre orajının kesiti.

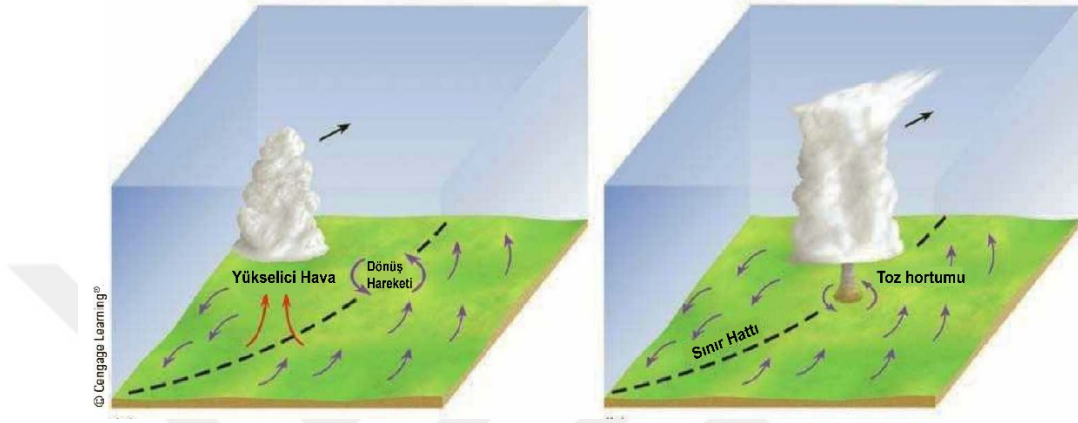
1.3.2. Mezosiklonik Olmayan (Non-Mezosiklonik) Hortumlar

Bir süperhücreden kaynaklanmayan veya bir süperhücre ile bağlantısı olmayan hortumlara mezosiklonik olmayan (non-mezosiklonik) hortumlar denir. Bu tür hortumlar çok hücreli veya tek hücreli orajlara ya da cephelere bağlı olarak oluşabilir.

1.3.2.1. Toz Hortumları (Landspouts)

Genellikle hızlıca gelişen cumulus congestus bulutları ile görece zayıf ve kısa ömürlü hortumlar meydana gelebilir. Mezosiklonik kökenli olmayan bu tür hortumlara toz hortumu (landspout) adı verilir. Yüzeyde esen yönleri farklı rüzgarlar bir sınır hattı boyunca konverjans özelliği gösterdiğinde, bu sınır hattında hava yükselip, soğur ve yoğunlaşarak cumulus congestus bulutları oluşturabilir. Aynı zamanda rüzgarların farklı yöne doğru esmelerinden kaynaklı olarak yüzeydeki sınır hattı üzerinde yatay bir dönüş oluşur. Eğer gelişen cumulus congestus bulutları bu bölge üzerine gelirse, dönen hava kolunu yukarı doğru çekilebilir. Bu durumda yukarı doğru çekilen dönen hava kolunu gittikçe darlaştır ve kolunun dönüş hızı artar. Dönerek yükselen havanın çapı daraldıkça hortuma benzeyen bir yapı, yani toz hortumu meydana

getirir (Şekil-1.8). Genellikle üst kesimdeki buluttan kaynaklanan yağış, yukarı yönlü hava akımlarının üzerine düşerek bu akımları ortadan kaldırdığında toz hortumu da ortadan kalkar. Kısa olmalarına ve küçük bir alanı etkilemelerine karşın toz hortumları da ciddi hasar verebilme potansiyeline sahiptir.



Kaynak: Ahrens & Henson, 2017

Şekil 1. 8: Bir toz hortumu oluşumunun şematik gösterimi.

1.3.2.2. Su Hortumları (Waterspouts)

Su hortumları ise geniş bir su kütesinin üzerindeki kümüliform bulutuna bağlı olarak oluşan, dönüş hareketi gösteren bir hava kolonudur. Su hortumları aynı zamanda kara üzerinde oluşmuş ve sonra su yüzeyine doğru ilerlemiş bir kara hortumu da olabilir. Güçlü su hortumları, karaya doğru ilerleyip kara yüzeyine çıktıklarında ciddi zararlar verebilirler. Toz hortumuna benzer bir şekilde; bir sınır hattı boyunca konverjans özelliği gösteren hava, bir oraja ait yukarı yönlü hava akımlarının alt kesimine denk geldiğinde yüksek olasılıkla bir su hortumu oluşabilmektedir (Ahrens & Henson, 2017).

“Su hortumlarının oluşumunda genellikle üç temel oluşum düzeneğinin etkili olduğu kabul edilir:

- (1) Kara temelli olağan bir gökgürültülü fırtınanın (hava kütesi orajı), sıcak bir su yüzeyine doğru hareket etmesi;
- (2) Okyanusların, denizlerin ya da geniş göllerin üzerinde gelişen Cb bulutlarının ya da bir süper hücre orajının varlığı;
- (3) Kasırgaların (kasırga şeklindeki tropikal siklonların) dönen yağmur kuşaklarının ya da mezosiklonlar içinde gelişen gökgürültülü fırtına bulutlarının varlığı.” (Türkeş, 2015)

İKİNCİ BÖLÜM

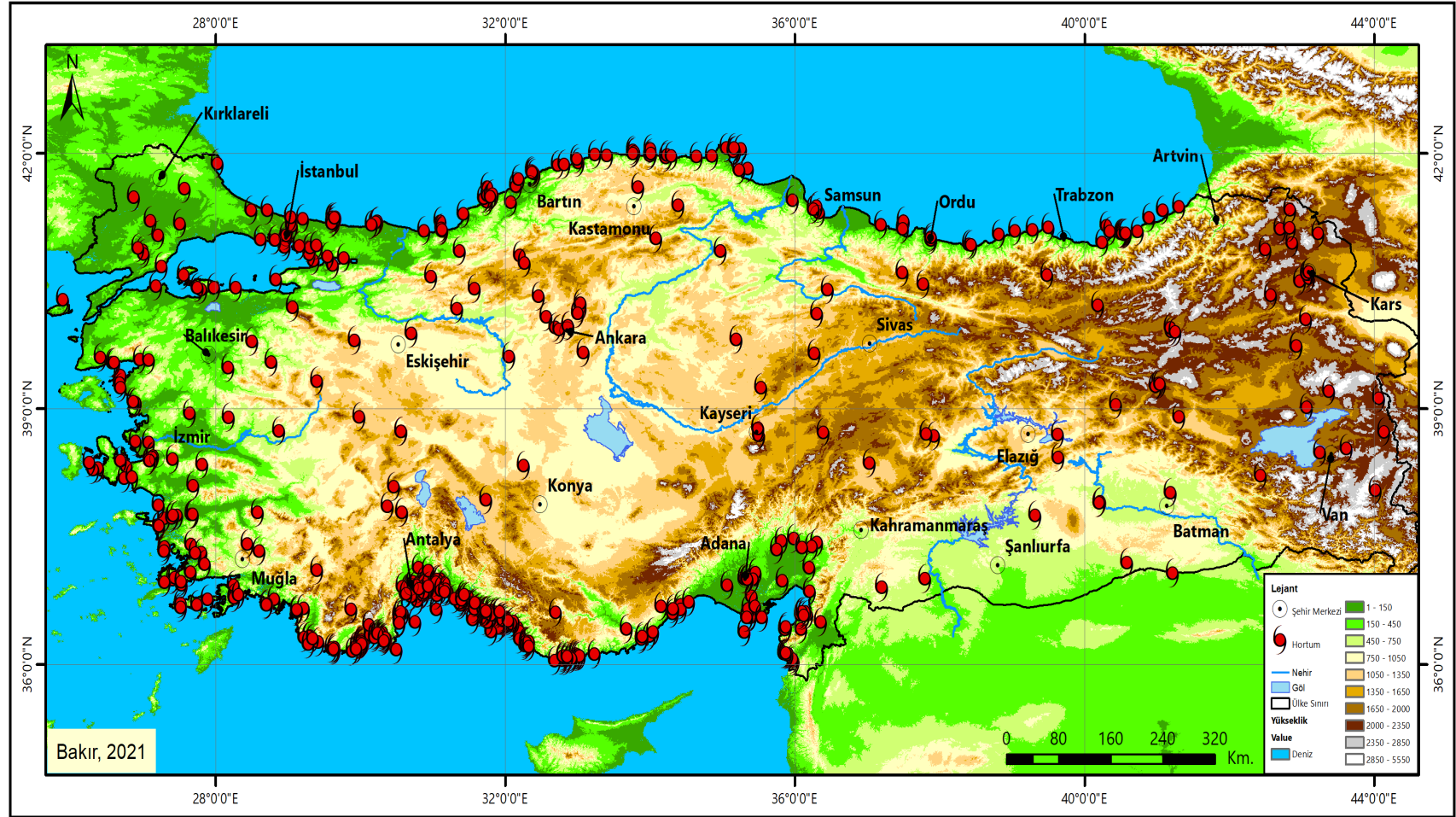
TÜRKİYE HORTUM KLİMATOLOJİSİ

2.1. Coğrafi ve Mekânsal Dağılım

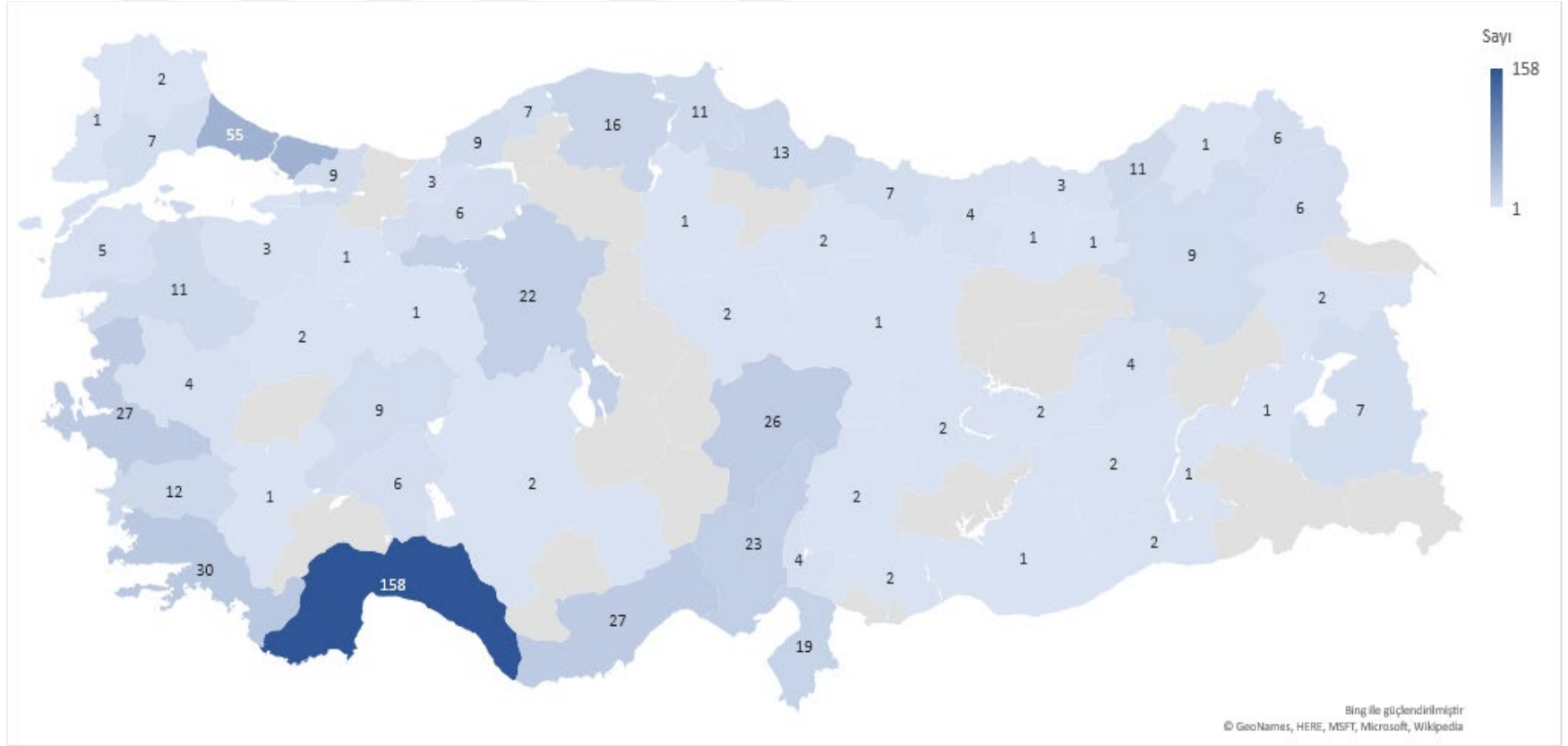
Çalışma veri setinin mekânsal analizinin yapılabilmesi için hortum olayları Türkiye coğrafi bölgeleri ve illerine göre ayrı ayrı olacak şekilde sınıflandırılmıştır. ESWD veri setinde hortum olaylarının tam coğrafi koordinatları bulunduğu halde MGM veri setlerinde olaylar istasyon bazlı olarak verilmiştir. Bu sebeple MGM verilerinden alınan hortum olaylarının konumları, olayların kaydedildikleri istasyonların coğrafi koordinatları olarak alınmıştır. 2000-2019 yılları arasında tespit edilen toplam 616 tane hortum olayının coğrafi koordinatlarından yararlanılarak veriler ArcMap 10.8 ve ArcGIS Pro 2.5 programlarında nokta verisi haline getirilmiş, burada coğrafi bölgeler haritası altlık olarak kullanılarak kesiştirilmiş, böylece hortum olayları bölgelere göre ayrılmış ve incelenmiştir.

Türkiye geneli hortum dağılımları incelendiğinde hortum olaylarının çok büyük bir kesiminin kıyı şeridinde ve yakın çevresinde meydana geldiği görülmektedir. Deniz kıyıları, hortumların sıklıkla olduğu alanların başında gelmektedir. İç kesimlerde ise Ankara, Kayseri ve Kars illeri çevrelerinde hortum sayılarının yüksek seyrettiği görülmüştür. Konya Ovası ve çevresi, İç ve Doğu Anadolu bölgeleri sınırındaki Otlukbeli-Mercan-Tecer dağ sıralarının bulunduğu kesim ve Van Gölü'nün kuzeyinde Çakmak Dağı-Allahuekber Dağları arasındaki bölge ise hortum olayının hiç gerçekleşmediği ya da çok nadiren meydana geldiği alanlardır. (Şekil-2.1).

İller bazında dağılıma bakıldığında ise en çok hortum olayının görüldüğü il, 158 hortum olayı ile Antalya'dır (Şekil-2.2). Antalya ili genelinde hortum sayıları oldukça yüksek olup Kaş – Alanya arası tüm kıyı şeridi boyunca görülebilmektedir. İkinci sırada ise 55 hortum bulunan İstanbul gelmektedir. İllere göre dağılım bazında Türkiye'de gerçekleşmiş hortum olaylarının çok büyük bir kısmının Akdeniz ve Ege kıyıları ile Marmara'nın kuzeyi ve Karadeniz bölümünün kıyı kesimlerinde meydana geldiği söylenebilir. İlerleyen başlıklarda söz konusu dağılımlar daha detaylı biçimde incelenmiştir.



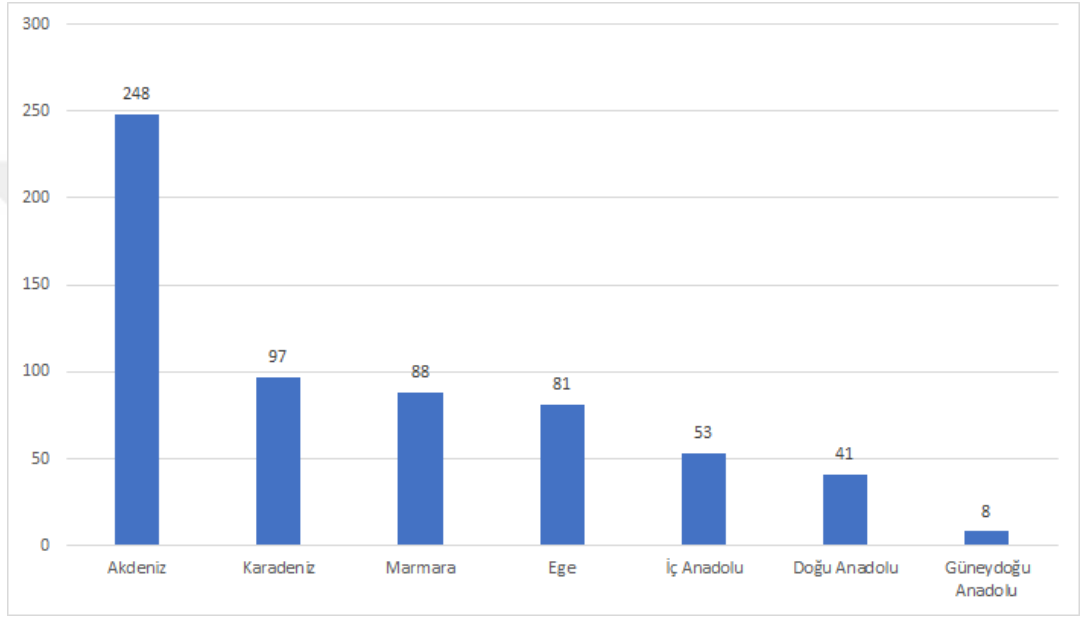
Şekil 2. 1: 2000-2019 yılları arasında gerçekleşen hortumların mekânsal dağılımı.



Şekil 2. 2: 2000-2019 yılları arasında gerçekleşen hortumların illere göre sayısal dağılımı.

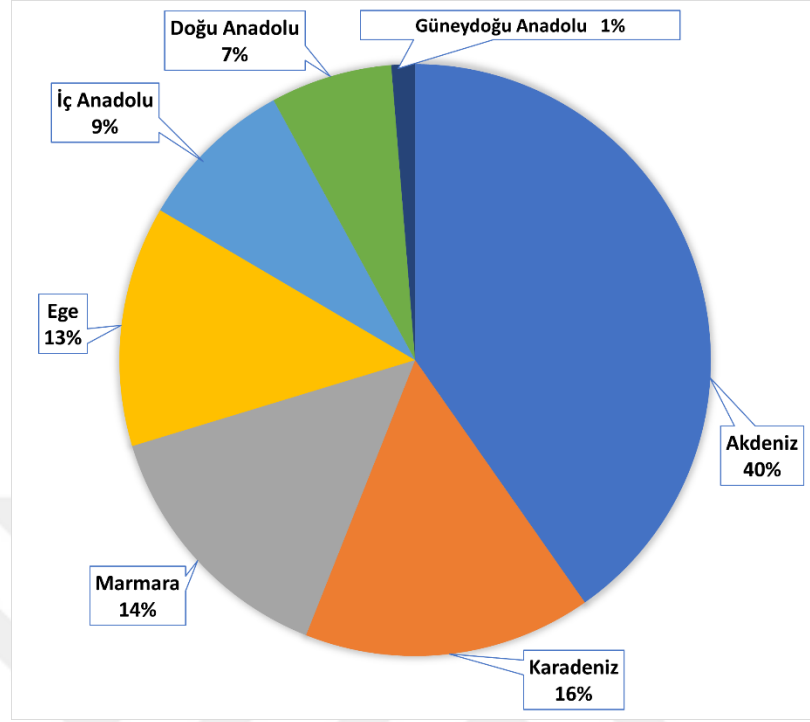
2.1.1. Bölgelere Göre Dağılım

Coğrafi bölgelere göre dağılımlar incelendiğinde; 2000-2019 yılları arasında meydana gelen 616 tane hortumun 248'inin Akdeniz Bölgesi'nde, 97'sinin Karadeniz Bölgesi'nde, 88'inin Marmara Bölgesi'nde, 81'nin Ege Bölgesi'nde, 53'ünün İç Anadolu Bölgesi'nde, 41'inin Doğu Anadolu Bölgesi'nde, 8'inin ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde gerçekleştiği görülmektedir (Grafik-2.1).



Grafik 2. 1: Hortum olaylarının coğrafi bölgelere göre dağılımı.

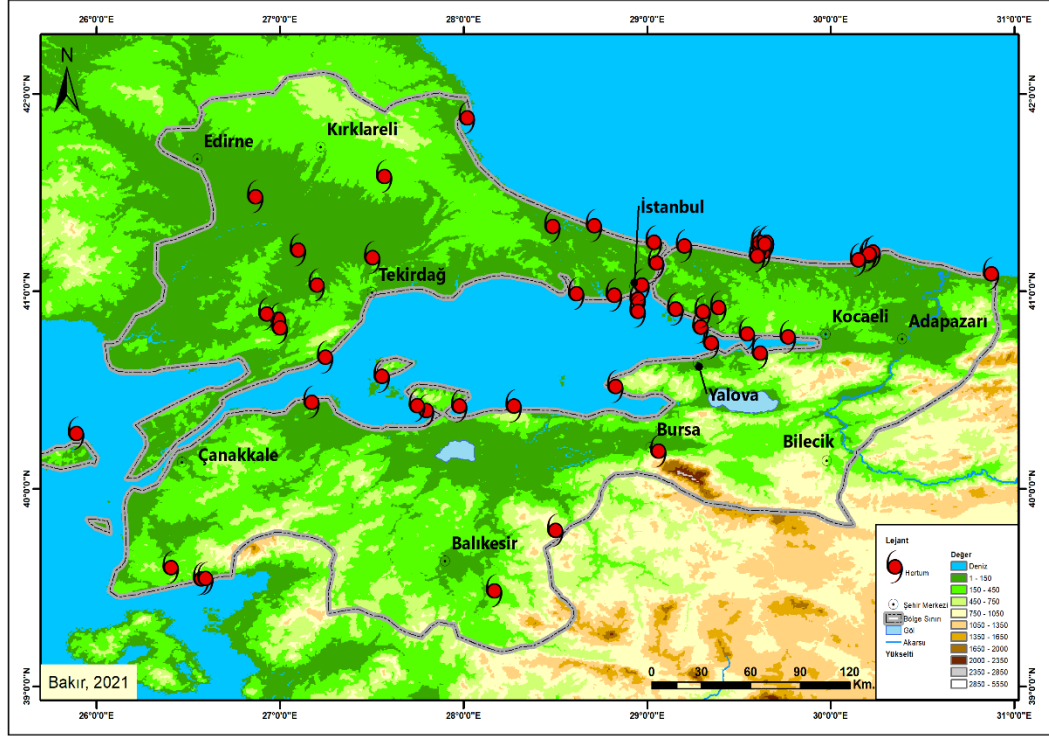
Hortum dağılımlarına yüzdesel olarak bakıldığında ise 2000-2019 yılları arasında Türkiye'de meydana gelen hortumlarının %40,25'inin Akdeniz Bölgesi'nde gerçekleştiği, en az hortum olayı kaydedilen bölgenin ise yaklaşık %1,29 ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi olduğu görülmektedir (Grafik-2.2). Bu durum Akdeniz Bölgesi'nin küresel atmosfer dolaşımı ve orta enlem siklonlarından sıklıkla etkilenen bir bölge olması ile açıklanabilir. Güneydoğu, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerimizde hortum olaylarının düşük olmasının sebebi; bu bölgelerde nüfus yoğunluğunun az olması, gözlem ağının yaygın olmaması, hortumların kırsal bölgelerde veya yerleşim bulunmayan alanlarda gerçekleşebilmesi sebebiyle belgelenmelerinin mümkün olmaması olarak yorumlanabilir.



Grafik 2. 2: Hortum olaylarının bölgelere göre yüzdelik dağılımları.

2.1.1.1. Marmara Bölgesi Hortum Dağılımları

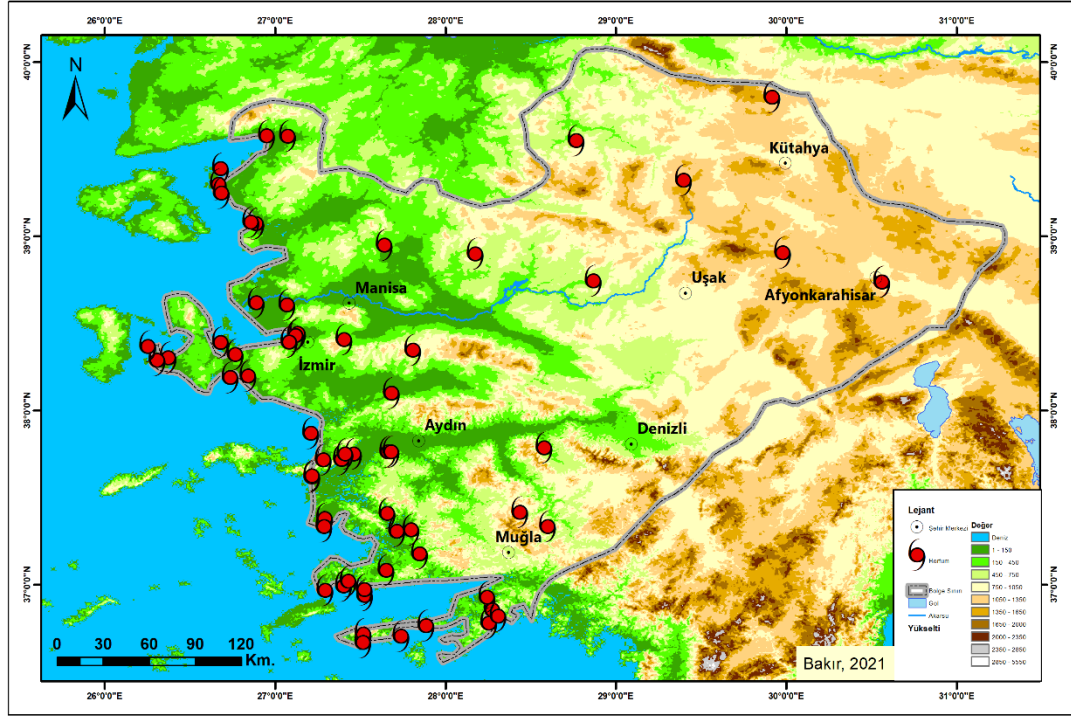
Marmara Bölgesi'nde hortum olaylarının dağılımı incelendiğinde, hortumların genel olarak Marmara Denizi çevresinde olduğu görülmektedir. Güney Marmara Bölümü'nün kuzey kesimleri, Ergene Bölümü'nün güneyi ile Çatalca-Kocaeli Bölümü'nün kıyı kesimlerinde hortum sayıları yüksektir. Bölgenin kabaca güney ve batı sınırları, Ergene Bölümü'nün güneybatı kesimleri ve Yıldız Dağları Bölümü ise hortum aktivitesinin en az olduğu alanlardır (Şekil-2.3).



Şekil 2. 3: Hortum olaylarının Marmara Bölgesi'ndeki dağılımı.

2.1.1.2. Ege Bölgesi Hortum Dağılımları

Ege Bölgesi'ndeki hortumların dağılımları incelendiğinde; olayların genellikle Ege Denizi kıyılarında gerçekleştiği, Afyonkarahisar çevresi haricinde iç kesimlerde nadiren hortum oluştuğu görülmektedir. Bölgede tespit edilmiş 81 hortumun 45'i kıyı kesimlerinde ve denizel alanlarda meydana gelmiştir. Ege Bölümü'nden İç Batı Anadolu Bölümü'ne doğru gidildikçe hortum sayılarının düşüşe geçtiği görülmektedir. Denizli-Uşak-Afyonkarahisar arasındaki Çivril Ovası ve çevresinde ise herhangi bir hortum olayı tespit edilmemiştir (Şekil-2.4)

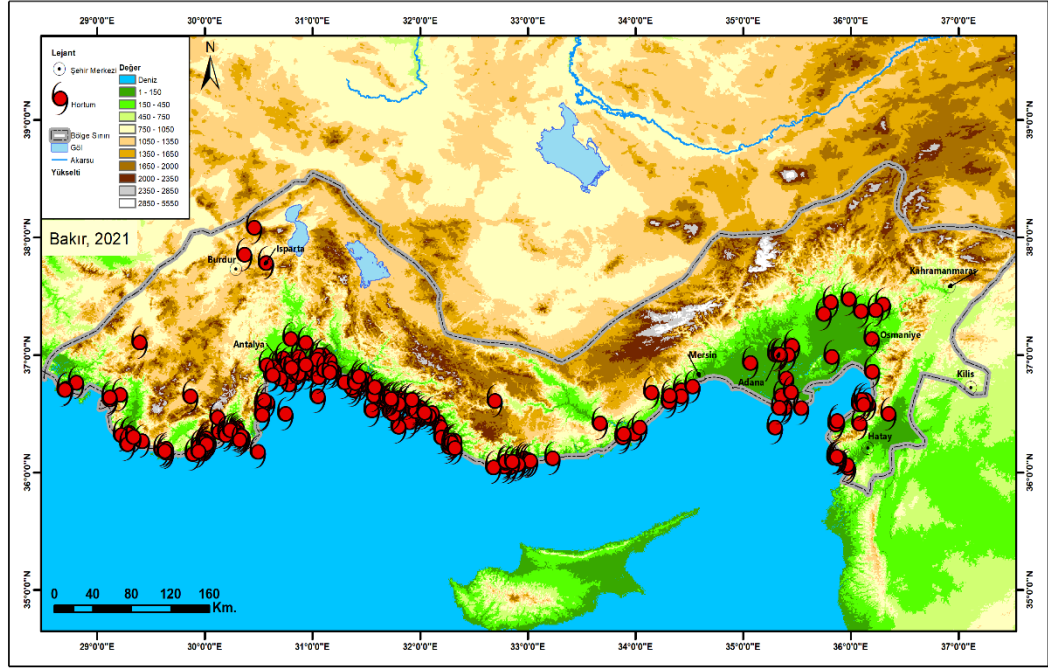


Şekil 2. 4: Hortum olaylarının Ege Bölgesi'ndeki dağılımı.

2.1.1.3. Akdeniz Bölgesi Hortum Dağılımları

Akdeniz Bölgesi, Türkiye genelinde en çok hortum olayının gerçekleştiği bölgedir. Özellikle Antalya Bölümü'nün kıyı kesimleri ile Antalya Körfezi çevresi 115 hortum olayı ile ilk sırada gelmektedir. Bu alanı 51 hortum ile Kumluca-Köyceğiz arası izlemektedir. Bölgede tespit edilmiş 248 adet hortum olayının 166'sı, yaklaşık %67'si, bu iki kesimde gerçekleşmiştir. Bu özelliği ile Akdeniz Bölgesi'nin Antalya Bölümü, hortum klimatolojisi açısından oldukça yüksek bir önem arz etmektedir. Karasal alan olarak genellikle Adana-Osmaniye arası ve Çukurova'nın iç kesimleri hortum sayısı bakımından öne çıkmaktadır (Şekil-2.5).

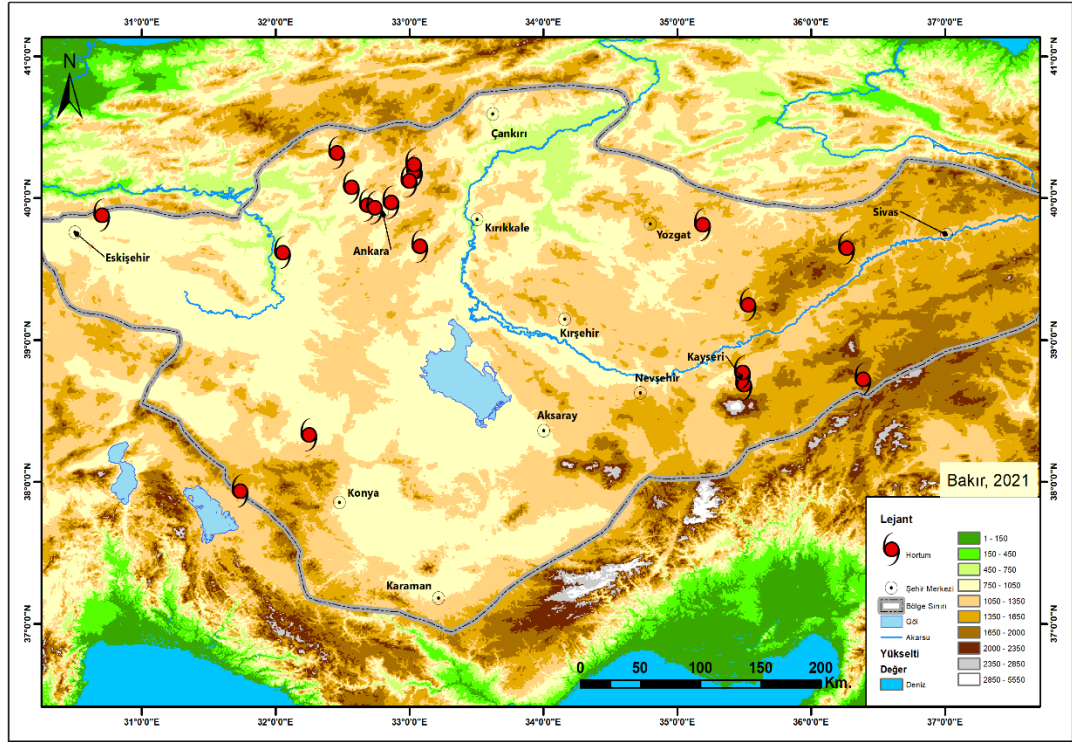
Bölgenin batısına ve iç kesimlere doğru gidildiğinde ise hortum sayılarında azalma meydana geldiği görülmektedir. Mersin-Hatay arasındaki kıyı şeridinde 48 tane hortum olayı tespit edilmiştir. İç kesimlerde ise hortumlar oldukça nadir görülmektedir. Göller Yöresi'nin güneybatısında Isparta ile Burdur çevrelerinde meydana gelen 6, Denizli'nin güneyinde kaydedilmiş 1 hortum olayı haricinde bölgenin iç kesimlerinde gerçekleşmiş hortum olayı bulunmamaktadır.



Şekil 2. 5: Hortum olaylarının Akdeniz Bölgesi'ndeki dağılımı.

2.1.1.4. İç Anadolu Bölgesi Hortum Dağılımları

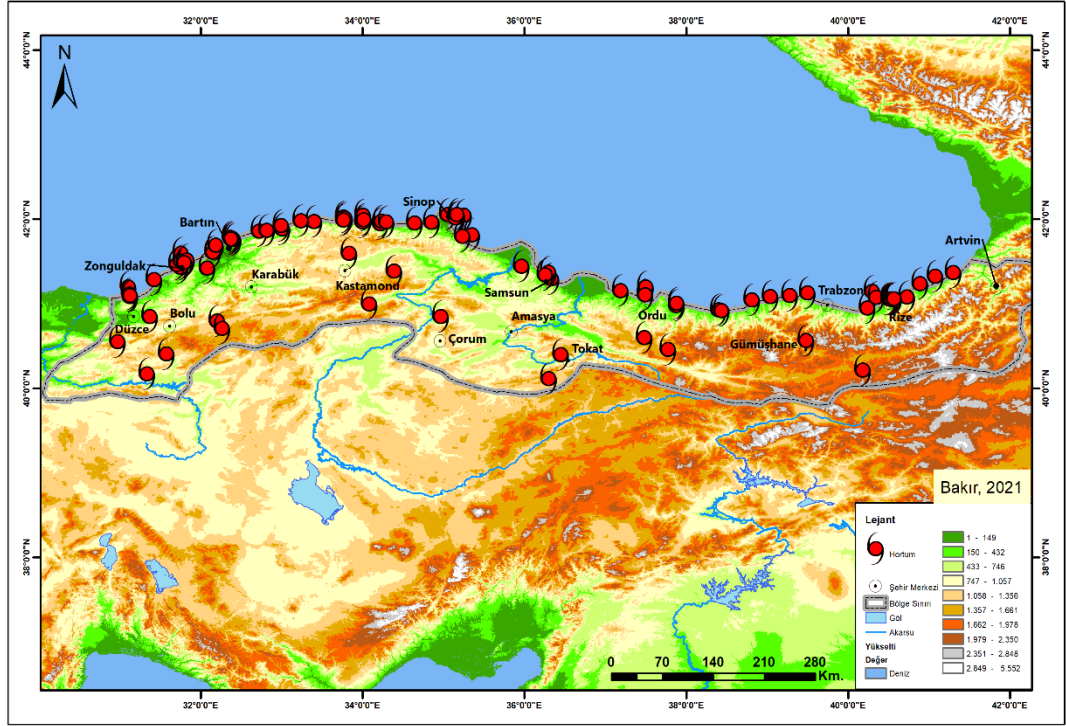
İç Anadolu Bölgesi, hortum olaylarına çok sık rastlanılmayan bir bölgemizdir. Bölge genelinde tespit edilmiş 53 hortumun mekânsal dağılımı incelendiğinde, hortum olaylarının çoğunlukla bölgenin kuzeyinde ve doğusunda meydana geldiği görülmektedir. Kayseri çevresi 25, Ankara çevresi 20 hortum olayı ile bölgede hortumların en sık gerçekleştiği alanlar olarak öne çıkmaktadır. Yukarı Sakarya Bölümü'nün batısı, Konya Bölümü ve Yukarı Kızılırmak Bölümü'nde ise hortumlar oldukça nadir görülmektedir (Şekil-2.6).



Şekil 2. 6: Hortum olaylarının İç Anadolu Bölgesi'ndeki dağılımı.

2.1.1.5 Karadeniz Bölgesi Hortum Dağılımları

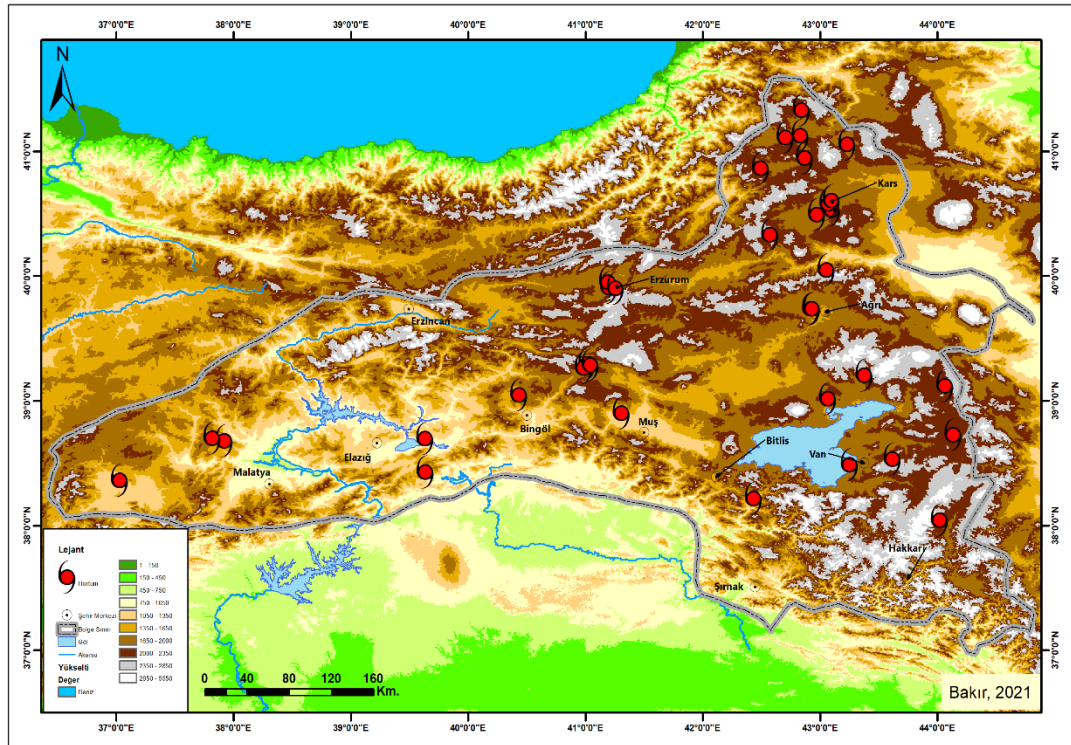
Yapılan incelemelerde Karadeniz Bölgesi genelinde 97 tane hortum olayı tespit edilmiştir. Bu sayı ile Türkiye'de en fazla hortum görülen coğrafi bölgeler arasında ikinci sırada gelmektedir. Karadeniz Bölgesi'nde hortum olaylarının; Akdeniz, Ege ve Marmara bölgelerinde olduğu gibi kıyı kesimlerinde yoğunlaştığı görülebilmektedir. Tespit edilen 97 hortumun yalnızca 18'i karasal iç kesimlerde gerçekleşmiş, geri kalan 79 olay bölgenin denizel kıyı kesimlerinde meydana gelmiştir. Yüzdesel olarak bakıldığında bölge hortumlarının yaklaşık %81'inin denizel ya da kıyısız alanlarda meydana geldiği görülmektedir. Bu sayı, Akdeniz Bölgesi'nden de yüksektir. Bunun sebebi; bölgedeki dağlık kesimler ile kıyı şeridi arasında Akdeniz Bölgesi'ne kıyasla nispeten daha az bir alan bulunması ile Çukurova benzeri oldukça geniş ve düz kıyı ovalarına rastlanılmaması düşünülebilir (Şekil-2.7).



Şekil 2. 7: Hortum olaylarının Karadeniz Bölgesi'ndeki dağılımı.

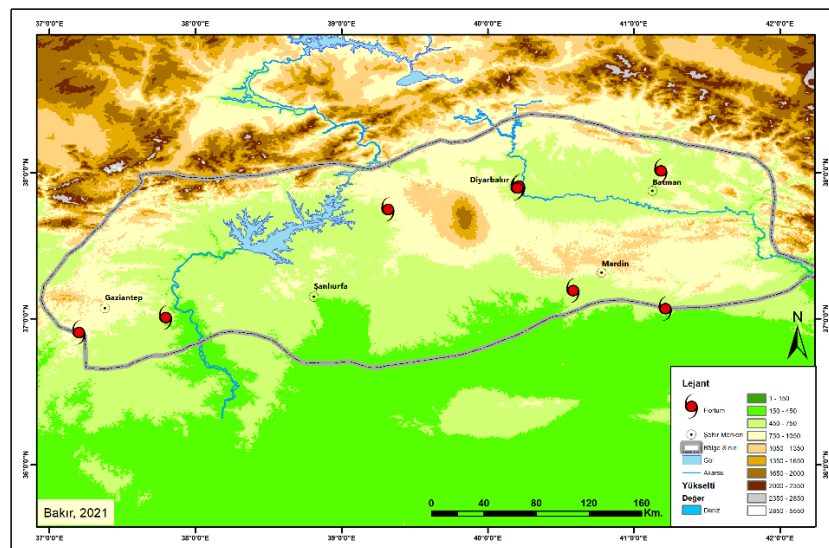
2.1.1.6. Doğu Anadolu Bölgesi Hortum Dağılımları

Doğu Anadolu Bölgesi, hortum sayısı bakımından Türkiye'de en az hortum olayının görüldüğü iki bölgemizden birisidir. Yapılan incelemeler sonucunda Doğu Anadolu Bölgesi'nde 41 hortum olayı tespit edilebilmiştir. Bölgede batıdan doğuya doğru gittikçe hortum sayılarında artış görülmektedir. En az hortum olayı Malatya-Elâzığ-Erzincan hattı civarında, en çok hortum olayı ise Kars-Erzurum arası ile Van-Ağrı çevresinde gerçekleşmiştir. Kars çevresinde 11, Erzurum çevresinde 9, Ağrı-Van çevresinde ise 8 hortum olayı belirlenmiştir. Doğu Anadolu Bölgesi'nin denize kıyısı olmamasına karşın büyük çaplı göllerin çevrelerinde su hortumları meydana gelebilmektedir. Bölgenin kuzeyinde bulunan Çıldır Gölü ve bölgenin güneyinde yer alan, aynı zamanda Türkiye'nin en büyük gölü olan Van Gölü çevresinde iki su hortumu olduğu belirlenmiştir (Şekil-2.8). Hortumlar genel olarak Erzurum-Kars Bölümü ve Yukarı Murat-Van Bölümü'nün doğu kesimlerine dağılmışken, Yukarı Fırat Bölümü'nün batısı ve Hakkâri Bölümü hortumların bölgede en seyrek gerçekleştiği alanlardır.



2.1.1.7. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Hortum Dağılımları

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, toplamda 8 tane hortum olayı ile coğrafi bölgeler arasında en az hortumun gerçekleştiği bölgedir. Bu 8 olayın 2'si Gaziantep'te, 2'si Diyarbakır'da, 2'si Mardin çevresinde, 1'i Şanlıurfa, 1'i ise Batman'da meydana gelmiştir (Şekil-2.9).

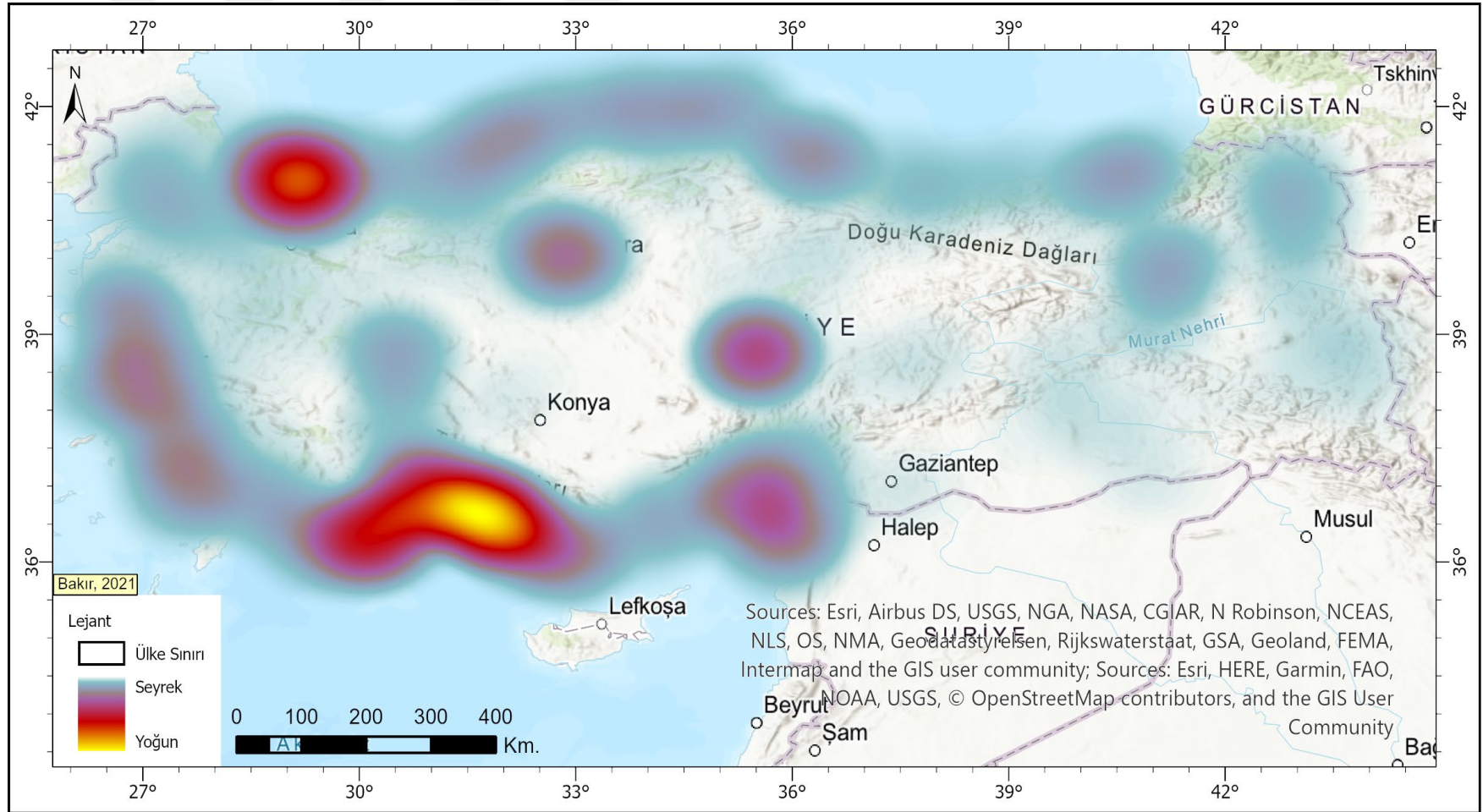


Şekil 2. 9: Hortum olaylarının Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki dağılımı.

2.1.2. Yoğunluk Analizleri

ArcGIS Pro 2.5 programında hortumların koordinat bilgileri kullanılarak olaylar nokta verisi şekline getirilmiş, coğrafi bölgelere göre ayrılarak her bölge için yoğunluk haritaları (heatmap) hazırlanmıştır. Bu sayede hortumların hem Türkiye genelinde hem de bölgeler içerisinde yoğun olarak gerçekleştikleri çekirdek alanlar ortaya çıkarılmıştır.

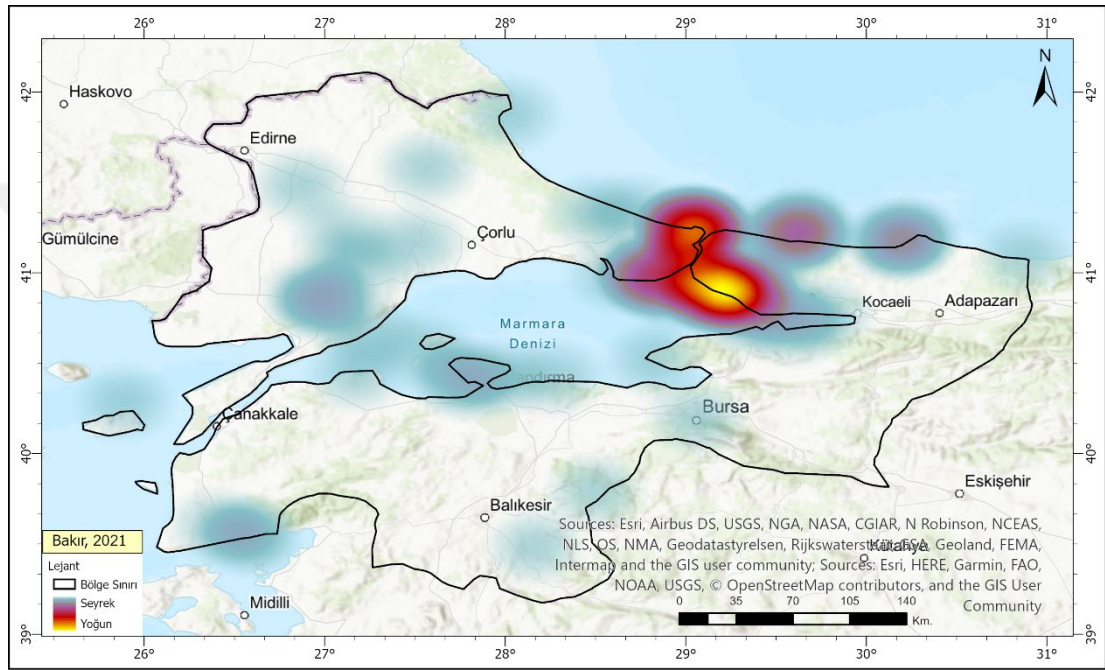
Türkiye geneli hortum olaylarının yoğunluk haritasına bakıldığında ülke genelinde hortum olaylarının çok sık gerçekleştiği 5 çekirdek alan görülebilmektedir. Bu alanlar Kaş-Anamur şeridi, Hatay-Adana çevresi, Edremit-Datça arası Ege kıyıları, İstanbul ve Ankara ile Kayseri çevresi olarak sıralanabilir (Şekil-2.10). Çalışmanın veri setinde bulunan toplam 616 hortum olayının bu alanlara dağılımı ise; Kaş-Anamur hattında 169 hortum, İstanbul çevresi 109 hortum, Edremit-Datça arası 49 hortum, Ankara-Kayseri hattı 46 hortum, Hatay-Adana çevresi ise 44 hortum olarak şeklindedir. Sayılan bu çekirdek alanlar dışında kalan Karadeniz sahil şeridinde 79 hortum olayı bulunmasına rağmen alanın yoğunluk değeri düşüktür.



Şekil 2. 10: Türkiye geneli hortum yoğunluk haritası.

2.1.2.1. Marmara Bölgesi

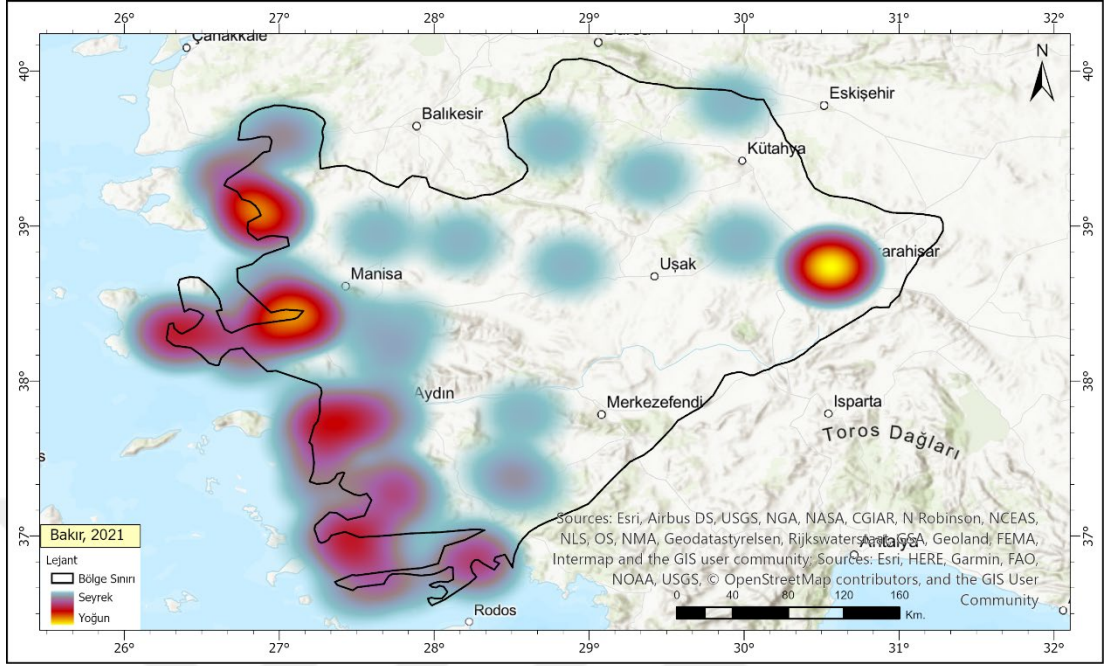
Marmara Bölgesi'nde hortumların yoğun olarak gerçekleştikleri alanlar genel olarak İstanbul'da Boğaz çevresi ile Şile ve Ağva ilçeleridir. Bölgede bulunan 88 hortum olayının 58'i bu alanlarda meydana gelmiştir (Şekil-2.11).



Şekil 2. 11: Marmara Bölgesi hortum yoğunluk haritası.

2.1.2.2. Ege Bölgesi

Ege Bölgesi'nin hortum yoğunluğu haritası incelendiğinde bölge genelinde hortumların toplandığı altı belirgin merkez bulunduğu görülmektedir. Bunlar sırası ile Edremit-Bergama, İzmir, Söke, Bodrum, Marmaris ve Afyonkarahisar'dır. (Şekil-2.12). Bölgede tespit edilen 81 hortumun 18'i İzmir çevresinde, 12'si Edremit-Bergama'da, 9'u Söke ve çevresinde, 9'u Afyonkarahisar'da, 8'i Marmaris ve çevresinde, 6'sı ise Bodrum'da, gerçekleşmiştir. Yoğun hortum alanlarının genel olarak grabenlerin kıyısal kesimlerine ve körfez içlerine denk geldiği söylenebilir.

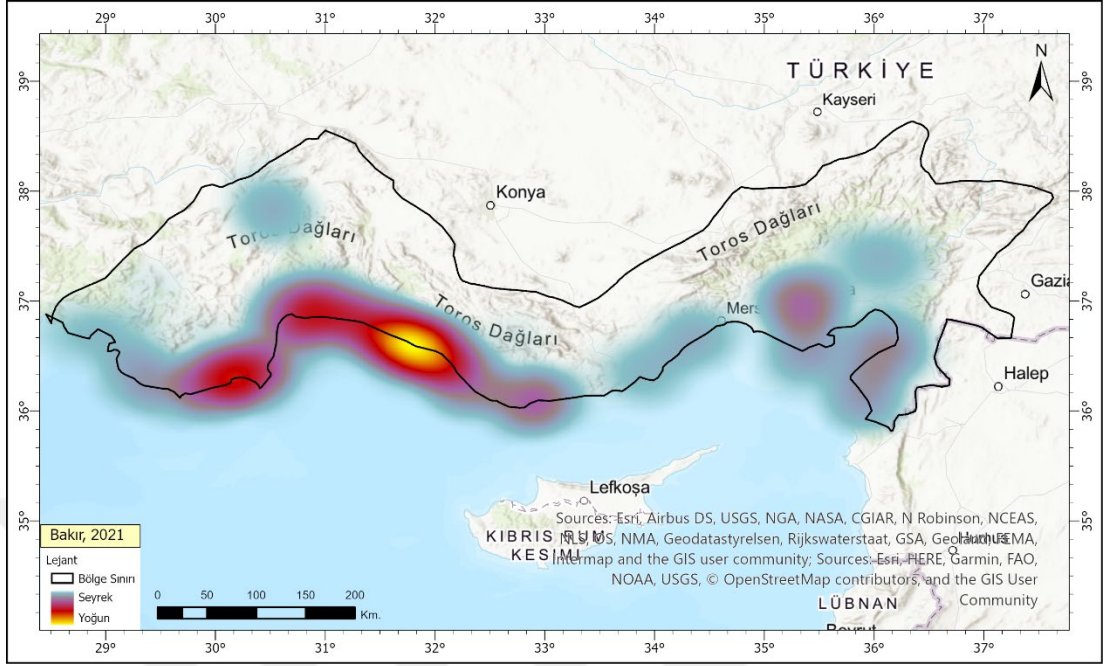


Şekil 2. 12: Ege Bölgesi hortum yoğunluk haritası.

2.1.2.3. Akdeniz Bölgesi

Akdeniz Bölgesi, Türkiye'nin en fazla sayıda hortum meydana gelen ve yoğunluk bakımından da en yüksek hortum yoğunluğuna sahip bölgesidir. Bölgede meydana gelmiş hortum olaylarının yoğunluk analizleri sonucunda iki temel merkez olduğu görülmüştür (Şekil-2.13). Bunlardan birincisi Kaş-Anamur arasında geniş bir alan kaplamaktadır. Akdeniz Bölgesi'nde bulunan 248 hortum olayının 163'ü bu alanda meydana gelmiştir. Çalışma veri setinde Türkiye geneli 616 hortum olayı olduğu göz önünde bulundurulursa, bu sayının oldukça yüksek bir değerde olduğu söylenebilir. Yüzdesel olarak bakıldığında 2000-2019 yılları arasında Türkiye'de meydana gelmiş hortumların yaklaşık %26,46'sı sadece Kaş-Anamur arasında oluşmuştur. Bu açıdan alan sadece Akdeniz Bölgesi'nin değil, Türkiye'nin de en yoğun hortum oluşumu görülen alanıdır.

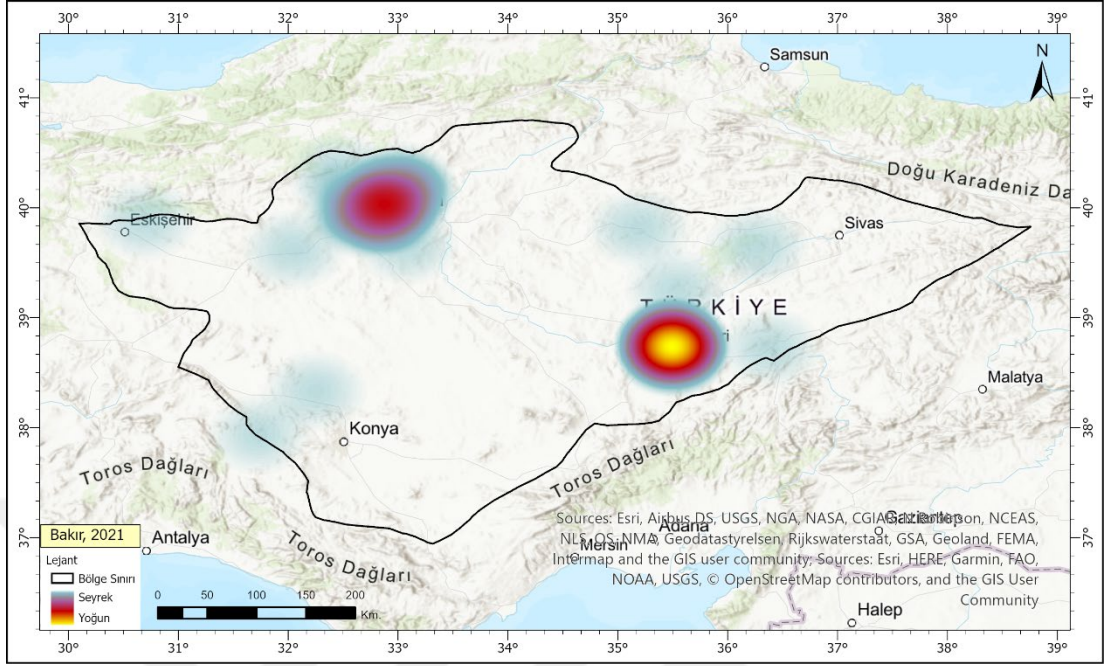
Akdeniz Bölgesi'ndeki diğer bir çekirdek alan ise Adana-Hatay arası ve Çukurova Deltası'dır. Bölge hortumlarından 48'inin bu alanda meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 2. 13: Akdeniz Bölgesi hortum yoğunluk haritası.

2.1.2.4. İç Anadolu Bölgesi

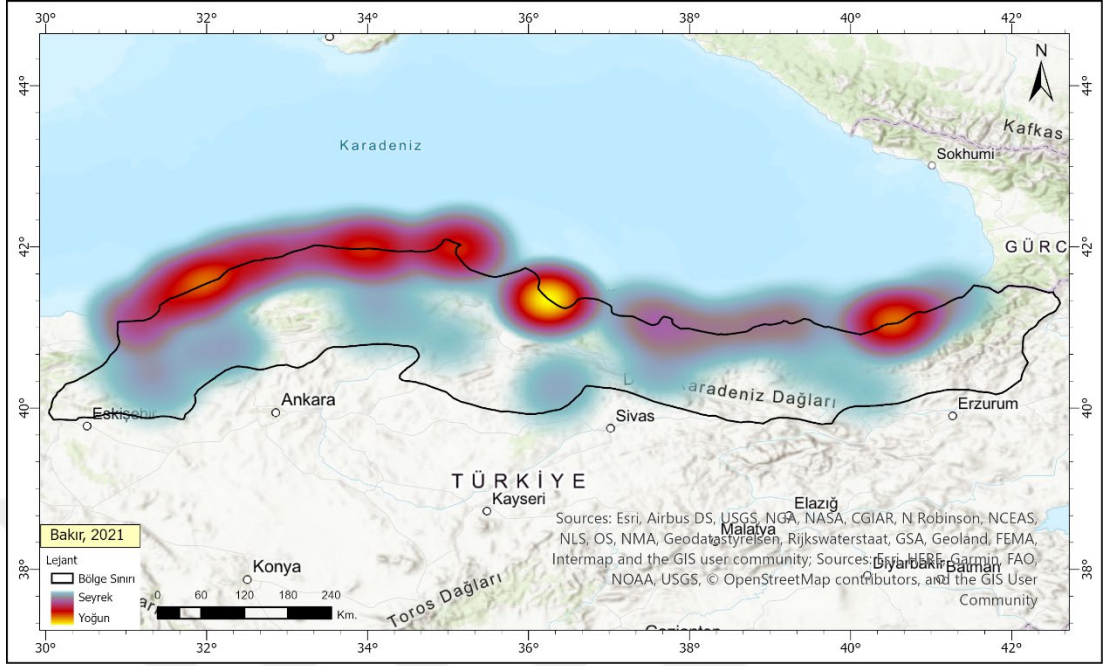
İç Anadolu Bölgesi'nde Ankara ve Kayseri illeri haricinde kayıtlara geçmiş hortum sayısı oldukça azdır. Bölgedeki 53 hortumun 20'si Ankara ve çevresinde, 26'sı ise Kayseri ve çevresinde gerçekleşmiştir. Yoğunluk haritası incelendiğinde de bu durum açıkça görülebilmekte, bu iller haricinde kayda değer bir hortum yoğunluğundan söz edilememektedir (Şekil-2.14). Bölgede hortum sayısı az olmasına rağmen, 19 Haziran 2004 tarihinde gerçekleşmiş Çubuk Sönlü hortum olayı örneğinde olduğu gibi ciddi hasar verebilen ve şiddeti yüksek hortumlar oluşabilmektedir.



Şekil 2. 14: İç Anadolu Bölgesi hortum yoğunluk haritası.

2.1.2.5. Karadeniz Bölgesi

Karadeniz Bölgesi'nde hortum olayları genellikle kıyı şeridinde yoğunlaşmış olmalarına karşın iç yörelerde de hortumlara rastlanılabilmektedir. Bölgede hortumların ağırlıklı gerçekleştiği çekirdek alanlar Ereğli-Bartın-Sinop şeridi, Samsun çevresi ve Rize kıyıları olarak söylenebilir (Şekil-2.15). Samsun ili ve çevresi bölgede hortum yoğunluğunun en yüksek olduğu alandır. Bölge içinde kayda geçmiş 97 hortum olayının 67'si bu alanlarda meydana gelmiştir. Akdeniz Bölgesi'ne benzer şekilde bölgenin iç kesimlerine doğru gidildiğinde ise hortum yoğunluğunun düşmesine karşın; Karadeniz Bölgesi'nin iç kesimlerinde hortum yoğunluğu, Akdeniz Bölgesi'nin iç kesimlerine kıyasla daha yüksek seviyededir.

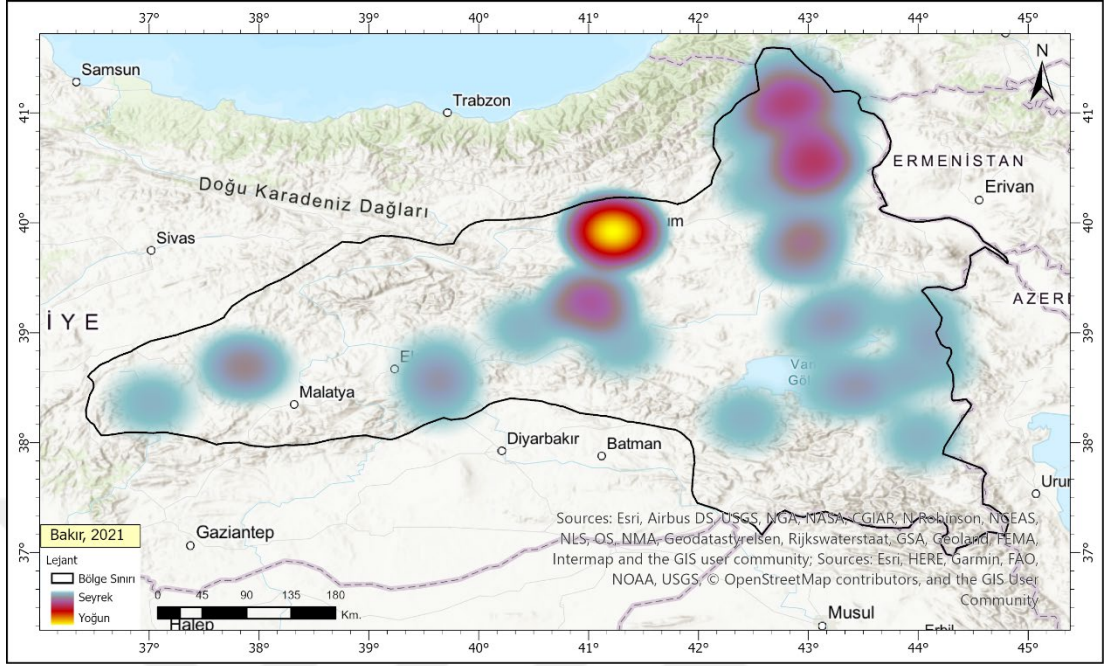


Şekil 2. 15: Karadeniz Bölgesi hortum yoğunluk haritası.

2.1.2.6. Doğu Anadolu Bölgesi

Doğu Anadolu Bölgesi'nde hortumlar Erzurum-Karlıova çevresinde, Kars-Ardahan hattında ve Van Gölü'nün doğu kıyılarındaki yoğunluk göstermektedir. Bölgede özellikle Kars ve Ardahan şehir merkezi çevreleri ile Çıldır Gölü çevresi hortum aktivitesi bakımından ön plana çıkan alanlardır. Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan 41 hortumun 11'i bu alanda meydana gelmiştir. İkinci sırada ise Erzurum ile Karlıova çevresi gelmektedir. Bu sahada meydana gelmiş hortum olayı sayısı ise 12'dir.

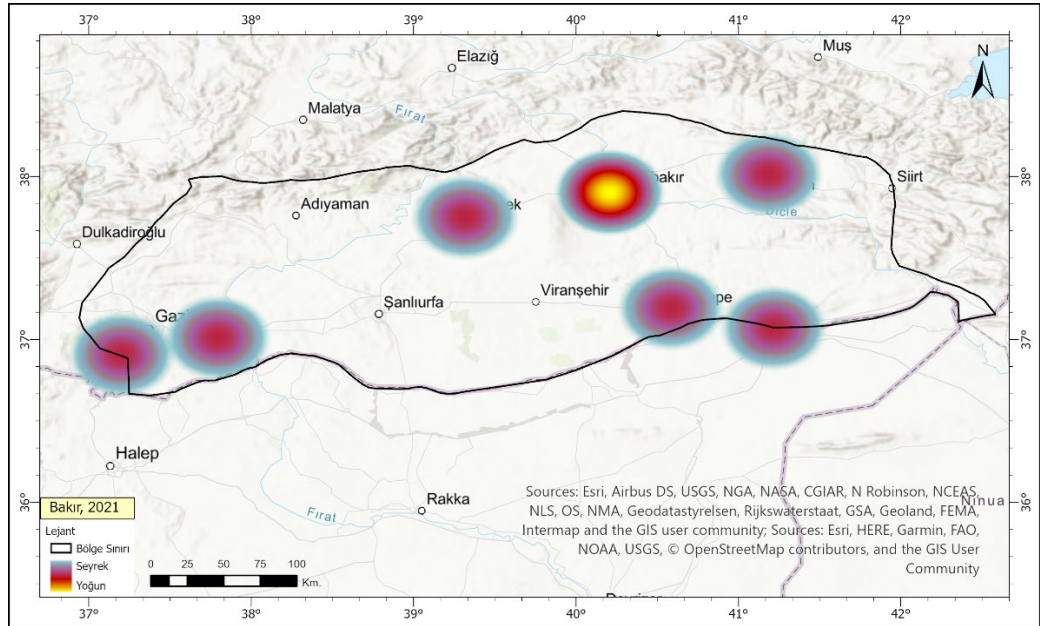
Bölgenin batı kesimlerinde ise Malatya ve Elâzığ çevreleri haricinde hortum sayısı ve yoğunluğu oldukça düşüktür (Şekil-2.16).



Şekil 2. 16: Doğu Anadolu Bölgesi hortum yoğunluk haritası.

2.1.2.7. Güneydoğu Anadolu Bölgesi

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, daha önce de değinildiği gibi Türkiye’de hortum olayının en az görüldüğü bölgedir ve çalışma için hazırlanan veri setinde de sadece 8 olay kaydı bulunabilmektedir. Bölgedeki hortum olayları ağırlıklı olarak Diyarbakır-Mardin hattı ve çevresi ile Gaziantep çevresinde etkili olmuşlardır (Şekil-2.17).



Şekil 2. 17: Güneydoğu Anadolu Bölgesi hortum yoğunluk haritası.

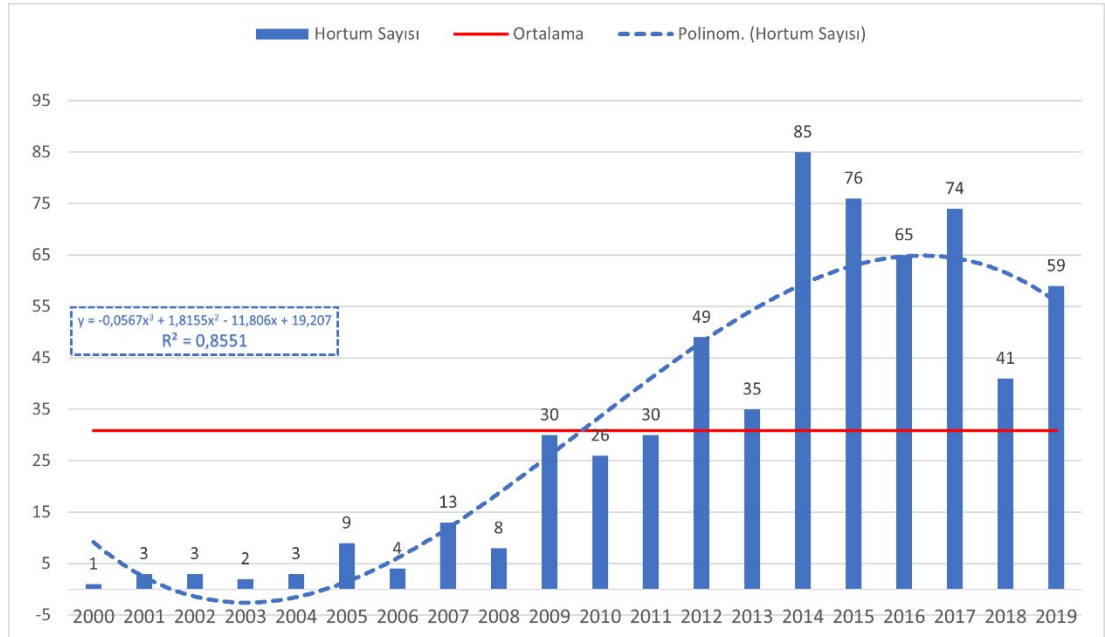
2.2. Zamansal Dağılım

Bu aşamada hortum verileri yıllık, aylık, saatlik gibi çeşitli zamansal kategorilere ayrılmış ve verilerin dağılımları çıkarılıp analiz edilmiştir.

2.2.1. Yıllık Dağılım

2000-2019 arası 20 yıllık dönemde hortum olaylarının dağılımları incelendiğinde günümüze yaklaşıldıkça belirgin bir artış olduğu gözlemlenmiştir ancak bu artış düzgün ve devamlı bir şekilde gerçekleşmemiştir. 2000-2009 yılları arasında düşük bir seyir izleyen hortum sayıları, 2009 yılından itibaren yükselişe geçerek 2014 yılında 85 hortum ile maksimum sayıya ulaşmıştır. 2014-2019 yılları arasında ise 41-76 arasında değişkenlik göstermiştir (Grafik-2.3).

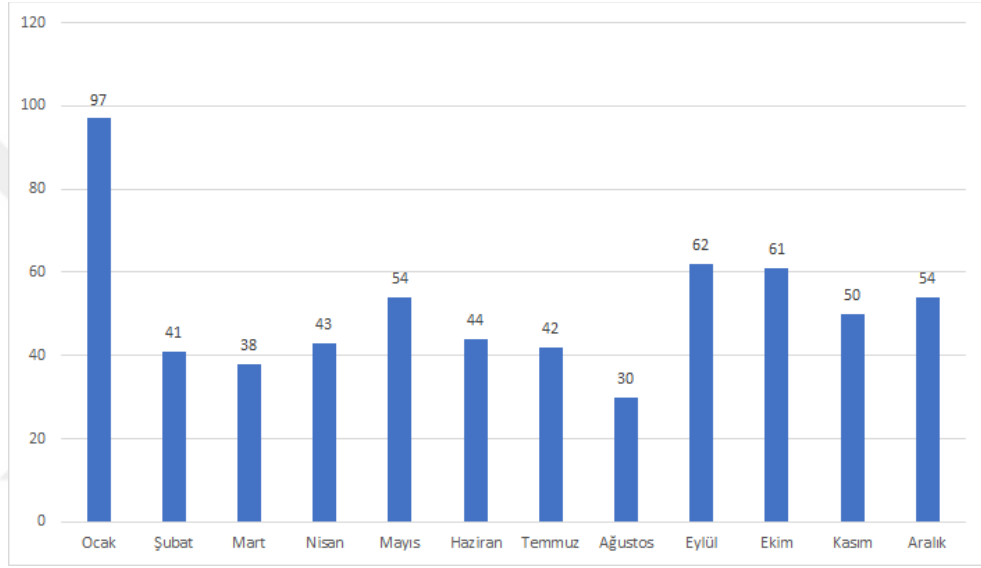
Günümüze doğru gerçekleşen bu artış oranı yorumlanırken bazı noktalara dikkat etmek gereklidir. Güncel olarak yaşanmakta olan iklim değişikliğinin ve buna bağlı süreçlerin hortumları etkileyebileceği düşünülebilir. Ancak gerçekleşen teknolojik gelişmeler, meteorolojik gözlem ağlarında yapılan radar kurulumları gibi iyileştirme ve geliştirmeler, toplumda hortum afetine karşı farkındalığın artması, hortum olaylarını gözlemleme ve belgelemenin kolaylaşması gibi nedenler de göz ardı edilmemelidir. Hortum afetlerinde görülen bu artışları direk olarak iklim değişikliğine bağlamak doğru değildir ve dikkatli bir inceleme gereklidir.



Grafik 2. 3: 2000-2019 yılları arası hortum olaylarının yıllara göre dağılımı.

2.2.2. Aylık Dağılım

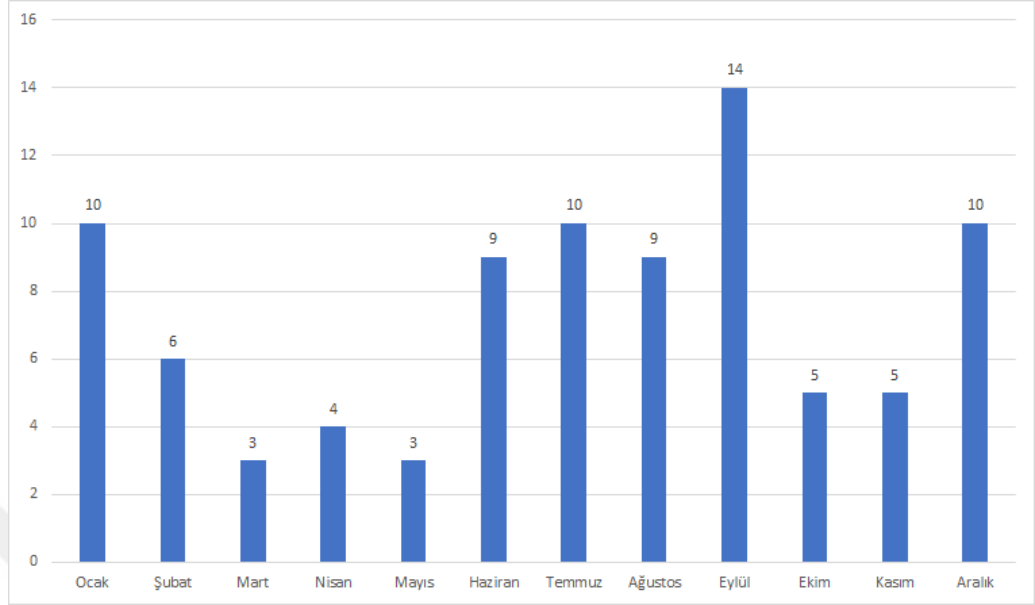
Türkiye geneli hortumların aylık dağılımına bakıldığında 2000 – 2019 yılları arasında en fazla hortumun Ocak ayında, en az hortumun ise Ağustos ayında meydana geldiği görülmektedir. Hortum sayıları Şubat ayından sonra düşüşe geçmesine karşın Mayıs ayında yükselmekte, Ağustos ayına kadar tekrar bir düşüş trendine girdikten sonra Eylül ve Ekim aylarında hafif bir yükseliş, Kasım ve Aralık aylarında ise hafif bir düşüş göstermektedir (Grafik-2.4).



Grafik 2. 4: 2000-2019 yılları arası hortum olaylarının aylara göre dağılımı.

2.2.2.1. Marmara Bölgesi

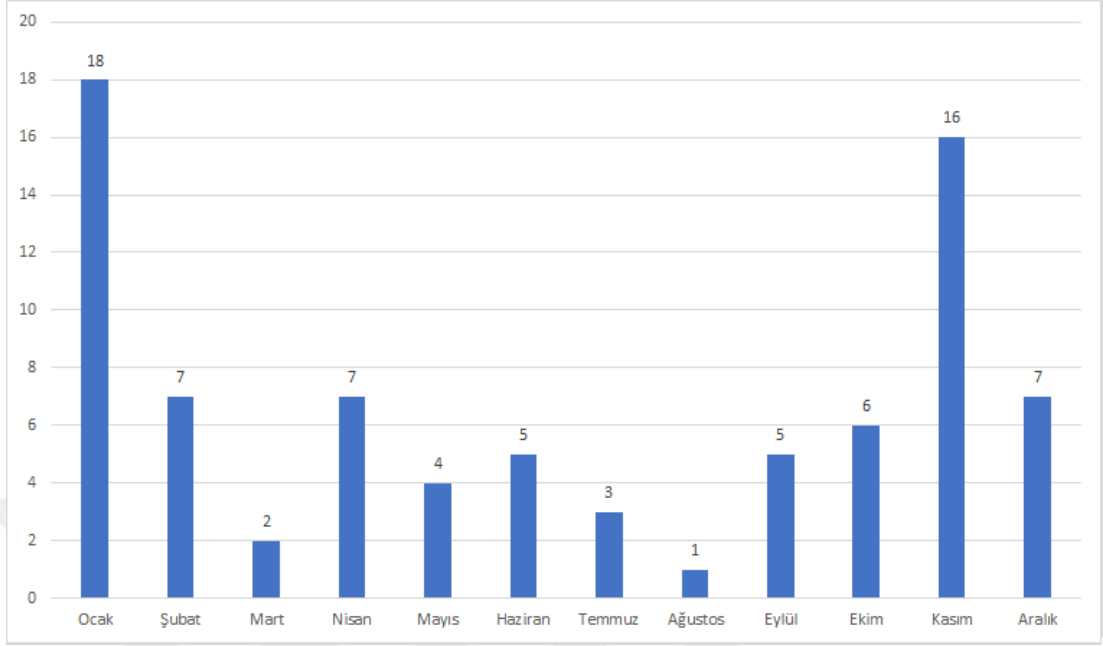
Marmara Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların aylık dağılımlarına bakıldığında en fazla hortumun 14 olay ile Eylül ayında, en az hortumun ise 3 olay ile Mart ve Mayıs aylarında gerçekleştiği görülmektedir. Mart – Nisan – Mayıs döneminde minimum seviyesinde olan hortum aktivitesi Haziran – Temmuz – Ağustos döneminde artışa geçerek Eylül ayında en yüksek seviyesine ulaşmaktadır. Sonbahar mevsimi içerisinde Ekim ve Kasım aylarında düşüşe geçtikten sonra Ocak ve Şubat aylarında kısa süreli bir artış daha görülmektedir (Grafik-2.5)



Grafik 2. 5: Marmara Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların aylara göre dağılımı.

2.2.2.2. Ege Bölgesi

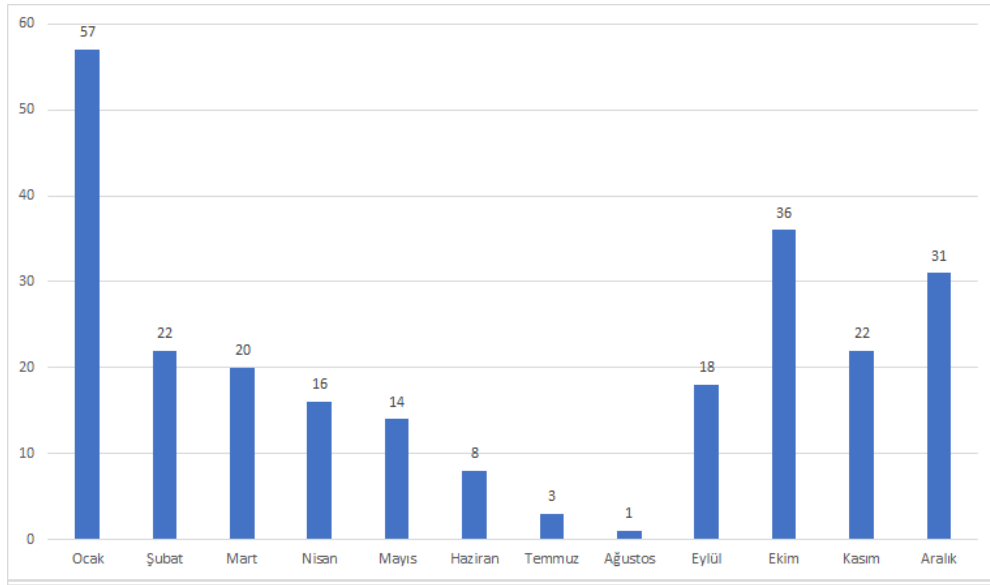
Ege Bölgesi'nde en çok hortum olayının görüldüğü ay 18 ile Ocak, en az hortum olayının görüldüğü ay ise 1 tane ile Ağustos ayıdır. Bölge genelinde hortum olayları Ekim ayından itibaren artmakta, Kasım ve Ocak aylarında en yüksek seviyesine ulaşip yaz aylarına doğru düşüşe geçmektedir (Grafik-2.6). Bölgenin aylık hortum dağılışı grafiği, iklimsel benzerlikler sebebiyle Akdeniz Bölgesi ile büyük oranda benzerlik göstermektedir. Ancak bölgenin iç kesimlerinde karasallığın etkili olduğu düşünüldüğünde aylık dağılımlarda Akdeniz Bölgesi'ne oranla daha düzensiz bir seyir izlediği söylenebilir.



Grafik 2. 6: Ege Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların aylara göre dağılımı.

2.2.2.3. Akdeniz Bölgesi

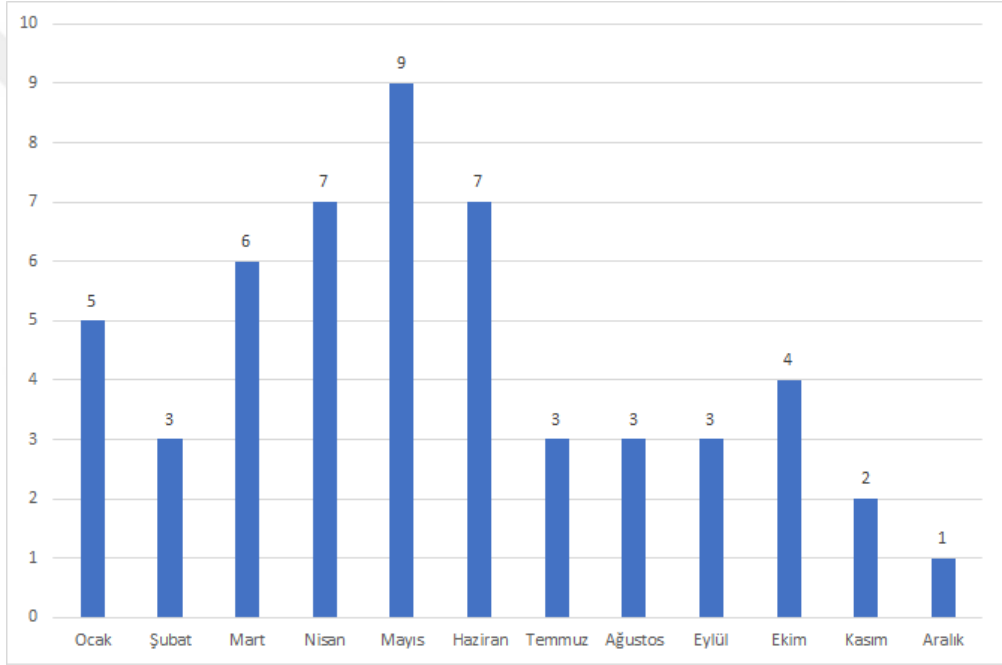
Akdeniz Bölgesi'ne ait aylık dağılımlara göre hortum aktivitesinin nispeten düzenli bir ilerleme gösterdiği söylenebilir. İlkbahar başlangıcı olan Mart ayından itibaren azalan hortum sayısı yaz dönemi içerisinde Ağustos ayında minimum seviyesine düşmektedir. Eylül ayından itibaren tekrar artan olay sayıları, hızla yükselerek Ocak ayında maksimum değerine ulaşmaktadır (Grafik-2.7).



Grafik 2. 7: Akdeniz Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların aylara göre dağılımı.

2.2.2.4. İç Anadolu Bölgesi

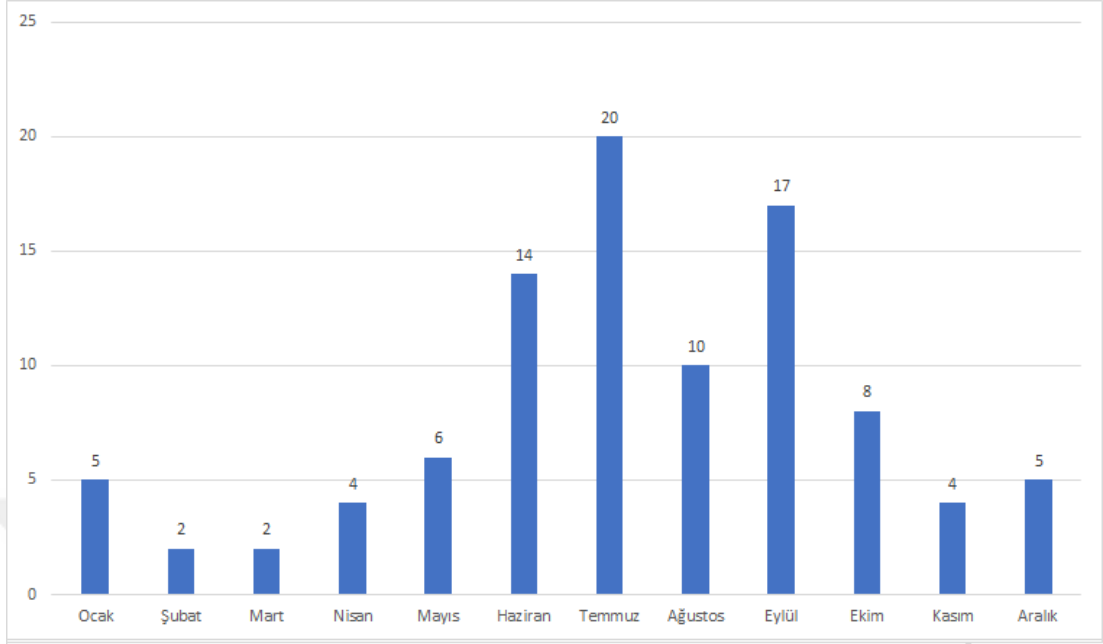
İç Anadolu Bölgesi'nde hortumlar, bölgenin iklim özelliklerinden dolayı daha farklı bir aylık dağılım göstermektedir. Bölgede hortum olayları Mart ayından itibaren artarak Mayıs ayında maksimum seviyesine ulaşmaktadır. Yaz aylarında düşüşe geçerek kış döneminde Aralık ayı içerisinde en düşük dönemine gelmektedir (Grafik-2.8). Bölge genelinde karasal tipte iklim etkilidir. İlkbahar aylarında artan kararsızlığa karşın kışın gelişen soğumalar neticesinde kararsızlık değerinin düştüğü göz önüne alındığında bölgenin iklim koşulları ve hortum dağılımları arasındaki ilişki daha net biçimde anlaşılabilmektedir.



Grafik 2. 8: İç Anadolu Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların aylara göre dağılımı.

2.2.2.5. Karadeniz Bölgesi

Karadeniz Bölgesi'nde Temmuz ayında maksimum, Şubat – Mart aylarında minimum seviyesi olan bir aylık dağılımdan söz edilebilir. Nisan ve sonrasında hortum sayıları artarak Temmuz ayında maksimuma ulaşan hortum aktivitesi, Ağustos ayında keskin bir düşüş ve Eylül ayında yükselişe karşın Ekim ayından itibaren azalarak Şubat ve Mart aylarında minimum seviyesine ulaşmaktadır (Grafik-2.9).

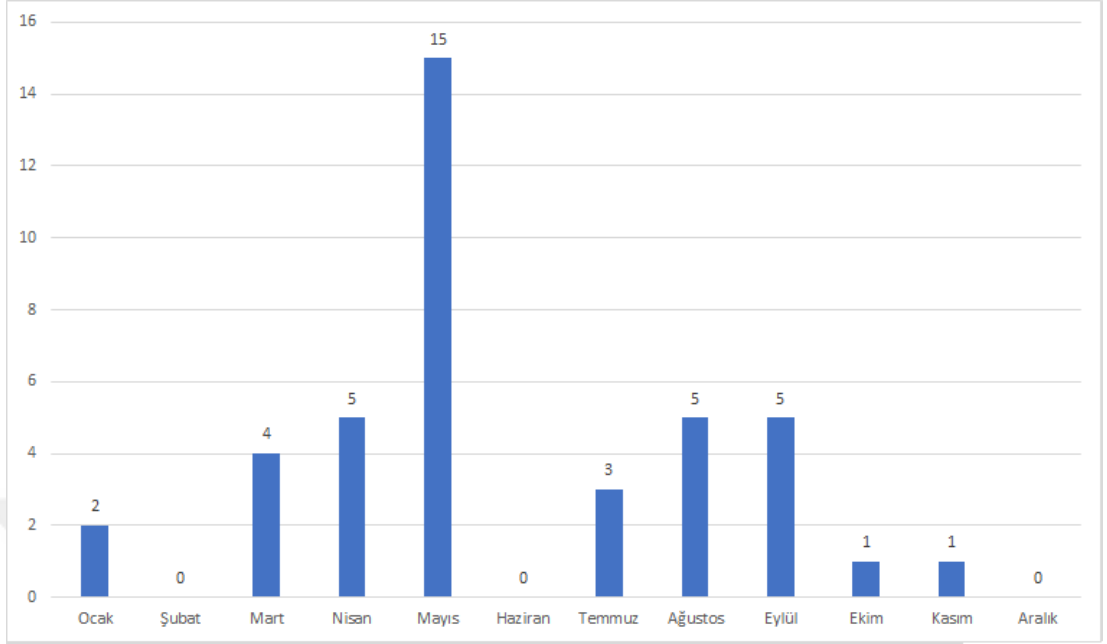


Grafik 2. 9: Karadeniz Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların aylara göre dağılımı.

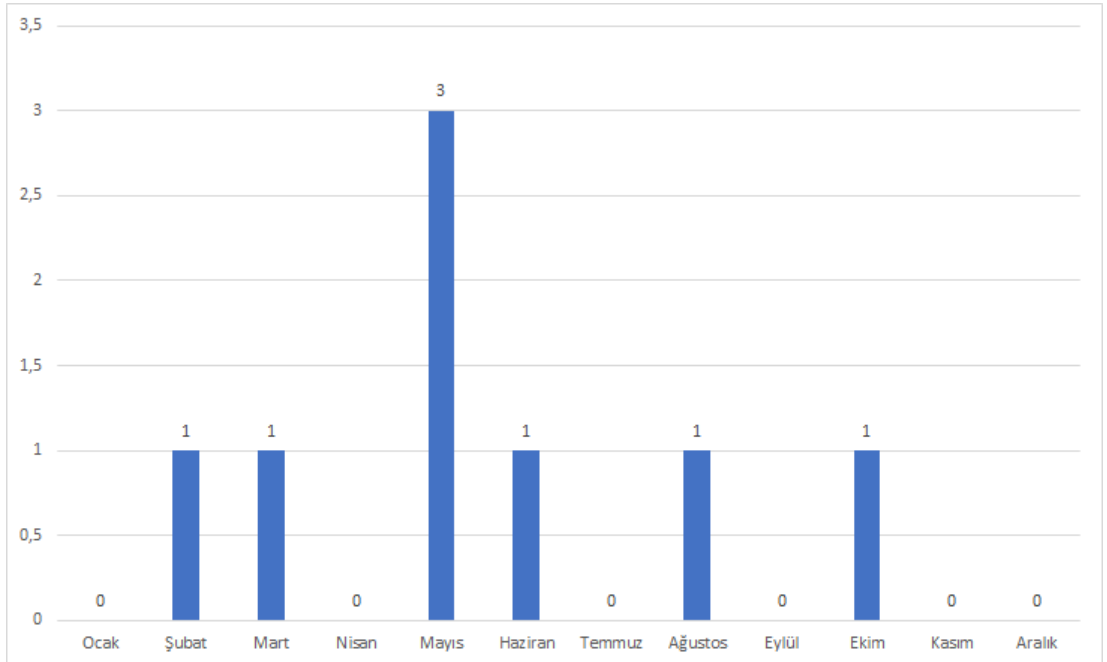
2.2.2.6. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri

Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri aylık hortum dağılımları bakımından benzer nitelik göstermektedir. Doğu Anadolu Bölgesi'nde hortumlar Mart ayından itibaren artarak Mayıs ayında en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Yaz aylarında düşüşe geçen hortum olayları, sonbahar sonu-kış başlangıcında minimum düzeye düşmektedir. Bölge içerisinde Şubat, Haziran ve Aralık aylarında herhangi bir hortum olayı tespit edilememiştir (Grafik-2.10).

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde de hortum olayları için maksimum ay Mayıs ayı olarak görünmektedir. Ancak aylık dağılımlar bu bölgede mantıklı bir çıkarıma ulaşmada yeterli değildir. Bunda bölge genelinde sadece 8 hortum olayı bulunabilmesinin etkisi büyüktür. Son derece az sayıdaki olay ile bölge genelini kapsayan doğru bir çıkarım yapılabilmesi mümkün görünmemektedir. Oluşturulan dağılım grafiğine bakıldığında da bu görülmektedir. Mayıs ayında 3; Şubat, Mart, Haziran, Ağustos ve Ekim aylarında 1'er tane hortum olayı bulunmuştur. Diğer aylarda kayda alınmış bir hortum tespit edilememiştir (Grafik-2.11).



Grafik 2. 10: Doğu Anadolu Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların aylara göre dağılımı.

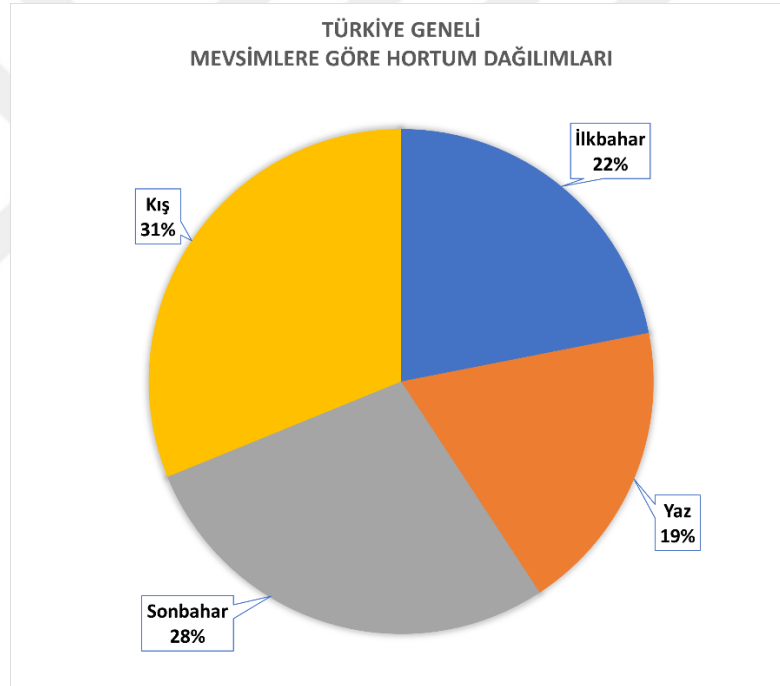


Grafik 2. 11: Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların aylara göre dağılımı.

2.2.3. Mevsimsel Dağılım

Hortumların mevsimsel dağılımlarını incelemek amacı ile veri setindeki olay kayıtları aylarına göre ayrılmış; Mart – Nisan – Mayıs ayları ilkbahar, Haziran – Temmuz – Ağustos ayları yaz, Eylül – Ekim – Kasım ayları sonbahar ve Aralık – Ocak – Şubat ayları kış mevsimi olmak üzere gruplandırılmıştır.

Yapılan incelemeler sonucunda Türkiye’de 2000-2019 yılları arasında gerçekleşmiş hortumların en çok kış mevsiminde, en az ise yaz mevsiminde olduğu görülmüştür. İkinci sırada sonbahar, üçüncü sırada ise ilkbahar ayları gelmektedir. Hortum olaylarının yaklaşık %31’i kış aylarında, %28’i sonbahar, %22’si ilkbahar, %19’u ise yaz aylarında meydana gelmiştir (Grafik-2.12).



Grafik 2. 12: Hortum olaylarının Türkiye genelinde mevsimlere göre dağılımı.

Hortum olaylarının mevsime göre ülke genelinde dağılımına bakıldığında ise mevsimsel farklar açık bir şekilde görülebilmektedir. İlkbahar mevsiminde hortum oluşumları Akdeniz Bölgesi’nde de sayı olarak yüksek olmasına karşın yoğun olarak İç ve Doğu Anadolu’da gerçekleşmektedir. Yaz döneminde hortumların yoğun olarak gerçekleştiği alanlar Karadeniz ve Marmara’ya kaymakta; olaylar sonbaharda Akdeniz Bölgesi, kışın ise Marmara Bölgesi’nde İstanbul çevresi ve gene Akdeniz Bölgesi genelinde yoğunlaşmaktadır (Şekil-2.18). Özellikle sonbahar ve kış mevsimlerinde ülkenin iç kesimlerinde hortum sayıları oldukça düşmektedir.

“Hortum sezonu şiddetli hava olaylarının oluşması için gerekli koşulların ne zaman aynı noktada bir araya geldiğine bağlıdır. Düşey rüzgâr kaymaları, jet akımlarının varlığına bağlı olduğundan hortum sezonu kutupsal jetle birlikte yıl boyunca kuzeye ve güneye hareket etmektedir.” (Ackerman & Knox, 2011).

Bölgesel olarak bakıldığında Marmara Bölgesi’ndeki hortumların yaz, sonbahar ve kış mevsimlerine dağılımları birbirlerine oldukça yakın değerler göstermekte ve diğer coğrafi bölgelere kıyasla mevsimler arasında büyük farklar bulunmamaktadır. Hortumların %32’si yaz mevsiminde meydana gelmiştir. Kış mevsiminde bu oran %30’a, sonbaharda ise %27’ye düşmektedir. Bölgede en az hortum meydana gelen mevsim ise %11 ile ilkbahar mevsimidir. Bölge coğrafi sınırları ile hâkim iklim alanlarının birbirleri ile uyuşmadığı ve bölgede Akdeniz, Karadeniz ve karasal olmak üzere üç farklı iklim türü görüldüğü bilinmektedir. Bundan dolayı yüzdesel değerlerin dağılımında, Marmara Bölgesi’nin iklimsel özellikleri de göz önüne alınmalıdır (Grafik-2.13/a).

Ege Bölgesi’nin mevsimsel dağılımına bakıldığında Akdeniz iklimine yakın değerler taşıdığı görülebilmektedir. Hortum olaylarının %40’lık büyük bir kısmı kış mevsiminde meydana gelmiştir. İkinci sırada ise %33 ile sonbahar mevsimi gelmektedir. Bölgenin hortum aktivitesi açısından en sakin dönemi ise ilkbahar mevsimidir. Bölgedeki hortumların yaklaşık %16’lık kesimi ilkbahar mevsiminde meydana gelmiştir (Grafik-2.13/b).

Akdeniz Bölgesi’nde hortum olaylarının %44’lük kesimi kış mevsiminde meydana gelmiştir. Bölgede en az hortum oluşan dönem ise %5 ile yaz mevsimidir. Bölgenin genel iklim karakteri yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılıman ve yağışlı olarak tanımlanan klasik Akdeniz iklimidir. Dolayısı ile yaz mevsiminde bölgede, hortumların oluşumunu denetleyen en temel etkenlerden olan kararsızlık ve nem değerleri oldukça düşük seviyelerdedir. Buna rağmen kış aylarında artan kararsızlık, sıcak deniz suyu değerleri, bölgenin ana siklon rotaları üzerinde olması ve buna bağlı olarak yaşanan cephe geçişleri gibi etmenler yanında genel atmosfer dolaşımı gibi faktörler de ele alındığında hortum oluşumuna elverişli bir ortam sağlanmaktadır (Grafik-2.13/c).

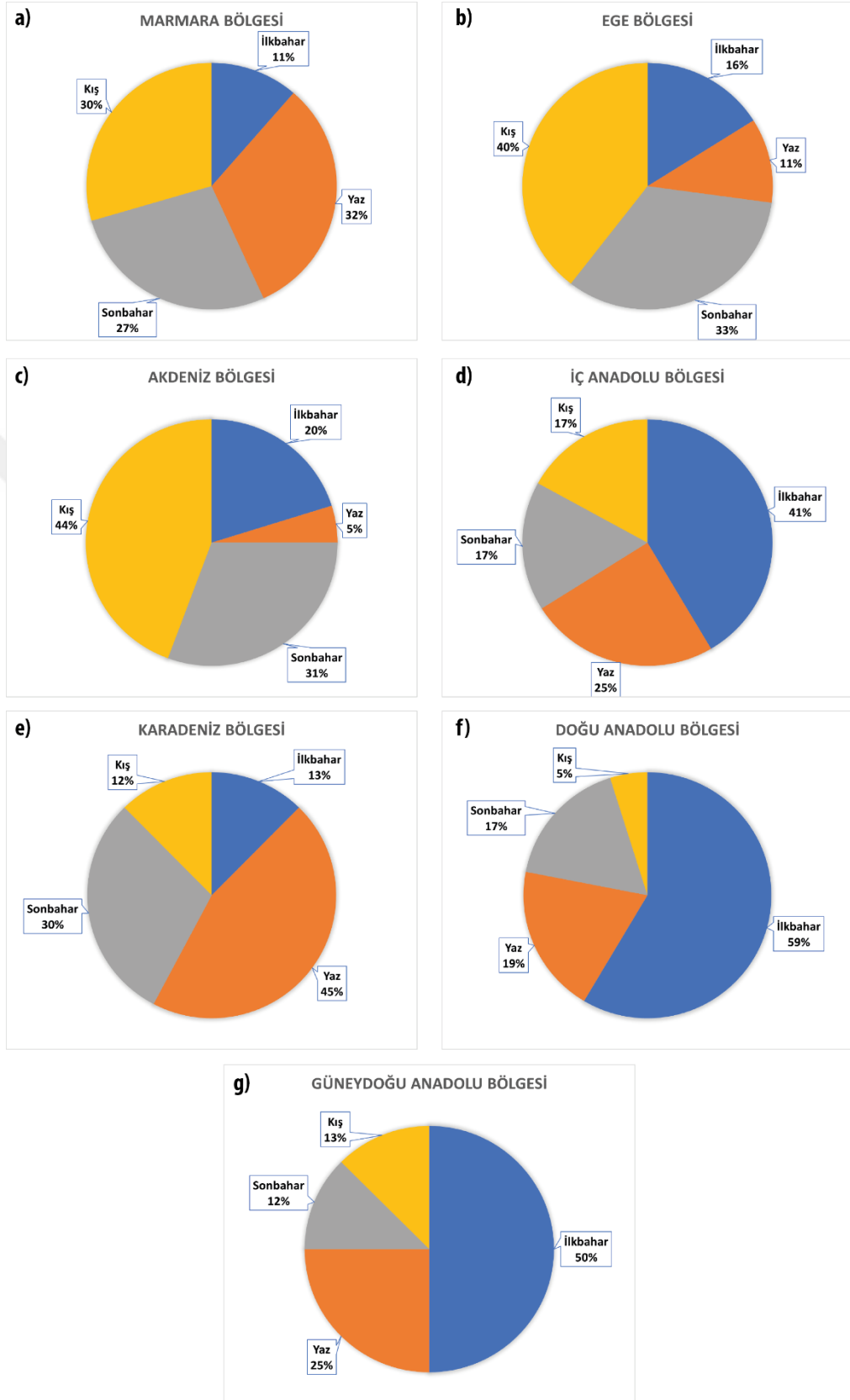
İç Anadolu Bölgesi’ne bakıldığı zaman kıyı bölgeleri ile arasındaki mevsimsel farklar açık bir şekilde görülebilmektedir. Bölgenin hortum açısından en aktif dönemi %41 ile ilkbahar mevsimidir. İkinci sırada ise %25 ile yaz mevsimi gelmektedir. Sonbahar ve

kış dönemleri ise %17'lik kesimi oluşturmaktadır. İlkbahar döneminin hortum olayları açısından en aktif dönem olması, bölgede bu dönemde artan konveksiyon hareketleri ve kararsızlık değerleri ile açıklanabilir (Grafik-2.13/d).

Karadeniz Bölgesi'nin mevsimsel dağılımı diğer bölgelerden oldukça farklı bir karaktere sahiptir. Bölgede hortumların %45 gibi büyük bir kısmı yaz mevsiminde meydana gelmiştir. İkinci sırada %30 ile sonbahar dönemi gelirken en az hortum ise %12'lik pay ile kış mevsimidir (Grafik-2.13/e).

Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin mevsimsel dağılışı değerleri, yakın iklim karakterleri taşıdıklarından dolayı İç Anadolu Bölgesi ile benzer niteliktedir. İç Anadolu Bölgesi'nin mevsimsel dağılımlarında görüldüğü gibi Doğu Anadolu Bölgesi'nde de hortum olayları yoğun olarak ilkbahar mevsiminde meydana gelmektedir. Ancak farklı olarak hortumların çok büyük bir kısmı, %59'luk kesimi ilkbahar mevsimine aittir. İç Anadolu'da bu oran %41'dir. Bölgenin yaz ve sonbahar mevsimlerinde meydana gelen hortum sayısı sırası ile 8 ve 7 ile birbirlerine oldukça yakındır. En az hortum olayı ise %5'lik pay ile kış mevsiminde görülmüştür. İklimsel karakter bakımından kış mevsimleri oldukça sert ve soğuk geçen bölgenin bu özelliği hortum klimatolojisini de etkilemiştir (Grafik-2.13/f).

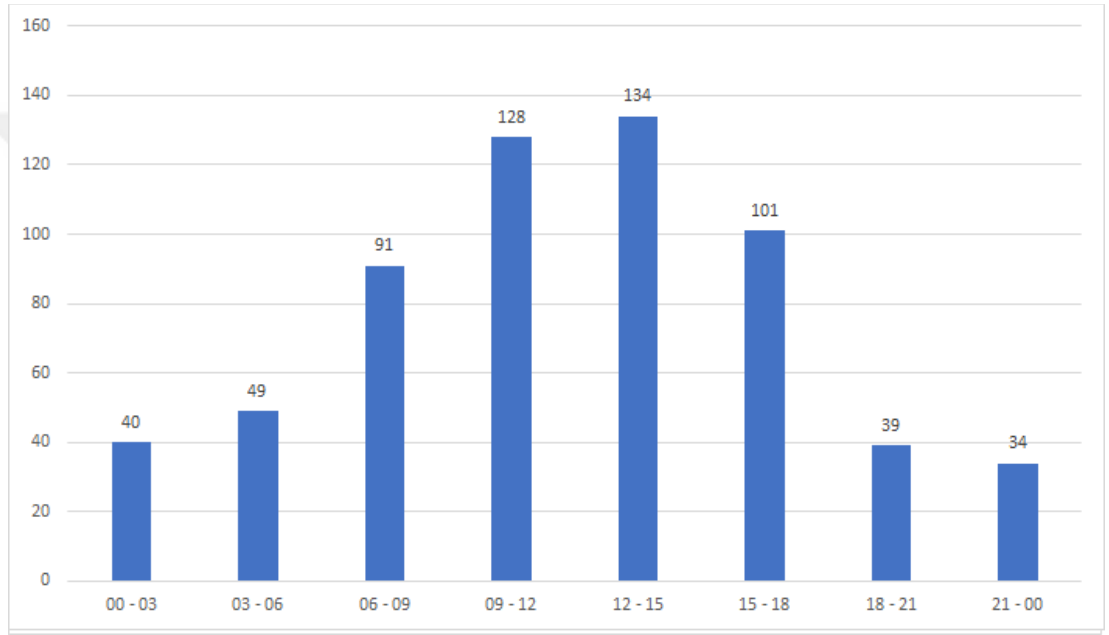
Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde kaydedilmiş hortum olaylarının azlığı sebebi ile verilerden anlamlı bir çıkarım yapmak pek mümkün değildir. Bölgede görülmüş 8 hortum olayının 4'ü ilkbahar, 2'si yaz, 1'i sonbahar, 1'i de kış mevsiminde meydana gelmiştir (Grafik-2.13/g).



Grafik 2. 13: Hortum olaylarının bölgelere göre mevsimlik dağılımları.

2.2.4. Saatlik Dağılım

Saatlik dağılımlara bakıldığında hortumların en çok 09-12 ve 12-15 saatleri arasında oluşmaya eğilimli olduğu görülmektedir. En az hortum olayının görüldüğü saatler ise 21-24 ve 18-21 saatleri arasındadır. Çalışma veri setindeki 616 hortum olayından 128'i 09-12, 134'ü ise 12-15 saatleri arasında gerçekleşmiştir. Buradan da toplam olayların yaklaşık olarak %43'ünün 09-15 saatleri arasında meydana geldiği söylenebilir (Grafik-2.14).



Grafik 2. 14: Hortumların saatlik dilimlere (UTC) göre dağılımı.

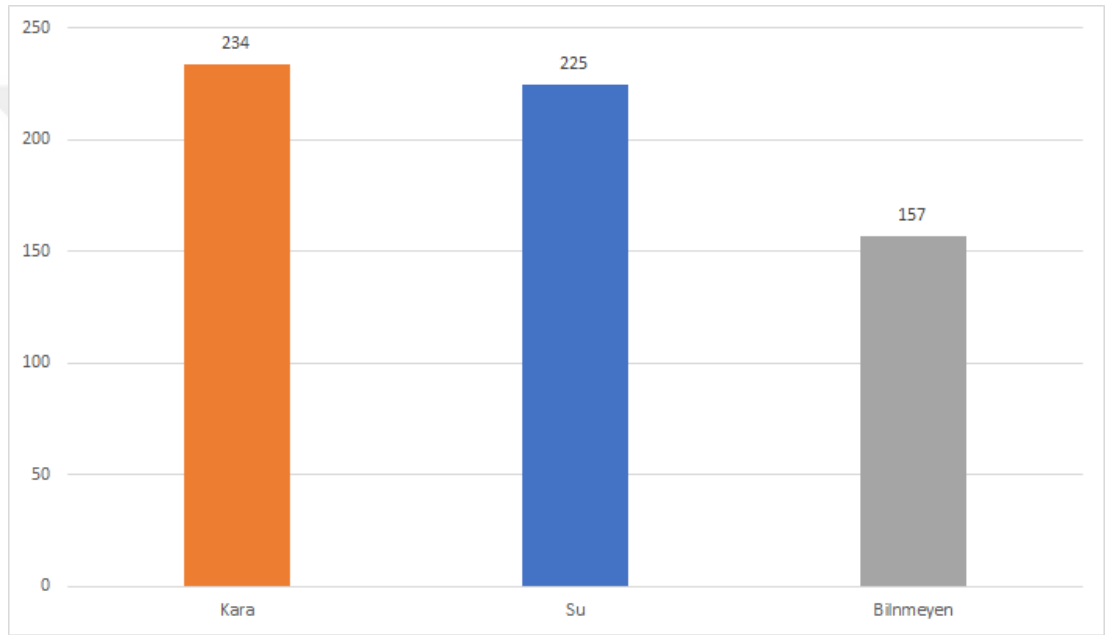
09-12 saatleri arası gündeğümü sonrası ısınmanın başladığı, 12-15 saatleri arası ise sıcaklığın gün içerisinde en yüksek olduğu saat dilimleridir. Isınma dolayısıyla sıcaklık artışı, atmosferik kararsızlığı da yükselten etkenlerden birisidir. Hortum oluşumunda, atmosferik kararsızlığın yüksek olması önemli derecede rol oynadığından hortum olaylarının bu saat aralıklarında daha yüksek oranda gerçekleştiği söylenilebilir.

2.3. Hortum Türlerine Göre Dağılım

Hortum olaylarının türlerine göre dağılımı, olayın başladığı alanın karasal karakter mi yoksa denizel karakter mi taşıdığı kontrol edilerek incelenmiştir. ESWD'den temin edilen verilerde kayda alınmış hortum olaylarının başlangıç noktaları kara, su, deniz gibi etiketler ile belirtilmiş durumdadır. Bu da olayları kökenlerine göre sınıflandırmaya imkân sağlamaktadır. Ancak MGM'den alınan verilerde böyle bir ayırım

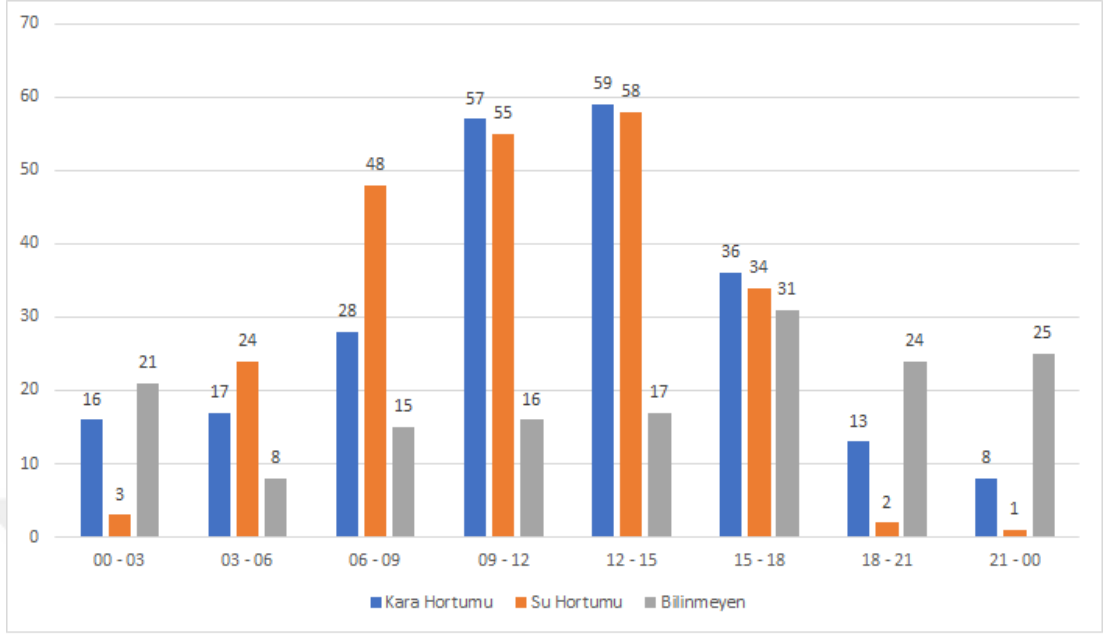
bulunmamaktadır. Dolayısı ile tür bakımından “Bilinmeyen” olarak ayrılan hortum olaylarının büyük çoğunluğu MGM veri setinden alınmış olaylardır.

Hortumların Türkiye genelinde türlerine göre dağılımına bakıldığında dengeli bir dağılım olduğu görülmektedir. Veri setinde bulunan 616 olayın 234’ü (%38) karasal hortum, 225’i (%37) su hortumu olarak gerçekleşmiştir. Olaylardan 157 tanesinin (%26) ise veri eksikliği sebebiyle türü bilinmemektedir (Grafik-2.15).



Grafik 2. 15: Hortumların türlerine göre dağılımı.

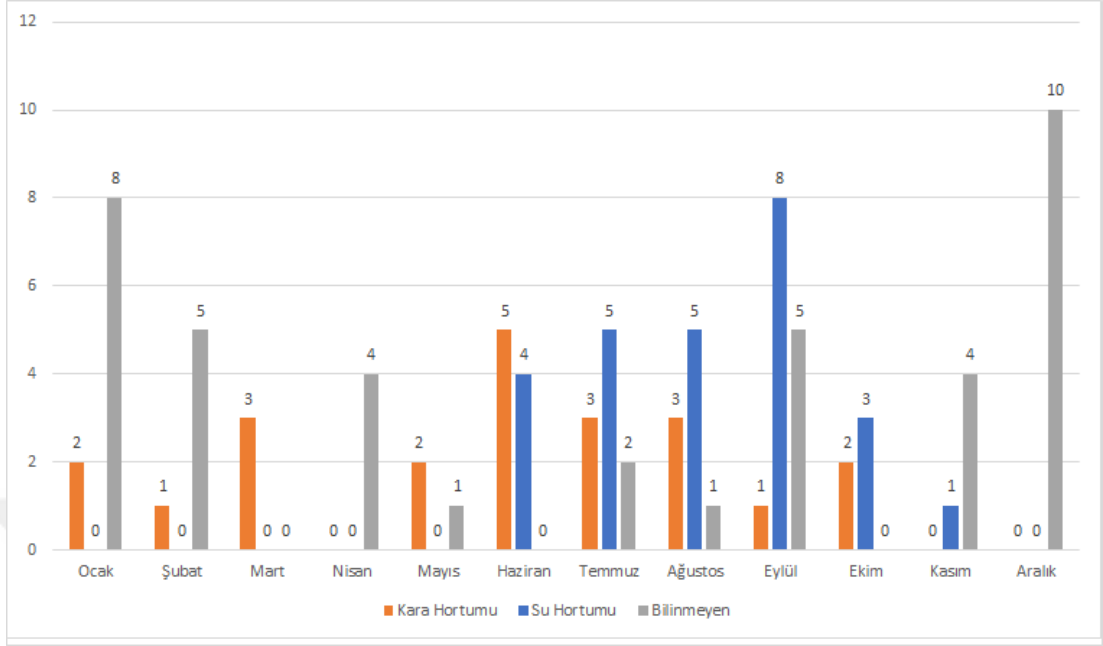
Hortum türlerinin saatlik dilimlere göre dağılımına bakıldığında ise 09 – 15 saatleri arasında türsel açıdan hortum sayılarının oldukça yakın olduğu, 03 – 09 saatleri arasında su hortumu sayısının artarak yükseldiği, saat 15’ten sonra ise aktivitelerinin hızlıca azalarak olaylarda kara hortumlarının ön plana geçtiği görülmektedir (Grafik-2.16).



Grafik 2. 16: Hortum türlerinin saatlik dilimlere (UTC) göre dağılımı.

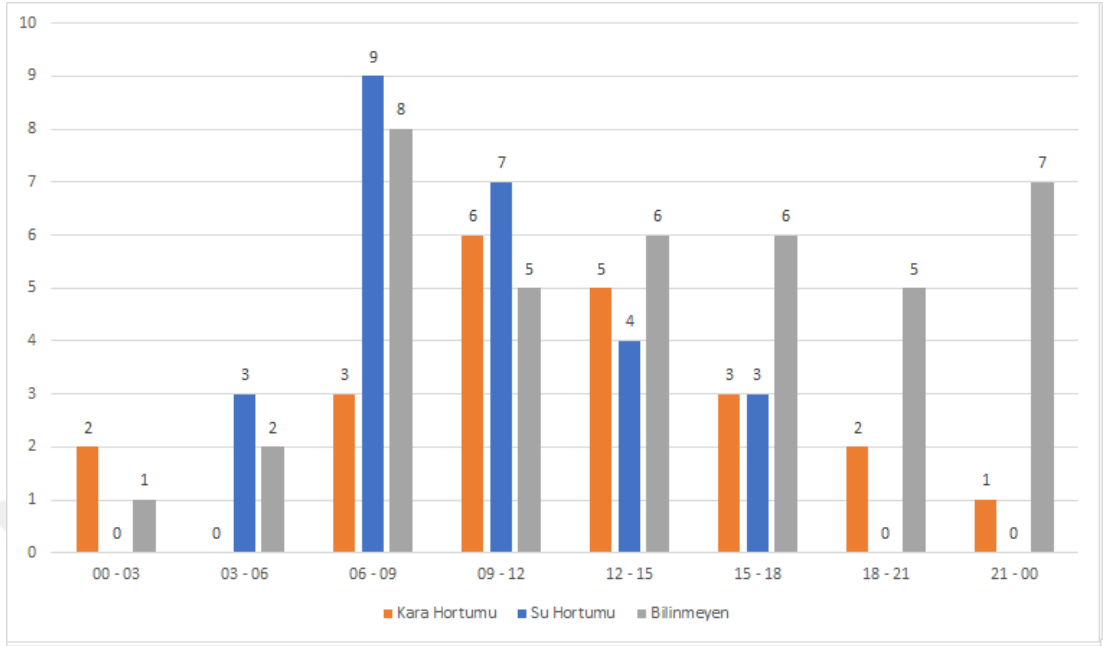
2.3.1. Marmara Bölgesi

Marmara Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortum olayları türlerine göre ayrılıp incelendiğinde bir su kütlesi üzerinde oluşan su hortumlarının (watersprout) Haziran - Kasım ayları arasında oluştukları saptanmıştır. Yaz başında artışa geçen su hortumları Eylül ayında maksimum seviyeye ulaşmakta, Eylülden sonra azalışa geçerek Kasım ayından sonra ortadan kalkmaktadır. Bu 6 aylık süre dışında bölgede oluşan bir su hortumu tespit edilememiştir. Kara hortumları ise nispeten dengeli bir dağılım göstermektedir. Ancak bölge genelinde kökeni tespit edilemeyen 40 tane hortum olayı bulunmaktadır (Grafik-2.17). Bu da bölgedeki olayların türlerine göre analizini zorlaştırmakta ve sonuçlara gölge düşürmektedir.



Grafik 2. 17: Marmara Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre aylık dağılımları.

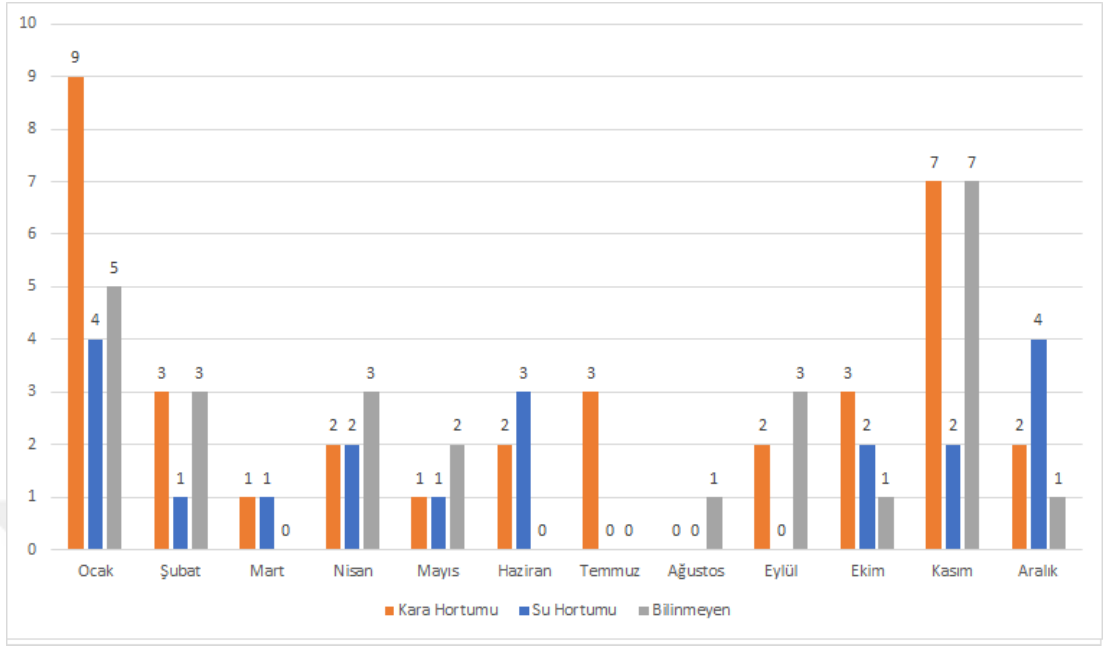
Bölgede gerçekleşmiş hortum olayları saatlik dilimler bazında incelendiğinde kara hortumlarının en çok 06 – 09 saatleri arasında, su hortumlarının ise 09 – 12 saatleri arasında gerçekleştiği görülebilmektedir. 18 – 03 saatleri arasında gerçekleşen kara hortumu, 03 – 06 saatleri arasında gerçekleşen su hortumu ise tespit edilememiştir. Kara hortumları 06 – 09 diliminde maksimuma ulaşmış bundan sonra azalışa geçerken su hortumlarının ise 09 – 12 diliminde maksimuma ulaşmış bundan sonra azalışa geçtiği görülmüştür. Ancak bir önceki paragrafta da değinildiği üzere bölgede türü belli olmayan hortum sayısı oldukça yüksektir (Grafik-2.18).



Grafik 2. 18: Marmara Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre saatlik (UTC) dağılımları.

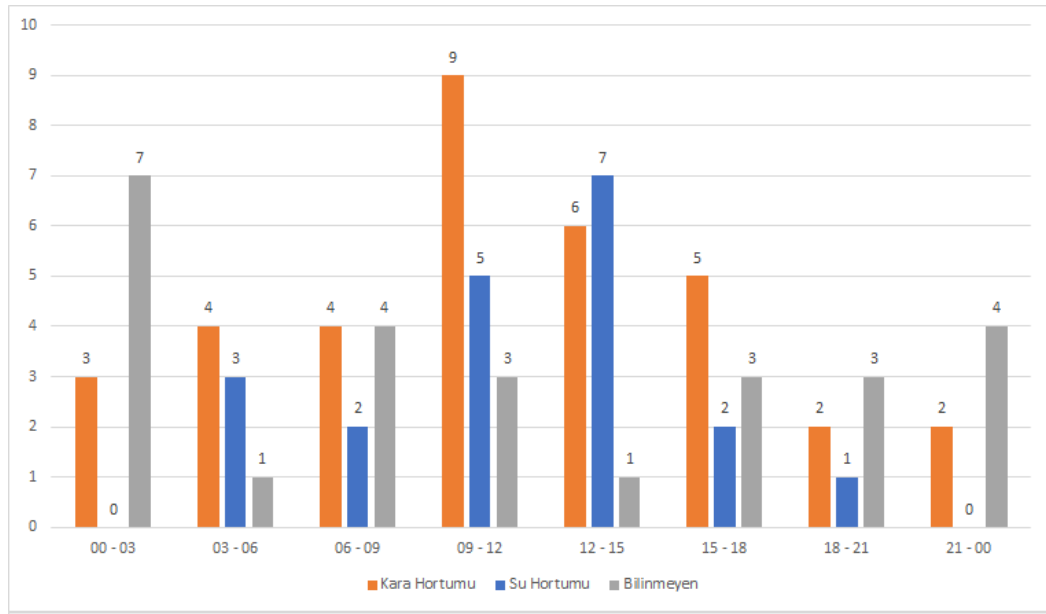
2.3.2. Ege Bölgesi

Ege Bölgesi'nde yıl boyu Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları hariç her ayda kara ya da su kökenli hortumlar görülebilmektedir. Su hortumlarının dağılımına bakıldığında Ocak ayında maksimum sayıda olan değerler ilkbahar döneminde düşüşe geçmekte, yaz ve sonbahar aylarında tekrardan yükselmektedir. Karasal hortumlar ise anlamlı bir seyir izlememekte; Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları hariç yıl boyu oluşabilmektedirler (Grafik-2.19).



Grafik 2. 19: Ege Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre aylık dağılımları.

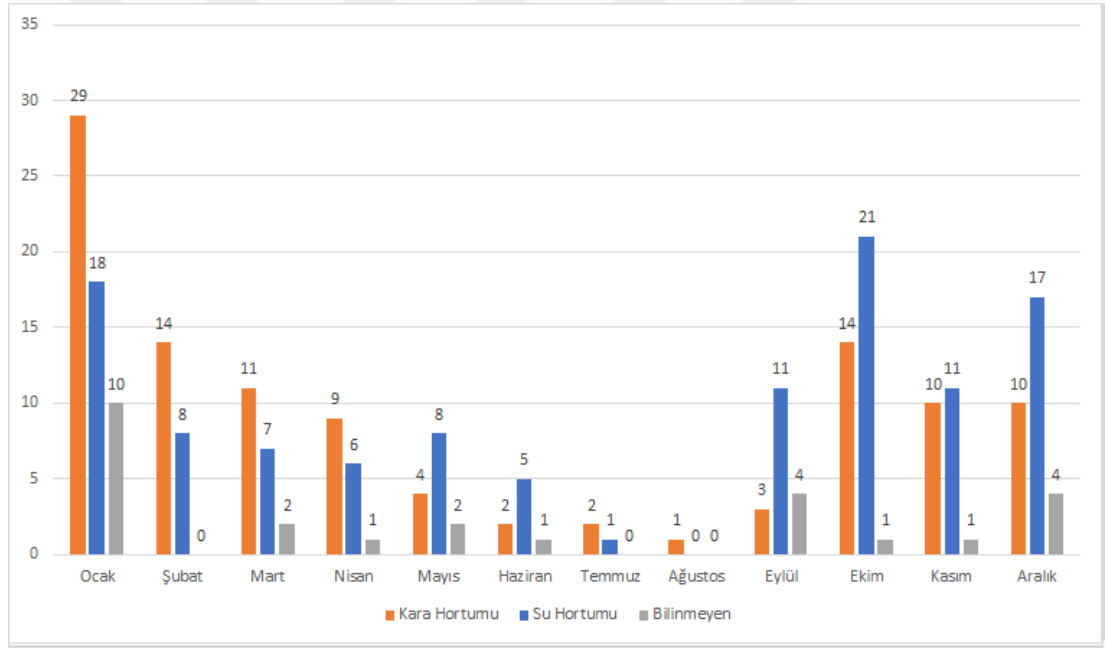
Ege Bölgesi'nde su hortumları maksimuma 09 – 12 saatleri arasında, kara hortumları ise 12 – 15 saatleri arasında ulaşmaktadır. Bölgede her saat aralığında su hortumları görülmüş iken 21 – 03 saatleri arasında gerçekleşmiş bir kara hortumu bulunmamaktadır (Grafik-2.20).



Grafik 2. 20: Ege Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre saatlik (UTC) dağılımları.

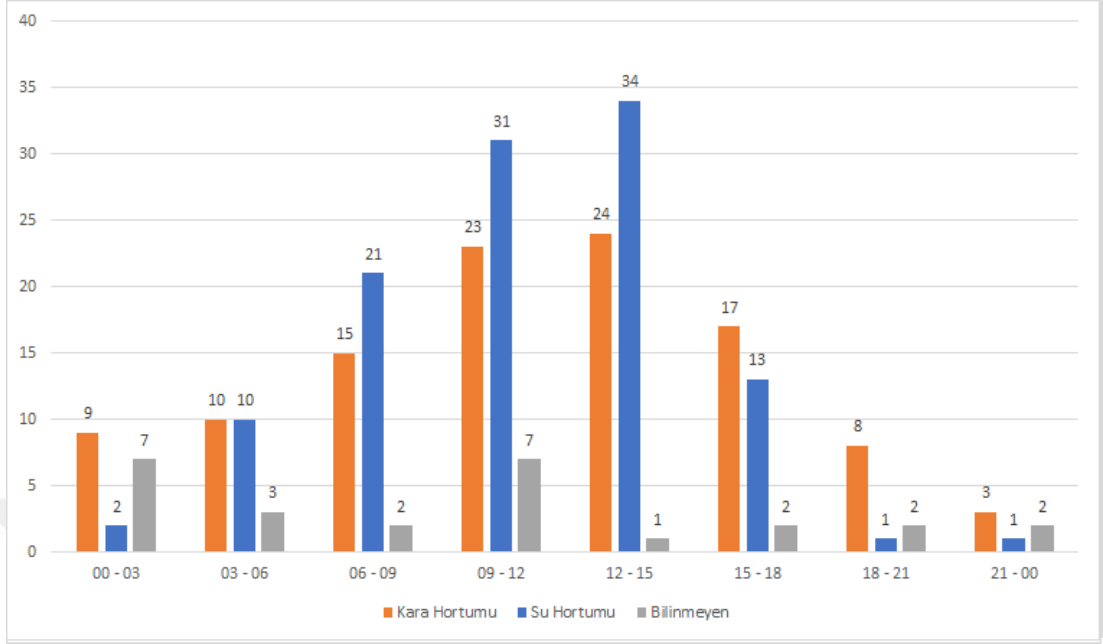
2.3.3. Akdeniz Bölgesi

Akdeniz Bölgesi'ndeki hortumların türlerine göre dağılımı, diğer bölgelere göre daha düzgün ve anlamlı bir ilerleme göstermektedir. Ocak ayında maksimuma ulaşan su hortumları giderek etkilerini kaybederek yaz döneminde Ağustos ayında en düşük seviyelerine ulaşırlar. Ocak ayında bölgede 29 tane su hortumu tespit edilebilmiş iken bu sayı ağustos ayı için 1'dir. Sonbahar döneminde ise giderek artan su hortumu aktivitesi kış aylarında tekrar maksimum seviyesine ulaşır. Karasal hortumlara bakıldığında da artış-azalış konusunda benzer bir seyir görülmektedir. Bölgede Ocak – Nisan ayları arasında ve Temmuz ile Ağustos aylarında su hortumları daha sık görülürken, Mayıs ve Haziran ayları ile Eylül – Aralık ayları arasında karasal hortumlar daha sık oluşmaktadır (Grafik-2.21).



Grafik 2. 21: Akdeniz Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre aylık dağılımları.

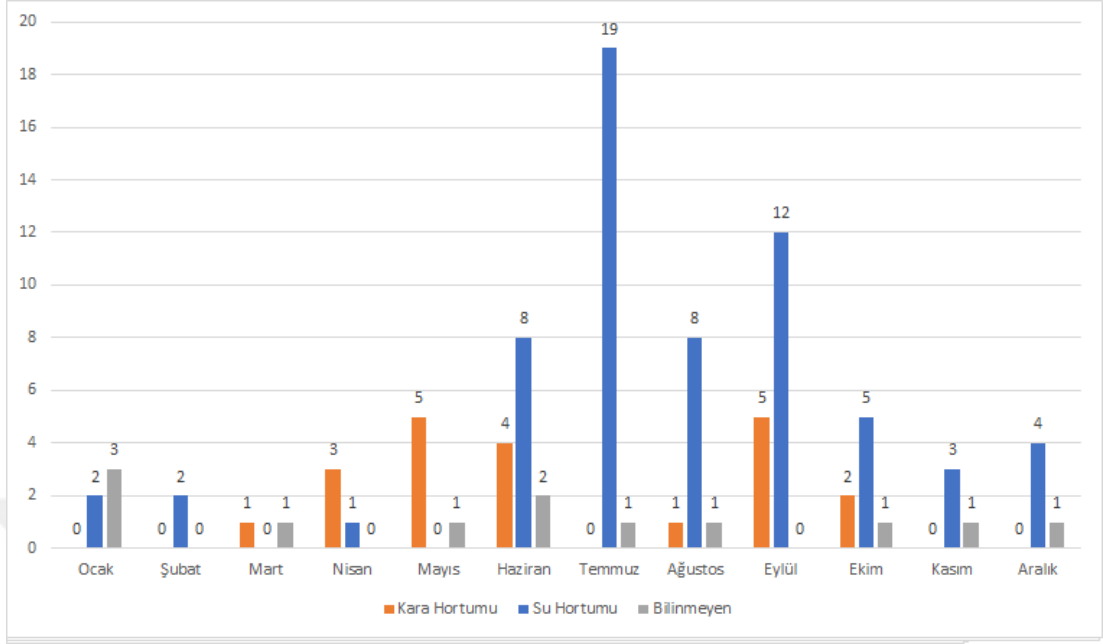
Akdeniz Bölgesi'nde kara hortumları 06 – 09 saat diliminden başlayarak artmakta ve 12 – 15 saatleri arasında maksimuma ulaşmaktadır. Su hortumları ise 00 – 03 saat diliminden itibaren yükselişe geçmekte, maksimuma 12 – 15 saatleri arasında ulaşmaktadır. Bölgede 06 – 15 saatleri arasında tür bakımından kara hortumları ağırlıkta iken 15 – 03 saatleri arasında su hortumlarının ağırlıklı olarak olduğu görülmektedir (Grafik-2.22).



Grafik 2. 22: Akdeniz Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre saatlik (UTC) dağılımları.

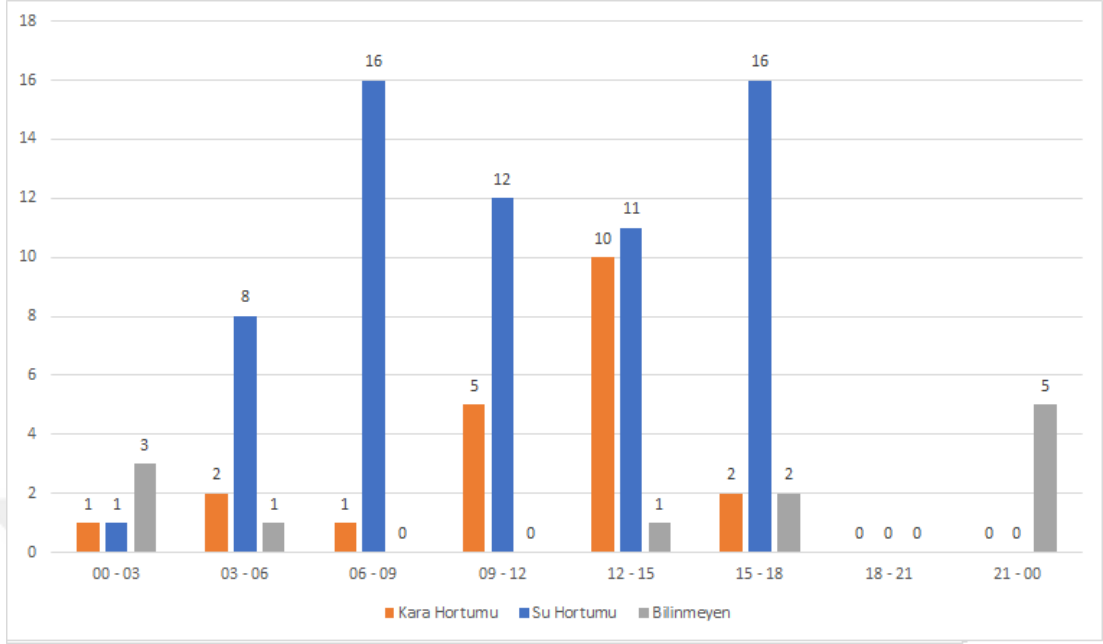
2.3.4. Karadeniz Bölgesi

Karadeniz Bölgesi'nde hortumların türleri arasındaki zamansal farklılık çok daha ön plana çıkmaktadır. Bölgedeki hortum olayları ağırlıklı olarak su hortumu türünde gerçekleşmiştir. Kış ve ilkbahar aylarında sayıları oldukça düşük olan su hortumları, ilkbahar sonlarında hızla artarak yaz döneminde maksimum seviyesine ulaşmaktadır. Bölgede en fazla su hortumu meydana gelen ay, 19 olay ile Temmuz ayıdır. Sonbaharda düşüşe geçen aktivite, kış mevsiminde minimuma inmektedir. Karasal hortumlar ise ağırlıklı olarak Mart – Haziran ve Ağustos – Ekim dönemlerinde gerçekleşmektedir (Grafik-2.23). Ocak, Şubat, Temmuz, Kasım ve Aralık aylarında hiç kara hortumu oluşmamış iken Mart ve Mayıs aylarında ise su hortumu olayı tespit edilememiştir.



Grafik 2. 23: Karadeniz Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre aylık dağılımları.

Bölge hortumlarının türlerine göre saatlik dağılımına bakıldığında su hortumlarının saat 09:00'dan itibaren artışa geçerek 12 – 15 saat diliminde maksimuma ulaştığı görülmektedir. 18 – 00 saatleri arasında su hortumu görülmemekle birlikte, 00 – 06 saat dilimlerinde meydana gelmiş su hortumu sayısı da oldukça azdır. Kara hortumları ise saat 03:00'dan itibaren artmakta, 06 – 09 saatleri arasında birinci maksimuma ulaşmakta, 09 – 15 arası düşüşe geçse de 15 – 18 saatleri arasında maksimum seviyeye tekrar çıkmaktadır (Grafik-2.24). Ayrıca bölgede 18 – 21 saatleri arasında gerçekleşmiş hortum olayı bulunamamış, 21 – 00 saatleri arasında ise türü bilinmeyen 5 hortum tespit edilmiştir.



Grafik 2. 24: Karadeniz Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortumların türlerine göre saatlik (UTC) dağılımları.

İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu'da su hortumları görülmediğinden; Doğu Anadolu'da ise kayda değer sayıda su hortumu olayı bulunmadığından bu bölgelerimiz için hortum olayları türlerine göre ayrılmamıştır. Doğu Anadolu Bölgesi'nde 1 tane ağustos, 1 tane eylül ayında olmak üzere 2 su hortumu olayı gerçekleşmiştir.

2.4. Şiddete Göre Dağılım

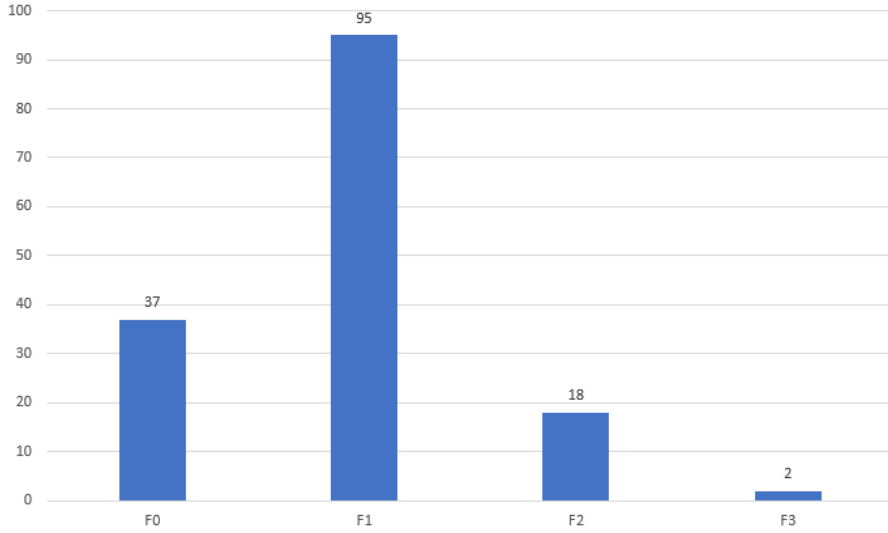
Hortum olaylarının şiddet bilgileri sadece ESWD'den alınan veri setinde mevcuttur ancak bu verilerin de çoğunluğunda değer verisi bulunmamaktadır. MGM fevk raporlarında hortumların şiddetlerine yer verilmemekte, dolayısı ile MGM'den alınan veriler şiddet açısından inceleme dışı kalmaktadır.

2.4.1. Fujita Ölçeği

Çalışmada kullanılan veri setinde hortumların çoğunun Fujita ölçeğine göre şiddetleri belirli olmadığından hortum şiddetine göre dağılımlar ancak 165 olay üzerinden değerlendirilebilmiştir.

Türkiye'de meydana gelen hortumların büyük bir kısmı F1 şiddetindedir. Bu şiddette 95 tane hortum olayı belirlenmiştir. Olayların ise yaklaşık olarak %58'ine denk gelmektedir. İkinci sırada 37 hortum ile F0 şiddeti izlenmektedir. F2 şiddetinde 18, F3

şiddetinde ise 2 olay tespit edilmiştir (Grafik-2.25). Buradan hareketle Türkiye’de gerçekleşen hortumların büyük bir kısmının orta kuvvette olduğu söylenebilir. Ancak 616 hortum olayı bulunan veri setinde yalnızca 165 tanesinin şiddet değeri bakımından incelenebilmesi, şiddete göre dağılımın güvenilirliğini düşürmektedir. Konu hakkında daha detaylı incelemelerin gerekli olduğu görülmektedir.

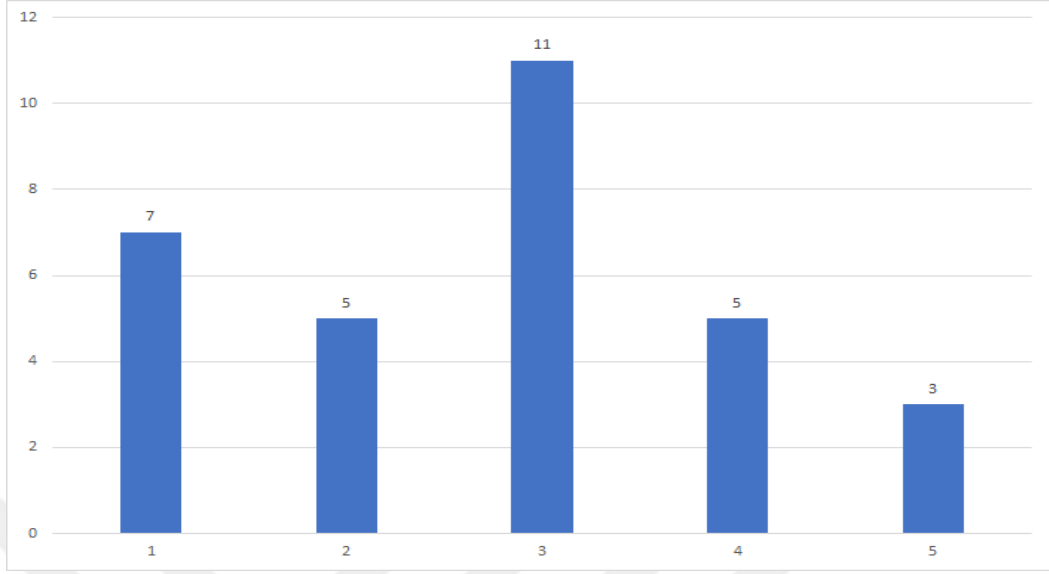


Grafik 2. 25: Hortumların Fujita Ölçeği'ne göre şiddet dağılımları.

2.4.2. TORRO Ölçeği

Çalışma veri setinde T-Şiddeti bilgisi bulunan hortum olayları 31 tanedir. F-Şiddeti bilgisi bulunabilen 165 hortum olduğu düşünüldüğünde bu sayı genel veri setine kıyasla çok azdır. Hortum olayları arasında T-1 şiddetinde 7 tane, T-2 ve T-4 şiddetinde 5 tane, T-3 şiddetinde 11 tane, T-5 şiddetinde ise 3 tane hortum olayı bulunmaktadır (Grafik-2.26).

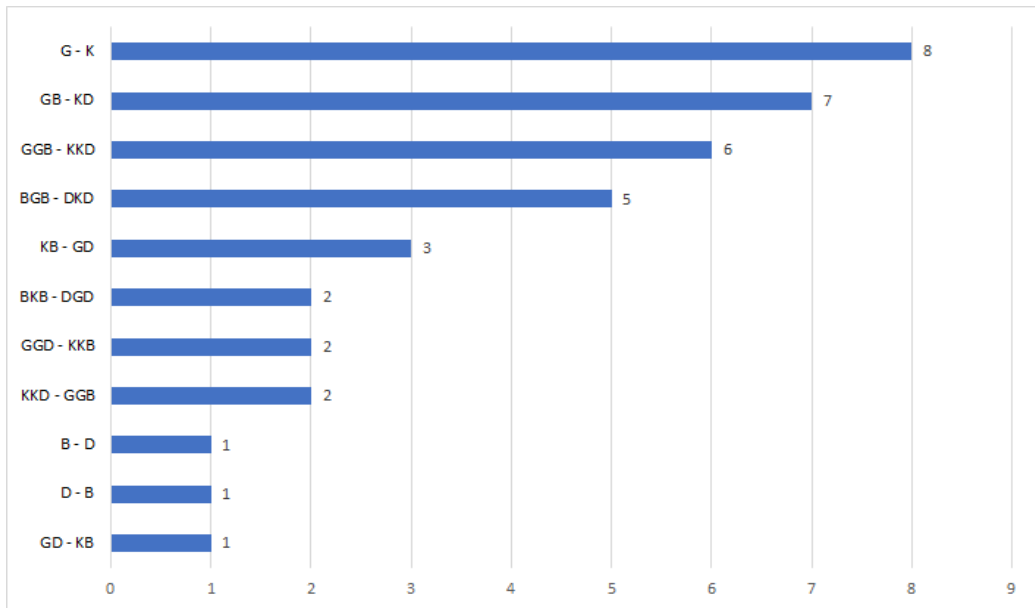
Genel olarak değerlendirildiğinde Türkiye genelinde hortumların Fujita Ölçeği'ne göre orta şiddette, TORRO Ölçeği'ne göre ise güçlü hortum kategorisinde sınıflandırılabileceği görülmektedir.



Grafik 2. 26: Hortumların TORRO Ölçeği'ne göre şiddet dağılımları.

2.5. İlerleme Yönlerine Göre Dağılım

Veri setindeki 616 tane hortumdan ilerleme yönleri belli olan sadece 38 olay saptanabilmektedir. Bunlar içerisinde en baskın ilerleme yönü ise güney-kuzey istikametidir. Bunu ikinci sırada güneybatı-kuzeydoğu ve üçüncü sırada güney/güneybatı – kuzey/kuzeydoğu yönleri izlemektedir. Hortumların ilerleme yönlerine dair verilerin ciddi şekilde eksik olması, olayların bu açıdan da incelenmesini zorlaştırmaktadır (Grafik-2.27).



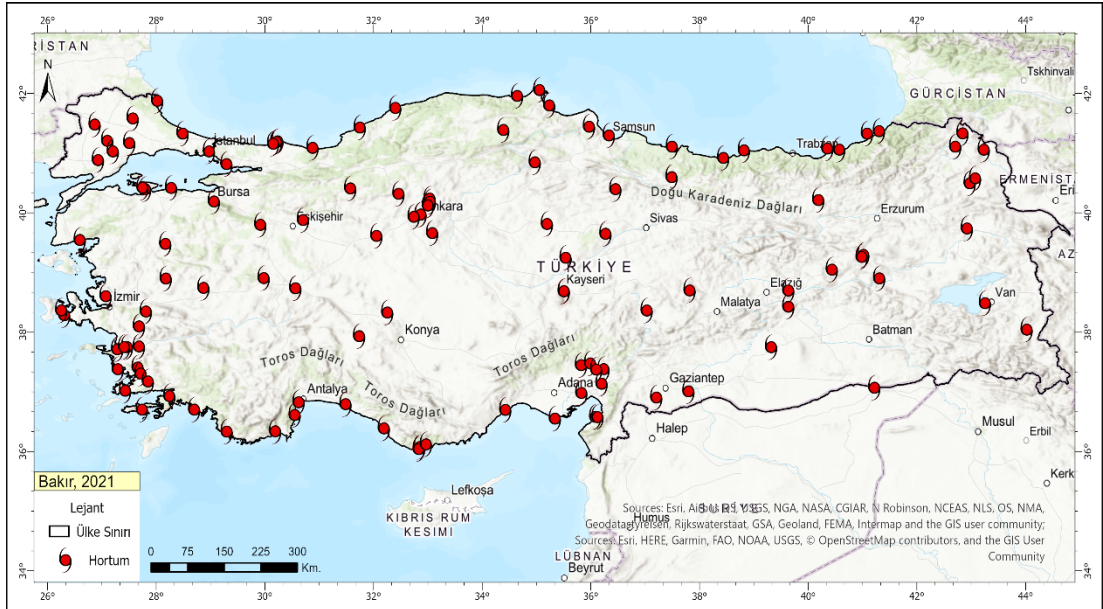
Grafik 2. 27: Hortum olaylarının ilerleme yönlerine göre dağılımları.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YÜKSEK ATMOSFER KOŞULLARININ İNCELENMESİ

Yüksek atmosfer koşullarının hortum olaylarına etkilerinin tespit edilebilmesi için Türkiye'nin 7 coğrafi bölgesinden 20 hortum olmak üzere toplamda 120 hortum olayı seçilmiştir (Şekil-3.1). Seçilecek hortumlar değerlendirilirken Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri birleştirilerek alınmıştır. Hortumlar seçilirken ise F-Şiddeti ve T-Şiddeti değerlerinden yararlanılmıştır. Bu aşamada öncelikle hortum şiddeti verisini barındıran ESWD veri seti kullanılmış, eksik olan bölgelerde MGM veri setinden hortumlar seçilerek eklenmiştir. Belirlenen 120 hortumun meydana geldiği tarihlerdeki jeopotansiyel yükseklik, deniz seviyesi basıncı, özgül nem durumu ve rüzgâr şiri gibi parametrelerin haritaları, ilgili günlerin ortalamaları ve anomali değerleri baz alınarak hazırlanmış ve incelenmiştir.

İlgili parametrelerin haritaları hazırlanırken ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi Yer Sistem Araştırma Laboratuvarları (NOAA-ESRL) – Fiziki Bilimler Laboratuvarı (PSL)'nin web sitesinden yararlanılmış, NCEP-NCAR Reanaliz serisinden faydalanılmıştır.



Şekil 3. 1: Seçilen 120 hortumun Türkiye geneli dağılımı.

3.1. Marmara Bölgesi

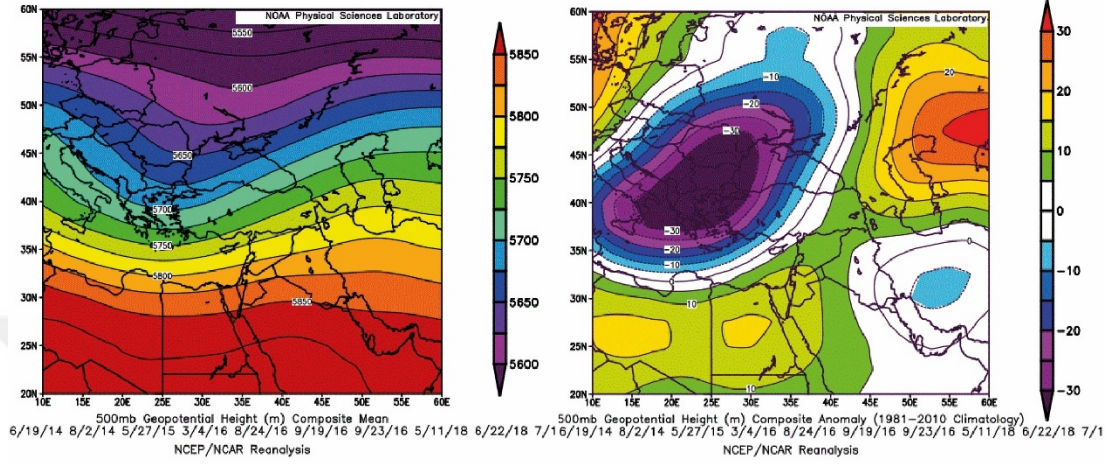
Marmara Bölgesi sınırları içerisinde kalan 88 hortum olayı veri kaynağına göre MGM veya ESWD olarak ikiye ayrılmış, 48 hortum bulunan ESWD verileri arasından 20 hortum olayı seçilerek belirlenmiştir (Tablo-3.1). Bölgeye ait ortalama ve anomali haritaları, ilgili olayların tarihleri baz alınarak hazırlanmıştır.

Gün	Ay	Yıl	İl	Yer
20	3	2002	Tekirdağ	Muratlı
1	9	2005	Kocaeli	Kefken
1	1	2010	Bursa	Bursa
7	2	2010	Balıkesir	İskele
22	9	2011	Balıkesir	Erdek
13	10	2011	İstanbul	Örencik
19	6	2014	İstanbul	Tuzla
2	8	2014	İstanbul	Kasımpaşa
27	5	2015	Tekirdağ	Hayrabolu
4	3	2016	Çanakkale	Küçükkuyu
24	8	2016	Tekirdağ	Malkara
19	9	2016	Kırklareli	İğneada
23	9	2016	Sakarya	Yalı
11	5	2018	Tekirdağ	Kazandere
22	6	2018	Edirne	Kabağağaç
1	7	2018	Kocaeli	Kefken
13	9	2018	Balıkesir	Erdek
24	7	2019	Bursa	Kurşunlu
30	7	2019	Kırklareli	Tozaklı
1	11	2019	Kocaeli	Sarısu

Tablo 3. 1: Marmara Bölgesi'nden seçilen hortum olayları.

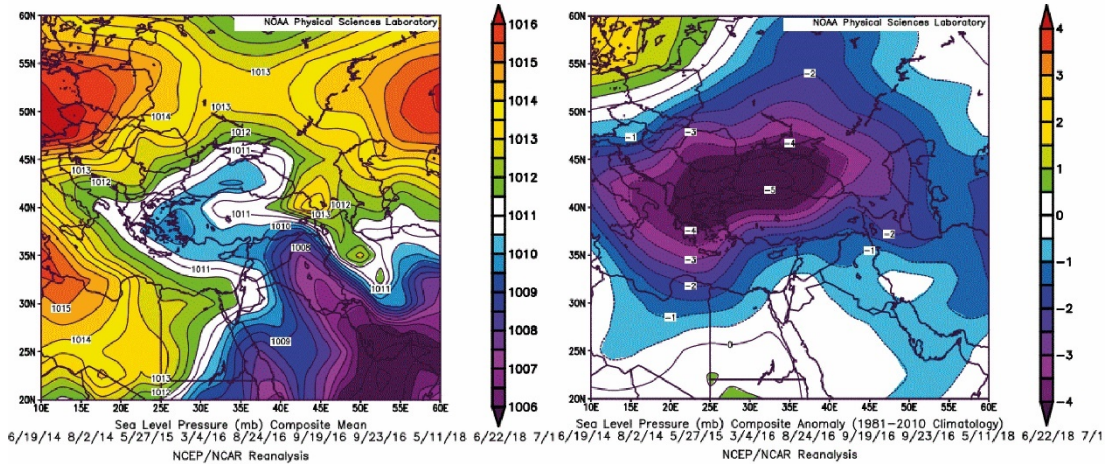
Bölgenin 500 mb. jeopotansiyel kompozit ortalama haritası incelendiğinde bölge genelinde belirgin bir trof yapısı bulunduğu görülmektedir. Jeopotansiyel yükseklik genel olarak 5675 – 5700 m. arasında değişmekte, Kırklareli kuzeyinde küçük bir alanda 5650 – 5675 m. aralığına inmektedir. Bölgede gerçekleşmiş hortumlar trof aksına (merkezine) çok yakın olmasına karşın aksın nispeten doğusunda

kalmaktadır. Anomali haritasında ise bölge genelinde -30'ları geçen derin bir negatif anomali olduğu görülmektedir. İstanbul'un doğusunda ise bu değer -25 ile -30 arasına düşmektedir (Şekil-3.2).



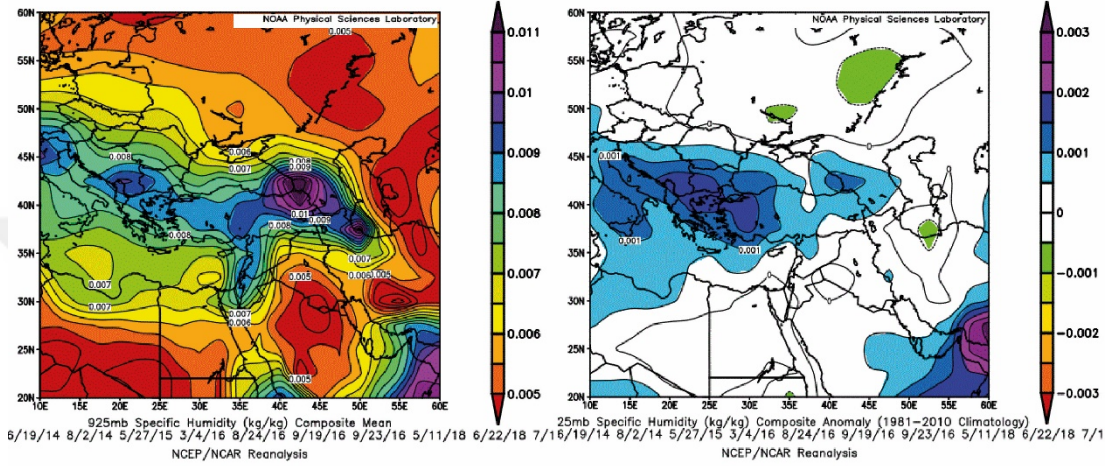
Şekil 3. 2: Marmara Bölgesi hortum günlerine ait 500 mb. jeopotansiyel yükseklik ortalama ve anomali haritası.

Ortalama deniz seviyesi basıncı (SLP) değerlerine bakıldığında Edirne ve Kırklareli kuzeyi haricinde Karadeniz'den başlayıp bölge genelini kapsayan bir alçak basınç alanı görülmektedir. Hortumların gerçekleştiği tarihlerde ortalama değer yaklaşık 1010 mb.'dır. Anomali haritasında da bölge genelini kapsayan, yaklaşık -4 / -5 mb.'lık geniş bir negatif anomali bulunmaktadır (Şekil-3.3).



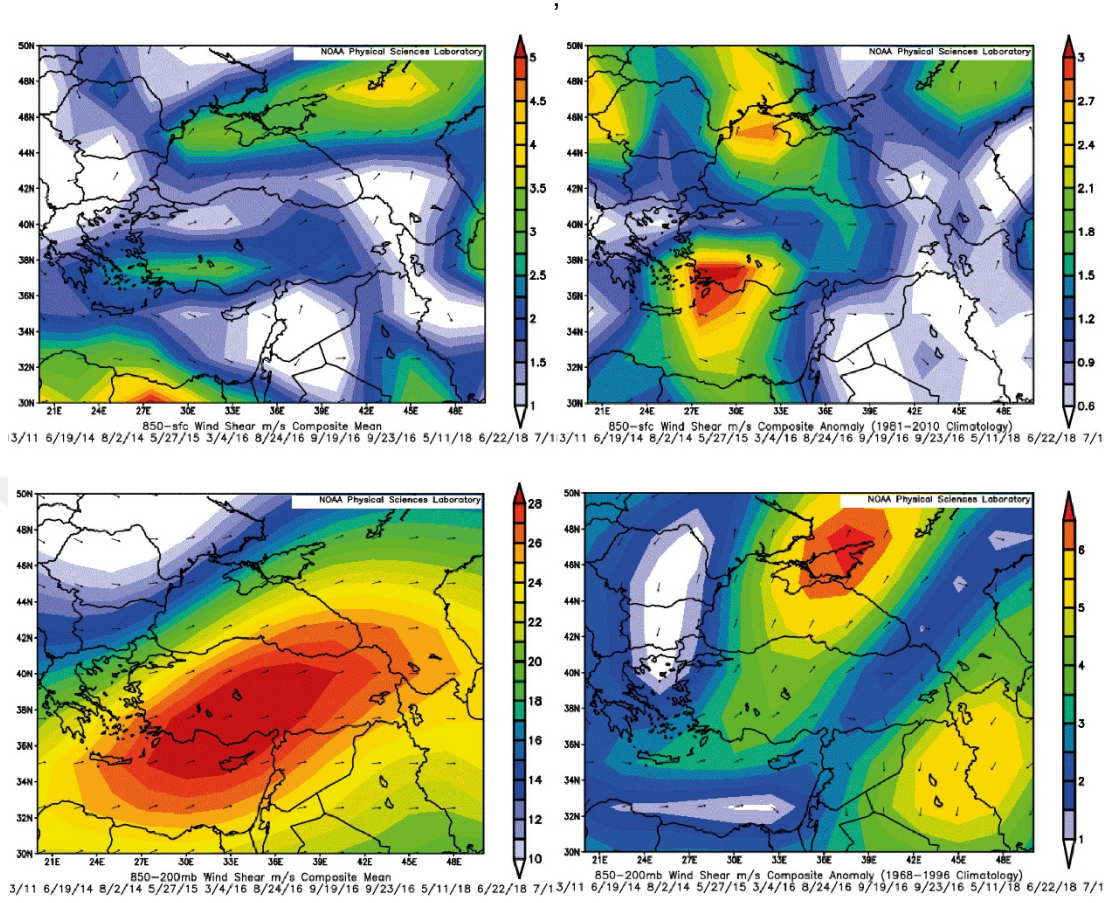
Şekil 3. 3: Marmara Bölgesi hortum günlerine ait deniz seviyesi basıncı ortalama ve anomali haritası.

Özgöl nem koşullarına bakıldığında ise bölgenin özellikle güney ve doğu kesimlerinde belirgin olmak üzere, kuzeyini de kapsayan pozitif anomali durumunun mevcut olduğu görülmektedir. Günlük ortalama kompozitinde de bu alanlarda, bölgenin diğer kesimlerine kıyasla özgöl nem miktarının daha fazla olduğu görülebilmektedir (Şekil-3.4).



Şekil 3. 4: Marmara Bölgesi hortum günlerine ait özgöl nem ortalama ve anomali haritası.

Rüzgâr koşulları incelendiğinde 850 mb. – Yüzey seviyeleri arasında ortalama rüzgâr şiri değerinin yaklaşık 1-1,5 m/s ile düşük seviyede olduğu, ancak Antalya'nın batısında yer alan şiddetli anomali alanının Marmara Bölgesi'ni de etkileyerek özellikle bölgenin güney kesimlerinde yer yer 1,2 – 1,5 m/s değerlerine ulaşan anomalilere neden olduğu görülmüştür. 850 – 200 mb. seviyeleri arasındaki rüzgâr şiri değerleri ise çok daha belirgin durumdadır. Bu seviyelerde ortalama rüzgâr şiri değerleri bölgede 16 m/s'nin üzerine çıkmakta, güney kesimlerde 23 - 24 m/s'ye yaklaşmaktadır. Anomali haritası da bu seviye için bölgenin doğusunda 2 m/s'yi geçen seviyede bir anomali bulunduğunu göstermektedir. Rüzgâr vektör okları 850 – Yüzey seviyeleri arasında genellikle doğu-batı yönlü iken 850 – 200 mb. seviyeleri arası için belirgin bir biçimde kuzeydoğu yönündedir. Yüzey – 850 mb. ve 850 – 200 mb. seviyeleri arasındaki rüzgâr şiri değerleri arasındaki fark bölgede oldukça belirgindir (Şekil-3.5).



Şekil 3. 5: Marmara Bölgesi hortum günlerine ait rüzgâr şiri ortalama (sol) ve anomali (sağ) haritası. (Üst: Yüzey - 850 mb., Alt: 850 - 200 mb. seviyeleri)

3.2. Ege Bölgesi

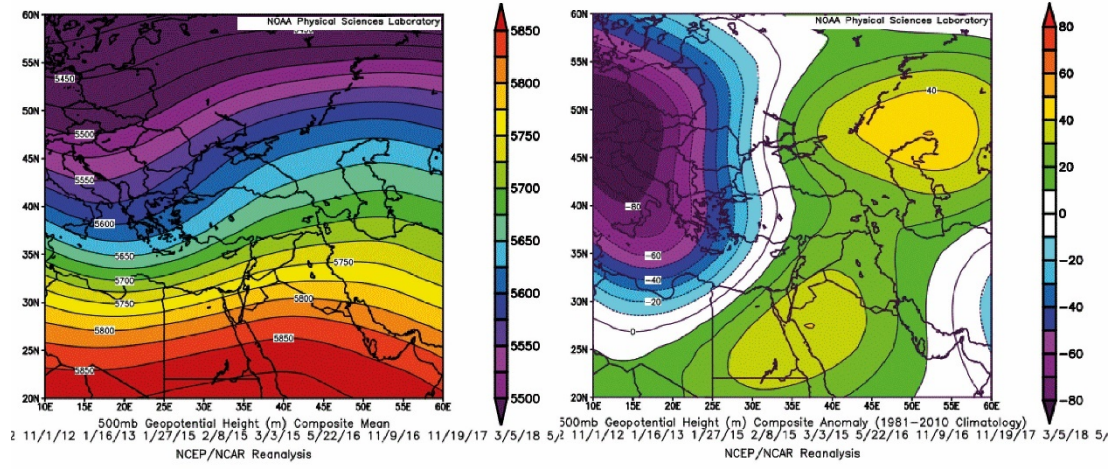
Bölgede gerçekleşmiş 81 hortum olayından incelemeye uygun 58 tanesi belirlenmiş, bunların içerisinde de inceleme amaçlı 20 hortum belirlenmiştir (Tablo-3.2).

Ege Bölgesi'nden seçilen hortumların olduğu tarihlere göre hazırlanan ortalama jeopotansiyel yükseklik haritasına göre bölgede yükseklik değeri 5600 – 5650 m. arasında değişmektedir. Marmara Bölgesi'ne benzer şekilde belirgin bir trof yapısı mevcuttur ve bölgenin doğusunda kalmaktadır. İlgili tarihlerde İtalya üzerinde oluşan derin negatif anomali Ege Bölgesi'ni de etkilemiş, bölge geneli -20 ile -40 arasında değişen negatif anomali etkisinde kalmıştır (Şekil-3.6).

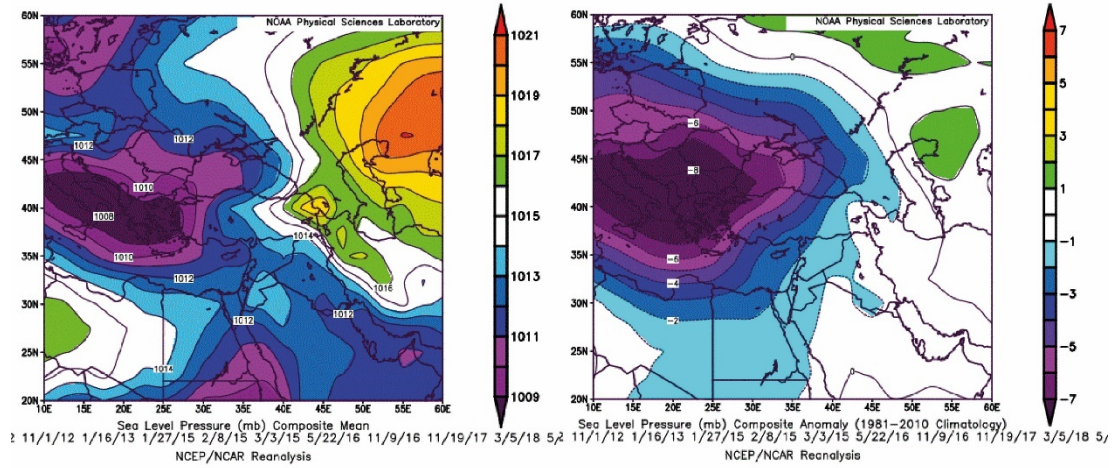
Gün	Ay	Yıl	İl	Yer
16	9	2008	İzmir	Karateke
16	7	2009	Bilecik	Dodurga
18	12	2009	İzmir	Menemen
10	10	2011	Manisa	Kayacık
15	7	2012	Manisa	Selendi
21	7	2012	Kütahya	Ağa������
1	11	2012	Aydın	Davutlar
16	1	2013	Manisa	Yunusdere
27	1	2015	Aydın	Didim
8	2	2015	Muğla	Ovacık
3	3	2015	Muğla	Hacıahmetler
22	5	2016	Aydın	Söke
9	11	2016	Aydın	Söke
19	11	2017	İzmir	Ovacık
5	3	2018	Muğla	Bodrum
7	5	2018	Muğla	Datça
24	1	2019	Muğla	Damlıbo��az
31	1	2019	Aydın	Sobuca
15	4	2019	İzmir	����me
13	12	2019	Muğla	Ekizk��y

Tablo 3. 2: Ege Bölgesi'nden seçilen hortum olayları.

Ortalama deniz seviyesi basıncı incelendiğinde bölge genelinde geniş bir alçak basınç alanının bulunduğu, kıyı kesimlerde ise daha da derinleşerek yaklaşık 1009 mb.'ın da altına indiği görülmektedir. Anomali haritası da buna uygun şekilde tüm bölgeyi kapsayan -5 ile -8 arasında anomali değerleri göstermektedir (  ekil-3.7).

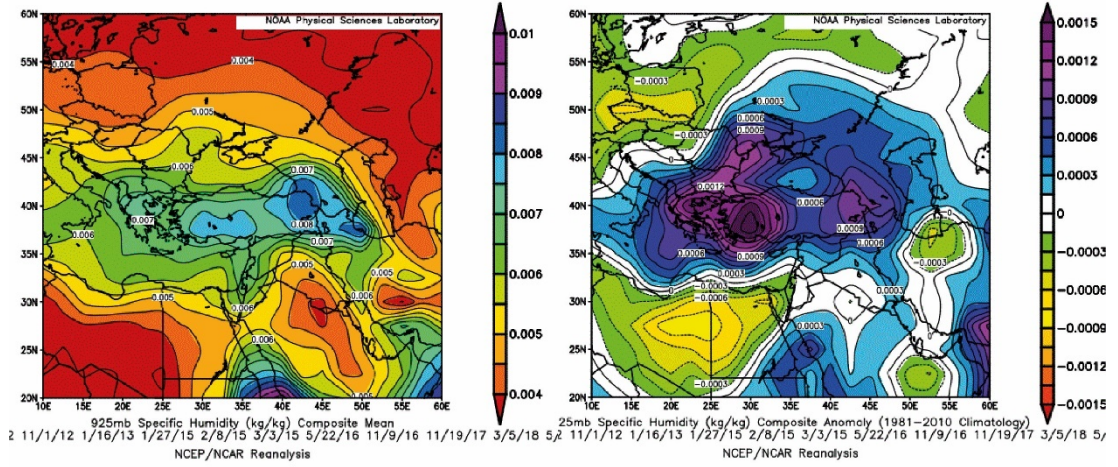


Şekil 3. 6: Ege Bölgesi hortum günlerine ait 500 mb. jeopotansiyel yükseklik ortalama ve anomali haritası.



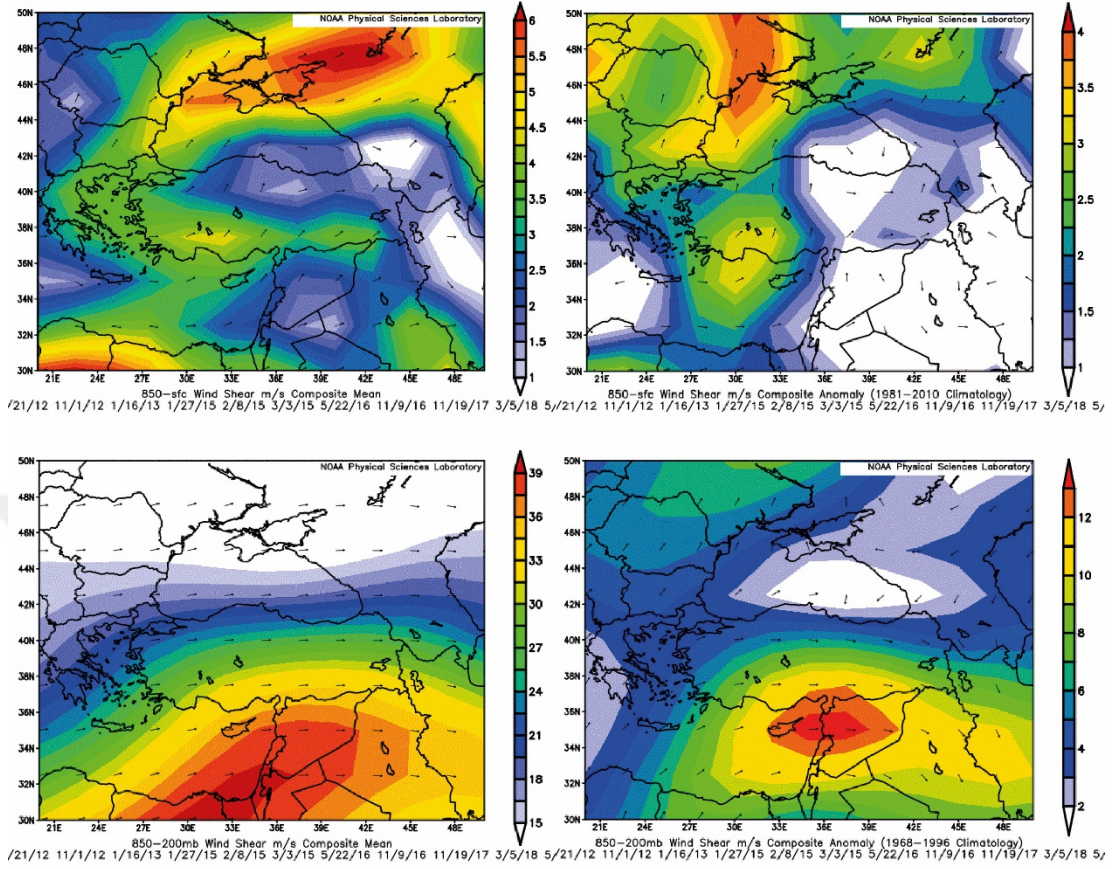
Şekil 3. 7: Ege Bölgesi hortum günlerine ait deniz seviyesi basıncı ortalama ve anomali haritaları.

Özgül nem değerleri incelendiğinde ortalama değerler olarak bölgenin kuzey kıyısı haricinde genel olarak benzer değerler taşıdığı söylenebilir. Genel olarak kuzeybatıdan güneydoğuya gidildikçe özgül nem değerlerinde artış meydana gelmektedir. Anomali haritası incelendiğinde de bölgenin özellikle güneydoğu kesimlerinde kıyı hattına kadar inen, çevresine göre derin bir anomali geliştiği görülmektedir (Şekil-3.8).



Şekil 3. 8: Ege Bölgesi hortum günlerine ait özgül nem ortalama ve anomali haritaları.

850 – Yüzey seviyeleri arası rüzgâr şiri değerleri bölge genelinde 4 m/s'ye yakın iken kuzey kesimlerde 3 – 3,5 m/s, güney kesimlerde ise 4 m/s'nin üzerindedir. 850 – 200 mb. seviyeleri arasında ise bölgenin kuzeyinde 21 m/s ile başlayan rüzgâr şiri değerleri güneye inildikçe artarak 28 m/s değerine yaklaşmaktadır. Vektör okları 850 – Yüzey seviyesinde bölgenin kuzeyinde kuzeydoğu, güneyinde doğu yönlü iken 850 – 200 mb. seviyesinde belirgin bir biçimde doğu yönlüdür. Hortumların oluştuğu tarihlerde bölge güneyinde Antalya Körfezi üzerinde 850 – Yüzey seviyeleri için 3 – 3,25 m/s'ye varan değerlerde bir anomali geliştiği, bunun bölgeyi de etkilediği, kuzeyden güneye gidildikçe anomali değerlerinin arttığı görülmektedir. 850 – 200 mb. seviyeleri arasında da buna benzer biçimde bir şekil oluşmuş, kuzeyden güneye inildikçe 4 – 8 m/s değerleri arasında değişen anomali koşulları gelişmiştir (Şekil-3.9).



Şekil 3. 9: Ege Bölgesi hortum günlerine ait rüzgâr şiri ortalama (sol) ve anomali (sağ) haritaları. (Üst: Yüzey - 850 mb., Alt: 850 - 200 mb. seviyeleri)

3.3. Akdeniz Bölgesi

248 hortum ile Türkiye'nin en fazla hortum gerçekleşmiş bölgesi olan Akdeniz Bölgesi'nden incelemeye uygun 20 hortum seçilmiştir (Tablo-3.3).

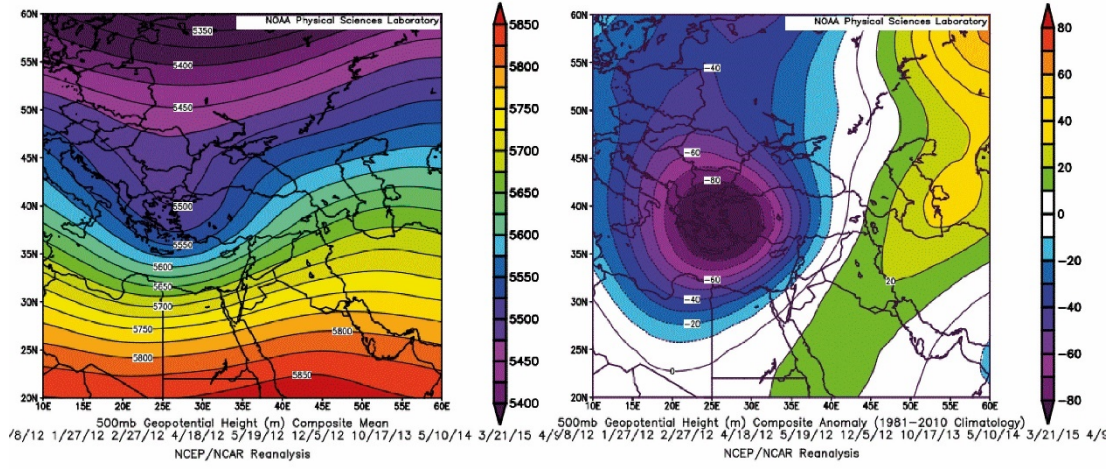
Bölgeye ait ortalama jeopotansiyel yükseklik haritasında Marmara ve Ege bölgelerine benzer şekilde belirgin bir trof yapısı bulunmasına rağmen ortalama yükseklik değerleri çok daha düşüktür. Trofun aksı Marmara'dan başlayıp Aydın'a kadar inmektedir. Bundan dolayı Akdeniz Bölgesi'nin batı kesimi trofun merkezinde kalmışken doğu kesimi trofun kenar bölümüne denk gelmektedir. Akdeniz Bölgesi'nin batısında ortalama jeopotansiyel yükseklik 5550 m.'ye kadar düşmüşken doğu kesiminde bu değer yaklaşık 5600 m.'ye çıkmaktadır. Anomali haritası incelendiğinde ise bölgenin batı kesiminde -90'ları bulan oldukça derin bir anomali geliştiği görülmektedir. Doğuya doğru gidildikçe azalan anomali değerleri bu alanlarda -30'lara

düşmektedir. Ege Denizi üzerinde oluşan derin anomali alanı bölgeyi de etkisi altına almıştır (Şekil-3.10).

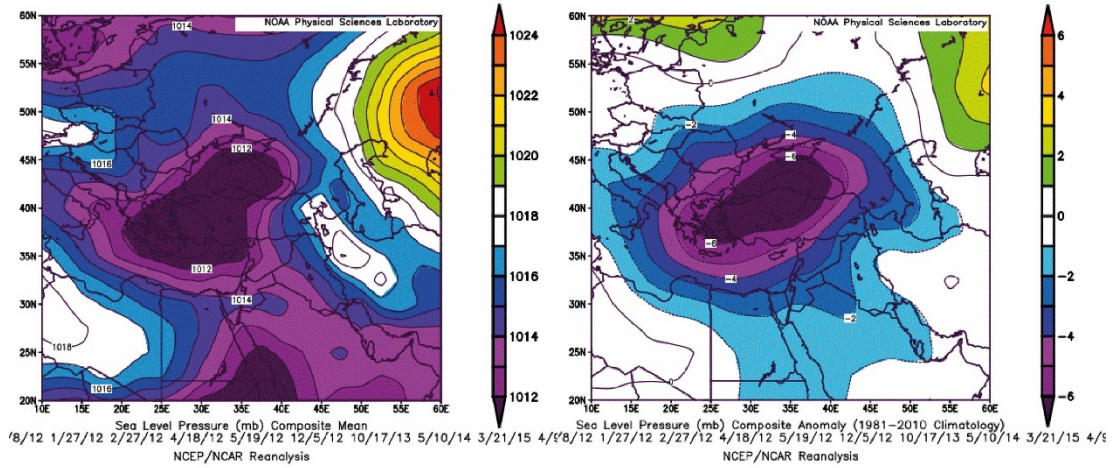
Gün	Ay	Yıl	İl	Yer
3	1	2009	Hatay	İskenderun
3	2	2010	Antalya	Çeltikçi
8	4	2010	Adana	Kozan
15	10	2010	Osmaniye	Sofular
19	2	2011	Mersin	Kargıpınar
16	12	2011	Muğla	Kumluova
8	1	2012	Mersin	Anamur
27	1	2012	Mersin	Torokent
27	2	2012	Antalya	Yeşilöz
18	4	2012	Adana	Ceyhan
19	5	2012	Antalya	Liman Mahallesi
5	12	2012	Osmaniye	Cevdetiye
17	10	2013	Mersin	Gürlevik
10	5	2014	Muğla	Sarıgerme
21	3	2015	Osmaniye	Akdam
9	4	2015	Osmaniye	Kadirli
13	11	2017	Antalya	Sahilkent
5	12	2017	Hatay	Karaağaç
24	1	2019	Antalya	Kemer
28	12	2019	Adana	Yunusoğlu Hürriyet

Tablo 3. 3: Akdeniz Bölgesi'nden seçilen hortum olayları.

Bölge genelinde ortalama deniz seviyesi basıncının 1011 – 1012 mb. seviyelerinde değiştiği, Hatay çevresinde 1013 mb.'a çıktığı görülmektedir. Marmara ve Ege'ye kıyasla bölgede basınç değerleri fazla düşük değildir. Anomali haritasında da uzun dönem ortalamalarından -4 ile -6 arasında değişen değerlerde sapmalar olduğu görülmektedir (Şekil-3.11).

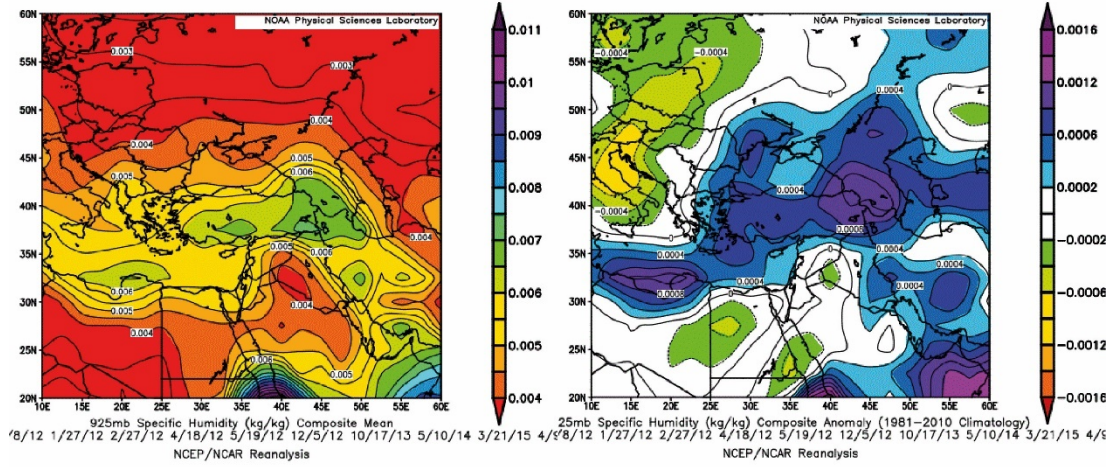


Şekil 3. 10: Akdeniz Bölgesi hortum günlerine ait 500 mb. jeopotansiyel yükseklik ortalama ve anomali haritaları.



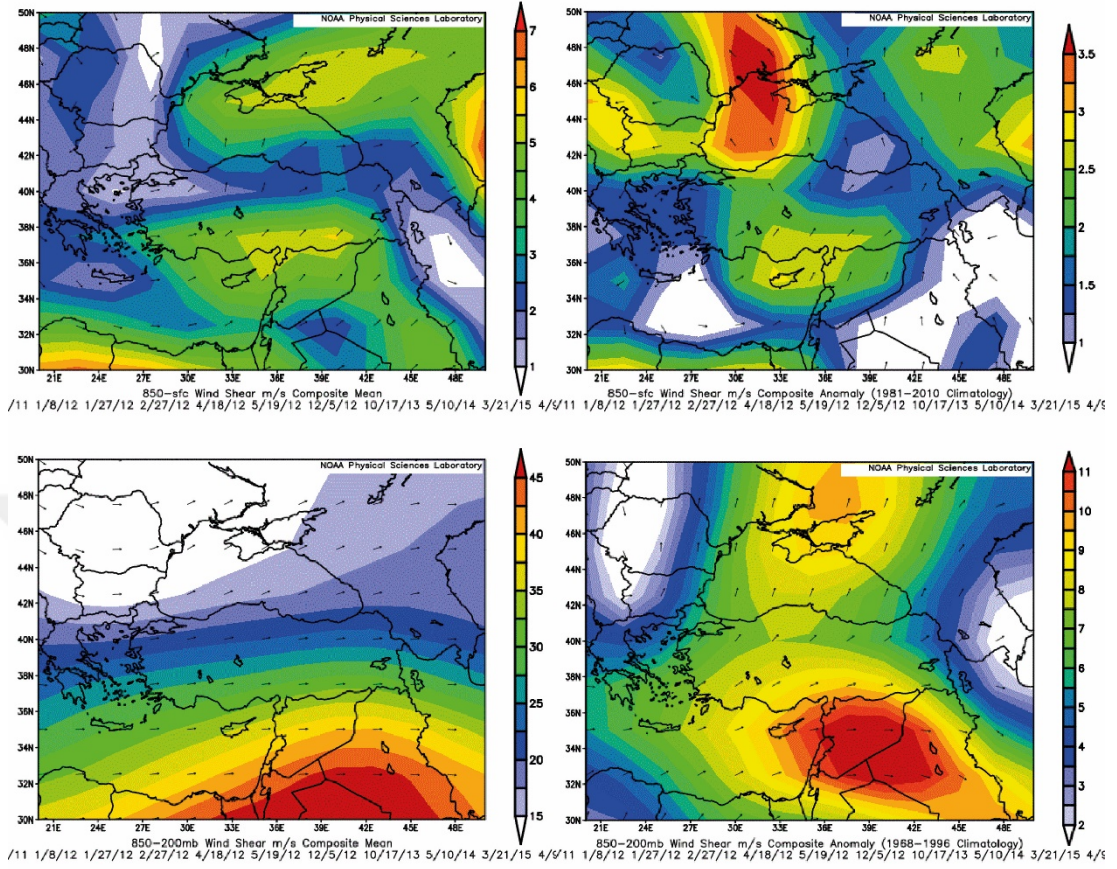
Şekil 3. 11: Akdeniz Bölgesi hortum günlerine ait deniz seviyesi basıncı ortalama ve anomali haritaları.

Özgül nem koşullarına bakıldığında ortalama değerlerde çok büyük bir değişkenlik görülmesine de Muğla – Demre arasında daha kuvvetli olmak üzere bölge genelinde pozitif bir anomalinin bulunduğu söylenebilir (Şekil-3.12).



Şekil 3. 12: Akdeniz Bölgesi hortum günlerine ait özgül nem ortalama ve anomali haritaları.

Rüzgâr şiri ortalama değerleri 850 – Yüzey seviyeleri için bölgenin batısında 3,5 - 4 m/s civarında iken doğu kesimlerinde Adana – Hatay illeri arasında yaklaşık 5 – 5,5 m/s'nin üzerine çıkmaktadır. Bu değerler 850 – 200 mb. seviyeleri için 30 m/s ve üzerindedir. Vektör okları Ege Bölgesi'ne benzer şekilde 850 – Yüzey seviyesinde doğu-kuzeydoğu, 850 – 200 mb. seviyesinde tam doğu yönlüdür. Anomali değerleri olarak ise 850 – Yüzey arasında bölgenin batısında ciddi bir anomali durumu görülmezken doğu kesimlere gidildikçe anomali değeri 2,5 – 2,75 m/s civarına ulaşmaktadır. Bu değişim 850 – 200 mb. seviyeleri için daha da belirgin ve şiddetlidir. Muğla civarında 7,5 m/s olarak tespit edilen anomali alanının, Hatay'da 10 m/s'nin üzerine çıktığı tespit edilmiştir. 850 – 200 mb. seviyeleri arası için bölge genelinde 7 m/s'nin üzerinde önemli bir anomali alanı oluşmuştur (Şekil-3.13).



Şekil 3. 13: Akdeniz Bölgesi hortum günlerine ait rüzgâr şiri ortalama (sol) ve anomali (sağ) haritaları. (Üst: Yüzey - 850 mb., Alt: 850 - 200 mb. seviyeleri)

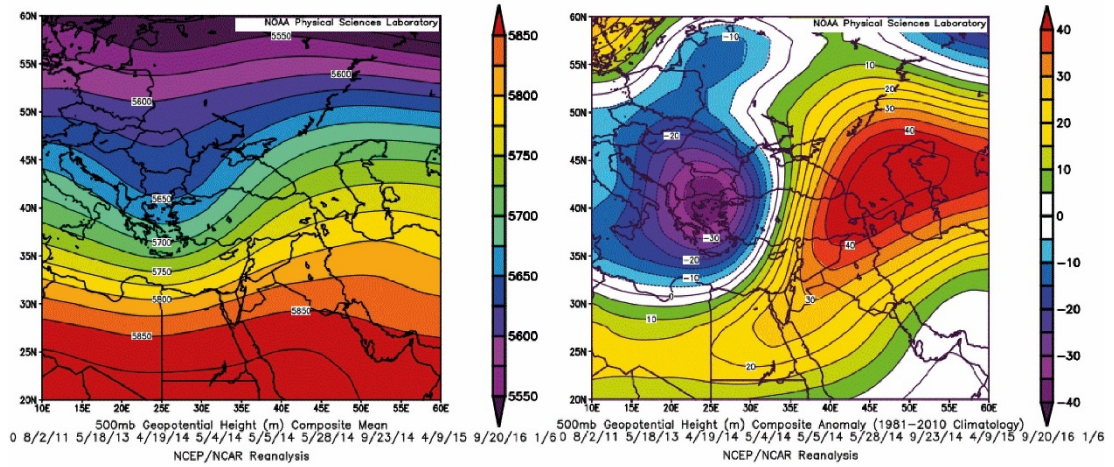
3.4. İç Anadolu Bölgesi

Bölgeye ait hortum olayları ESWD veri setinde oldukça az sayıda olduğundan bu bölge için MGM veri setinden de faydalanılarak eksik olan hortumlar buradan tamamlanarak 20 adet hortum olayı belirlenmiştir (Tablo-3.4).

İç Anadolu Bölgesi'nde etkili olan hortum günlerinin ortalama jeopotansiyel yükseklik haritası incelendiğinde; bölgenin trofun batısında kaldığı, trof aksının Ege kıyılarından geçtiği görülmektedir. Bölgenin ortalama jeopotansiyel yükseklik değerleri 5675 – 5750 m. arasında değişmektedir. Bölgenin batısında negatif anomali, doğusunda ise derin bir pozitif anomali alanı olduğu görülmektedir. 0 anomali konturu Tuz Gölü yakınından geçerek bölgeyi ikiye bölmektedir. Bölgenin batısında yaklaşık -15 m. değerinde negatif anomali bulunurken bu değer bölgenin doğusunda pozitif olarak +30 seviyesine çıkmaktadır. Bu özellikleri ile bölge; Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinden farklılık göstermektedir (Şekil-3.14).

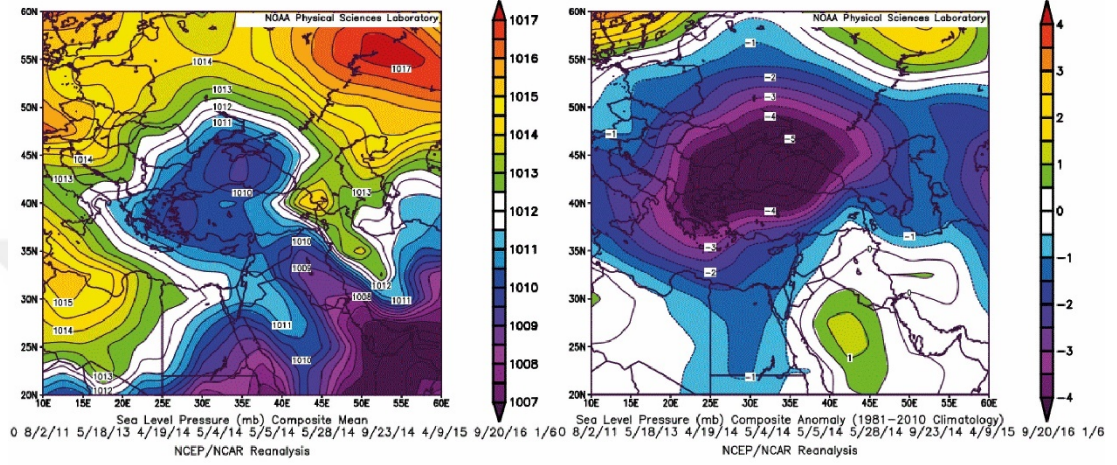
Gün	Ay	Yıl	İl	Yer
12	3	2002	Konya	Hacımehmetli
19	6	2004	Ankara	Sünlü
1	6	2005	Eskişehir	Danışment
12	2	2009	Ankara	Ankara Bölge
29	6	2010	Ankara	Çubuk
20	10	2010	Ankara	Çeltikçi
2	8	2011	Ankara	Esenboğa
18	5	2013	Sivas	Canaptal
19	4	2014	Ankara	Güvercinlik
4	5	2014	Afyonkarahisar	Afyonkarahisar Bölge
5	5	2014	Kayseri	Kayseri Bölge
28	5	2014	Yozgat	Sorgun
23	9	2014	Afyonkarahisar	Afyonkarahisar Bölge
9	4	2015	Kayseri	Kayseri Bölge
20	9	2016	Ankara	Ankara Bölge
6	1	2017	Kayseri	Kayseri Bölge
29	3	2018	Yozgat	Çandır
25	5	2018	Ankara	Çekirdeksiz
31	7	2018	Ankara	Köseli
31	7	2018	Konya	Çamlıca

Tablo 3. 4: İç Anadolu Bölgesi'nden seçilen hortum olayları.



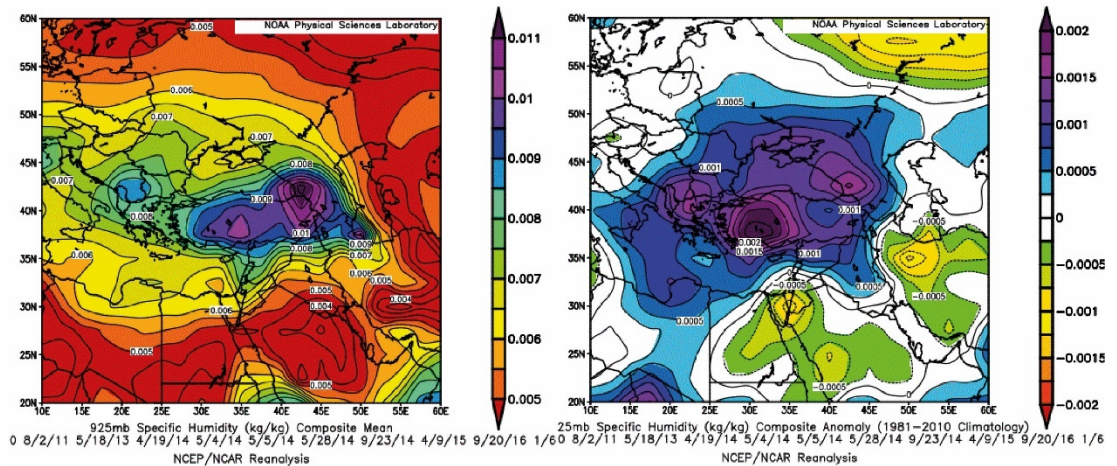
Şekil 3. 14: İç Anadolu Bölgesi hortum günlerine ait 500 mb. jeopotansiyel yükseklik ortalama ve anomali haritaları.

Bölge genelinde deniz seviyesi basıncı değerleri kuvvetli olmasa da 1010 – 1011 mb. değerleri arasında alçak basınç özelliği göstermektedir. Doğuya gidildikçe basınç değerinde artış meydana gelmektedir. Kuzey kesimlerde -4 mb. seviyelerinde negatif anomali gerçekleştiği, güney ve doğuya doğru azalarak -2,5 – 3 mb. seviyelerine gerilediği görülmektedir (Şekil-3.15).



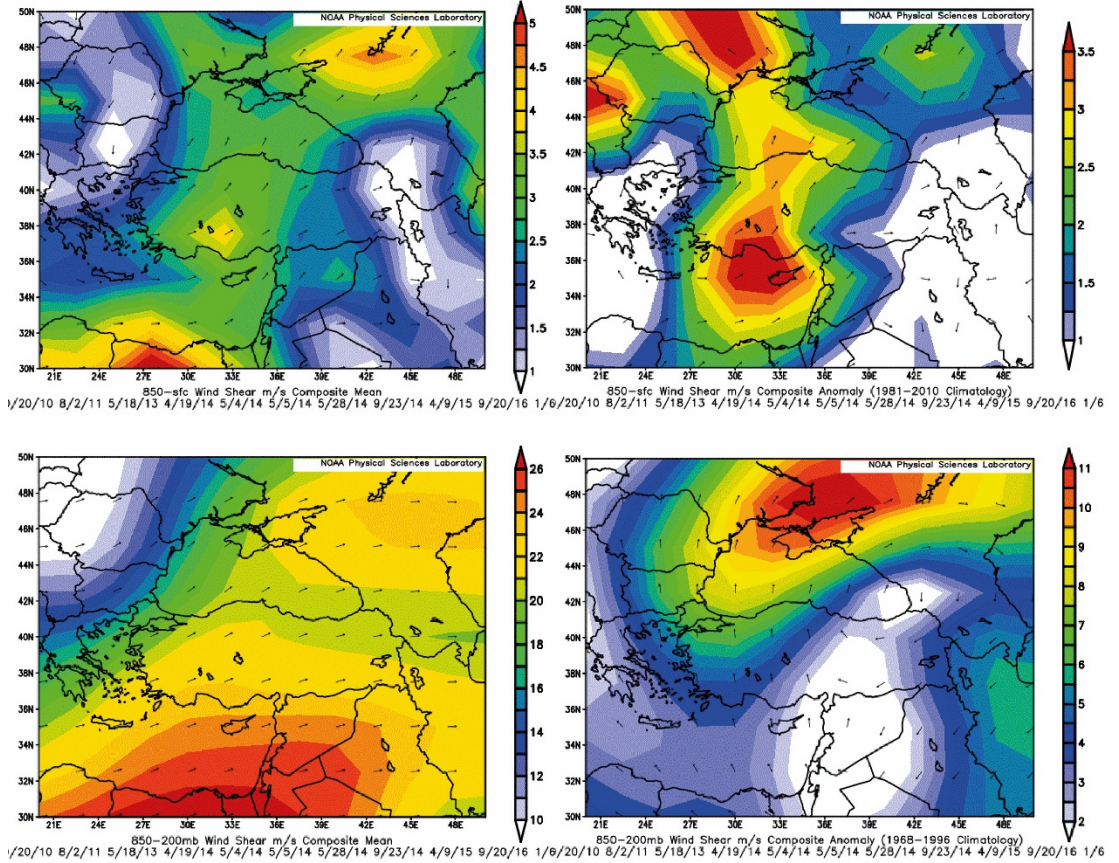
Şekil 3. 15: İç Anadolu Bölgesi hortum günlerine ait deniz seviyesi basıncı ortalama ve anomali haritaları.

Bölgenin özgül nem değerleri batıdan doğuya doğru gidildikçe artmakta, Kayseri – Karaman hattı civarında maksimum seviyesine ulaşmaktadır. Özgül nem değerleri açısından bölge genelinde pozitif anomali görülmekte, bölgenin doğusundan batısına doğru gidildikçe, özellikle Tuz Gölü batısında anomali değerleri yükselmektedir (Şekil-3.16).



Şekil 3. 16: İç Anadolu Bölgesi hortum günlerine ait özgül nem ortalama ve anomali haritaları.

850 mb. – Yüzey arası ortalama rüzgâr şiri değerleri Konya Ovası ve çevresinde 3,75 - 4 m/ ile en yüksek seviyesine ulaşmaktadır Bu alandan çevreye doğru gidildikçe rüzgâr şiri değerlerinde azalma görülmekte, 2,5 – 3 m/s arasına gerilemektedir. 850 – 200 mb. seviyeleri için ise bu değerler bölgenin genelinde 22 – 23 m/s civarındadır. 850 – Yüzey arasında vektör okları konumu, 850 – 200 mb. seviye aralığına göre daha kuzey yönlüdür. 850 – Yüzey seviyeleri arası anomali değerlerine bakıldığında Akdeniz’de oluşan pozitif anomali alanının bölgeyi de etkilediği görülmüş, İç Anadolu’nun orta kesimlerinde 3 – 3,5 m/s’ye yaklaşan seviyede pozitif anomali tespit edilmiştir. Bölgenin doğu ve batısına gittikçe anomali değerlerinde düşme meydana gelmektedir. 850 – 200 mb. seviyeleri anomali haritasında ise bölgenin güney ve doğusunda şiddetli bir anomali görülmeyişi, kuzey ve batı kesimlere gidildikçe anomali değerin artarak 5 - 6 m/s’ye yaklaştığı görülmektedir (Şekil-3.17).



Şekil 3. 17: İç Anadolu Bölgesi hortum günlerine ait rüzgâr şiri ortalama (sol) ve anomali (sağ) haritaları. (Üst: Yüzey - 850 mb., Alt: 850 - 200 mb. seviyeleri)

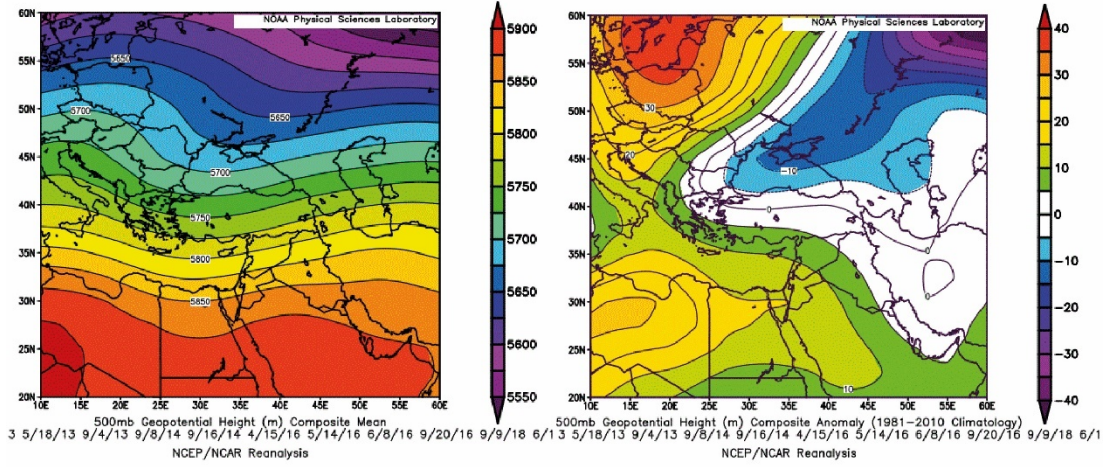
3.5. Karadeniz Bölgesi

Bölge genelinden inceleme amaçlı belirlenen 20 hortum olayına dair tarih ve konum bilgileri aşağıda verilmiştir (Tablo-3.5)

Karadeniz Bölgesi'ne ait 500 mb. ortalama jeopotansiyel yükseklik haritasında trof yapısı diğer bölgelere kıyasla çok belirgin değildir. İtalya üzerinden Avusturya'ya uzanan sırt yapısına tepki olarak Ukrayna – İstanbul arasında oluşmuş, kuvvetli olmayan bir troftan söz edilebilir. Bölgenin ortalama jeopotansiyel yükseklik değerleri 5700 – 5750 m. arasında değişmektedir. Batı ve Orta Karadeniz'de 5700 – 5725 m. arasında değişen değerler, bölgenin doğusunda artarak 5750 m. seviyelerine ulaşmaktadır. Anomali haritası incelendiğinde bölgeyi etkileyen kuvvetli bir anomalinin bulunmadığı, Batı ve Orta Karadeniz bölümlerinin kuzey kesimlerinde -5 ile -10 arasında değişen zayıf bir negatif anomali bulunduğu görülmektedir (Şekil-3.18).

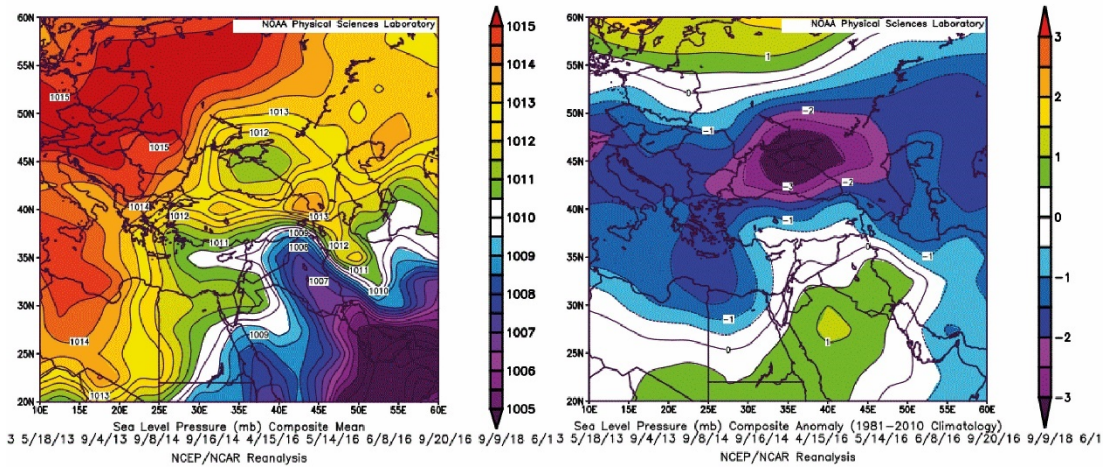
Gün	Ay	Yıl	İl	Yer
26	6	2009	Ordu	Düzyayla
30	7	2009	Sinop	Sinop
14	10	2010	Rize	İyidere
17	1	2011	Giresun	Tirebolu
4	7	2012	Samsun	Samsun
12	3	2013	Bolu	Seben
18	5	2013	Bayburt	Kabaçayır
4	9	2013	Zonguldak	Kozlu
8	9	2014	Bartın	Amasra
16	9	2014	Sinop	Gerze
15	4	2016	Tokat	Bozatalan
14	5	2016	Kastamonu	Karadedeoğlu
8	6	2016	Artvin	Arhavi
20	9	2016	Samsun	Uluağaç
9	9	2018	Giresun	Kavaklar
11	6	2019	Çorum	Narlı
18	6	2019	Ordu	Eskikizilke
9	7	2019	Rize	Fındıklı
31	8	2019	Rize	Rize
15	9	2019	Sinop	Dereköy

Tablo 3. 5: Karadeniz Bölgesi'nden seçilen hortum olayları.



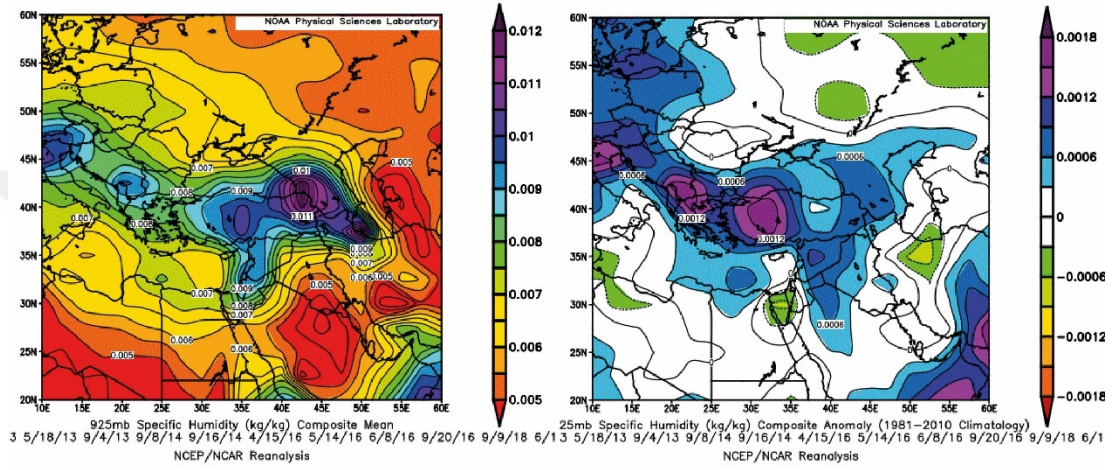
Şekil 3. 18: Karadeniz Bölgesi hortum günlerine ait 500 mb. jeopotansiyel yükseklik ortalama ve anomali haritaları.

Ortalama deniz seviyesi basıncı bölgenin batısında 1012 – 1013 mb. düzeylerinde seyrederken doğuya doğru gittikçe hafif şekilde artarak 1013 mb. seviyesine yaklaşmaktadır. Standart atmosfer basıncının 1013 mb. olduğu düşünülürken, ortalama değerlere bakılarak bölgeyi etkileyen belirgin bir alçak ya da yüksek basınç alanından söz edilememektedir. Basınç anomali değerlerine bakıldığında bölgede -1 ile -3 arasında değişen negatif anomaliler bulunduğu, anomali değerlerinin bölgenin orta kesimlerinde yükseldiği görülmektedir. Diğer bölgelere kıyasla anomali değerleri açısından da kuvvetli pozitif ya da negatif anomaliler bulunduğu veya bölge içerisinde belirgin anomali değişimleri olduğu söylenememektedir (Şekil-3.19).



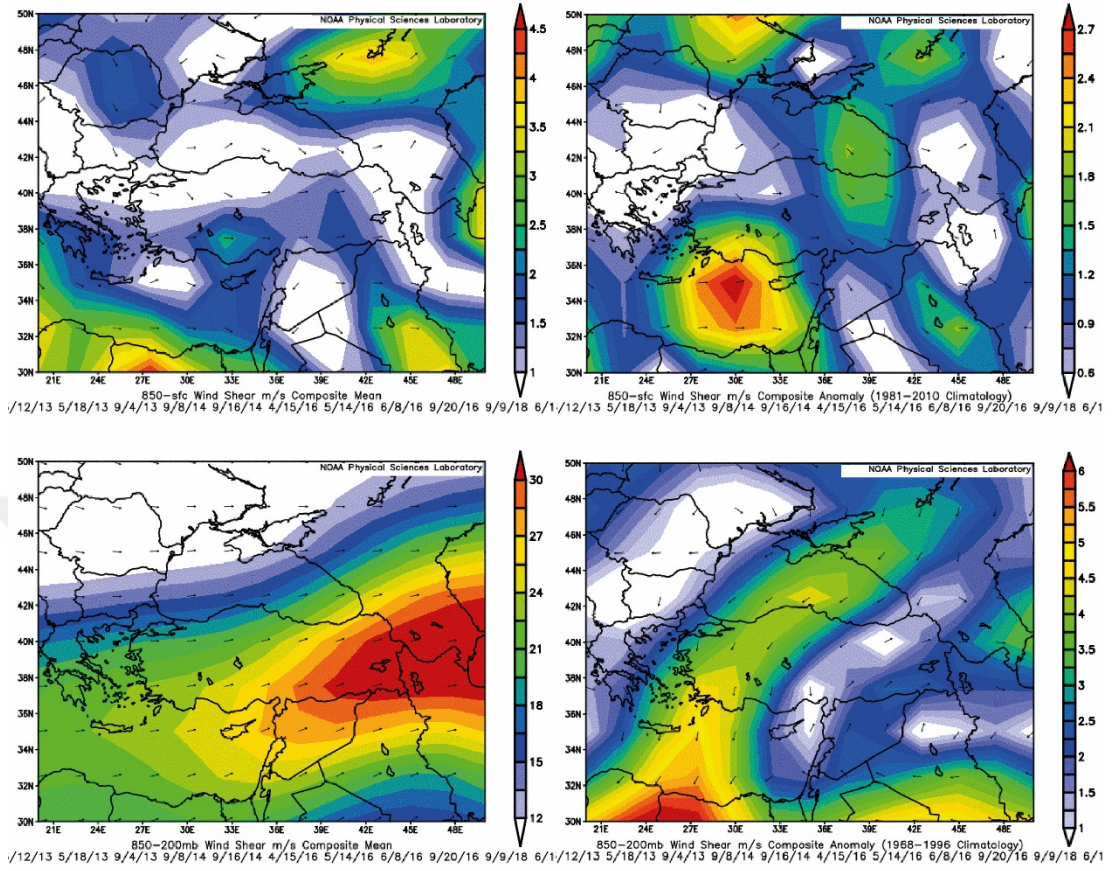
Şekil 3. 19: Karadeniz Bölgesi hortum günlerine ait deniz seviyesi basıncı ortalama ve anomali haritaları.

Ortalama özgül nem koşullarına bakıldığında bölgenin batısından doğusuna gidildikçe değerlerin artışa geçtiği, Ordu ve Giresun'dan sonra belirgin bir biçimde artarak en yüksek değerlerin Rize – Artvin çevrelerinde gerçekleştiği görülmektedir. Ancak anomali değerleri bunun tersi bir biçimde doğudan batıya doğru gittikçe artmaktadır. Bölgede Bartın'ın batısından itibaren belirgin bir pozitif anomali olduğu saptanmıştır (Şekil-3.20).



Şekil 3. 20: Karadeniz Bölgesi hortum günlerine ait özgül nem ortalama ve anomali haritaları.

Rüzgâr şiri değerleri, bölge için incelenen diğer unsurlara göre daha belirgin nitelikler taşımaktadır. 850 – Yüzey arası seviyede ortalama rüzgâr şiri değeri 1 m/s'nin altında bulunmakta, Samsun – Rize arasında 1 m/s'nin üzerine çıkmaktadır. 850 – 200 mb. arası seviyede ise bölgenin doğusunda 27 m/s'ye yaklaşan ortalama değerler batıya doğru gidildikçe azalmakta, bölgenin batı ve orta kesimlerinde 16,5 – 19,5 m/s'ye düşmektedir. Karadeniz Bölgesi'nin batısında 850 – Yüzey seviyeleri arasında 0,6 – 0,9 m/s civarında önemsiz seviyede pozitif anomali bulunurken Samsun – Trabzon arasında anomali değeri 1,5 m/s'ye yaklaşmakta, buradan doğuya gidildikçe tekrardan düşüşe geçmektedir. 850 – 200 mb. seviyeleri arası için bu değer bölge batısında 4 m/s'ye yaklaşmışken doğusunda ise azalarak 1,25 – 1,5 m/s değerlerine gerilemektedir (Şekil-3.21).



Şekil 3. 21: Karadeniz Bölgesi hortum günlerine ait rüzgâr şiri ortalama (sol) ve anomali (sağ) haritaları. (Üst: Yüzey - 850 mb., Alt: 850 - 200 mb. seviyeleri)

3.6. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri

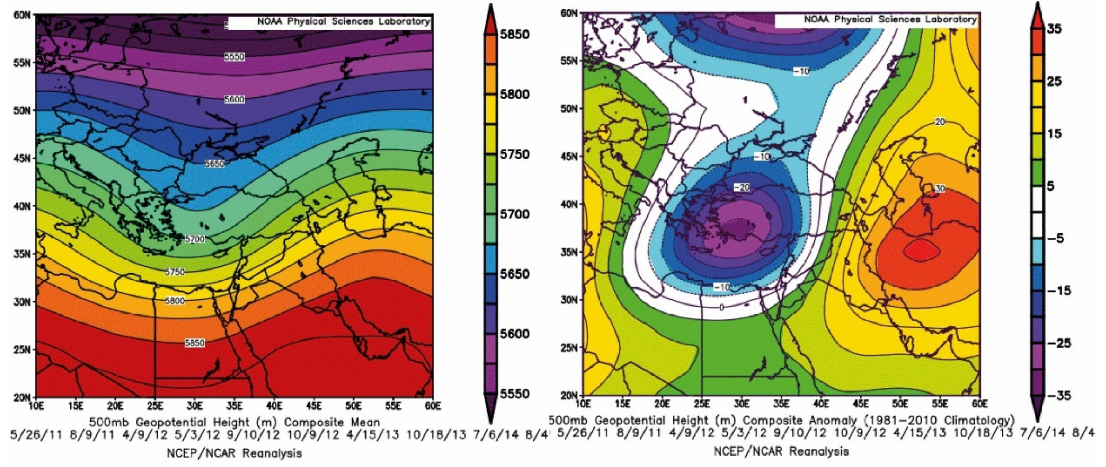
Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde gerçekleşmiş hortum sayıları oldukça az sayıda olduğundan, yüksek atmosfer incelemeleri için Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri birleştirilerek tek bir başlık altında incelenmiştir (Tablo-3.6).

500 mb. ortalama jeopotansiyel yükseklik haritasına bakıldığında, ilgili bölgelerin hortum günlerinde Karadeniz'in kuzeyinden başlayıp Akdeniz'e kadar inen belirgin bir trof yapısından söz edilebilir. Bölgelerin ortalama jeopotansiyel yükseklik değerleri yaklaşık olarak 5700 – 5775 m. arasındadır. Trof aksı bölgelerin batısında kaldığından dolayı ortalama jeopotansiyel yükseklik seviyesi batıdan doğuya doğru gidildikçe artmaktadır. Bu trof yapısından dolayı bölgelerin doğusunda belirgin bir sırt oluşumu vardır. İkili yapı anomali haritasına da yansımış, bölgelerin batısında hafif derecede negatif anomali bulunurken doğusunda ise hafif derecede pozitif anomali alanı gelişmiştir. 0 değerli anomali konturu Gaziantep – Şanlıurfa sınırından başlayıp

Erzincan'a doğru uzanmaktadır. Bu nedenle bölgeler iki farklı anomali alanına bölünmüş durumdadır (Şekil-3.22).

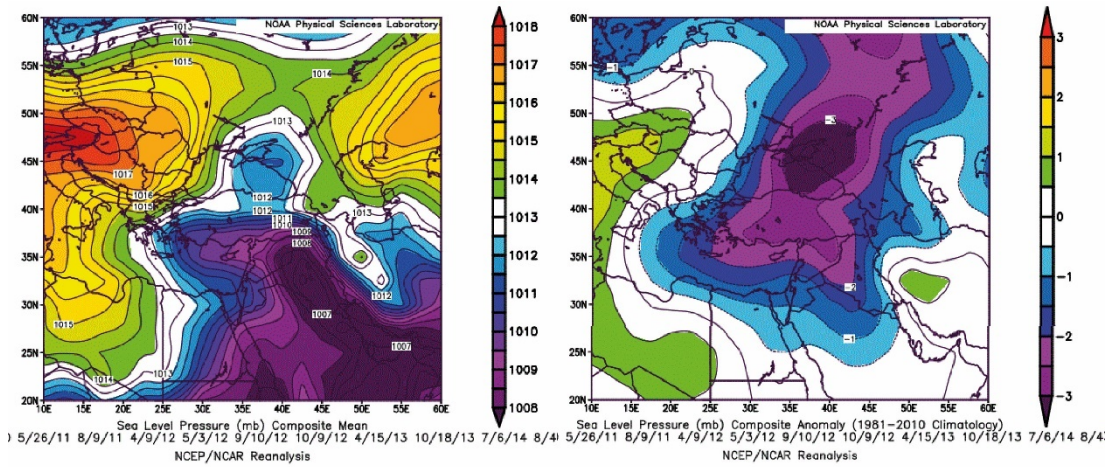
Gün	Ay	Yıl	İl	Yer
23	8	2008	Mardin	Nusaybin
14	2	2009	Gaziantep	Nizip
7	3	2010	Van	Başkale
16	3	2010	Kars	Dikme
29	3	2010	Şanlıurfa	Siverek
29	5	2010	Bingöl	Karlıova
26	5	2011	Ardahan	Çaybaşı
9	8	2011	Kars	Şehitler
9	4	2012	Elazığ	Dutpınar
3	5	2012	Kahramanmaraş	Alemdar
10	9	2012	Bingöl	Toklular
9	10	2012	Gaziantep	Şahinbey
15	4	2013	Elazığ	Çaybaşı
18	10	2013	Muş	Yaygın
6	7	2014	Ardahan	Ardahan
4	8	2014	Ardahan	Çıldır Gölü
28	9	2014	Ağrı	Anakaya
30	9	2014	Van	Van
24	8	2016	Malatya	Söğüt
19	5	2017	Bingöl	Sudüğünü

Tablo 3. 6: Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinden seçilen hortum olayları.



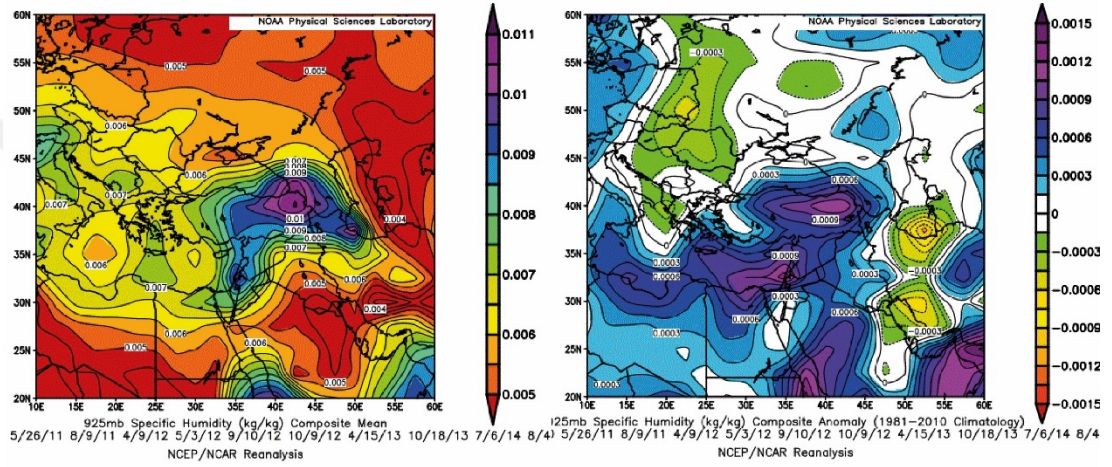
Şekil 3. 22: Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri hortum günlerine ait 500 mb. jeopotansiyel yükseklik ortalama ve anomali haritaları.

Ortalama deniz seviyesi basıncı değerlerine bakıldığında Irak üzerinde derin bir alçak basınç alanı geliştiği, bunun Doğu ve Güneydoğu bölgelerini de etkileyerek bu bölgelerin güney kesimlerinin alçak basınç alanları etkisinde kaldığı görülmektedir. Bölgelerin güneyinde 1008 – 1009 mb. seviyelerinde olan ortalama deniz seviyesi basıncı değeri kuzeye gidildikçe yükselerek 1012 – 1013 mb. seviyelerine gelmektedir. Alanda özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ni etkileyen -2,5 ile -3 arasında değişen negatif anomali geliştiği, Doğu Anadolu Bölgesi'nin doğu kesimlerinde anomali değerlerinin azalarak -1,5 ile -2 düzeyine gerilediği görülmüştür (Şekil-3.23).



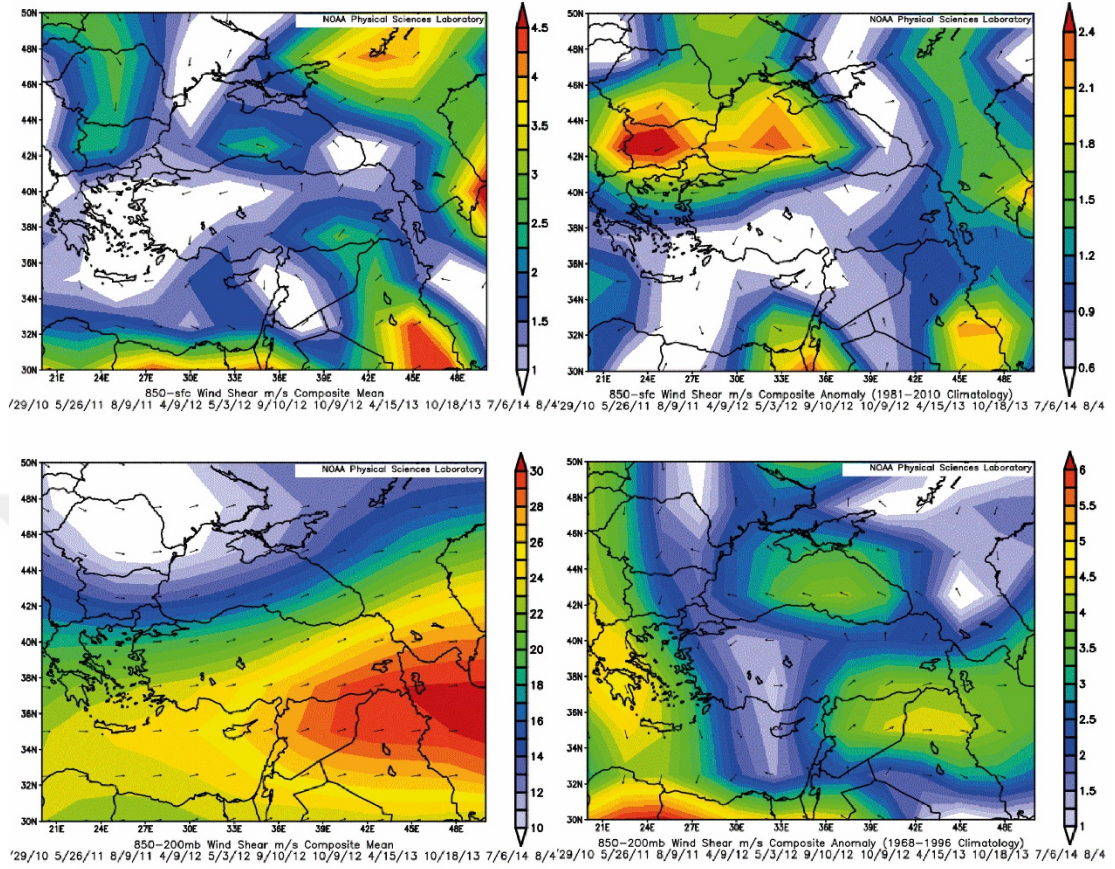
Şekil 3. 23: Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri hortum günlerine ait deniz seviyesi basıncı ortalama ve anomali haritaları.

Ortalama özgül nem değerleri Güneydoğu Anadolu Bölgesi içerisinde fazla değişkenlik göstermezken, Doğu Anadolu Bölgesi'nde güneyden kuzeye gidildikçe artış eğilimi göstermektedir. Bu bölgede ortalama özgül nem değerlerinin en yüksek olduğu alanlar Van Gölü'nün kuzey kesimleri, Kars ve Ardahan çevreleridir. Anomali haritası incelendiğinde ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde hafif düzeyde pozitif anomali olduğu, Van Gölü'nün kuzey kesimlerinde anomali değerlerinin belirgin bir biçimde arttığı görülmüştür (Şekil-3.24).



Şekil 3. 24: Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri hortum günlerine ait özgül nem ortalama ve anomali haritaları.

Rüzgâr şiri koşulları bölgeler için daha belirgin farklar göstermektedir. 850 – Yüzey seviyeleri arasında ortalama rüzgâr şiri değeri Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin batısı ile Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeyinde düşük seviyelerde iken Şanlıurfa – Şırnak arasında 2,25 – 2,75 m/s seviyesine çıkmaktadır. 850 – 200 mb. seviyeleri arasındaki durumuna bakıldığında ise ortalama değerlerin Şanlıurfa – Hakkâri arasında 30 m/s düzeyine kadar çıktığı, bu alandan kuzey ve batıya gidildikçe azalarak 24 – 28 m/s seviyelerine indiği görülmektedir. Vektör oku yönleri 850 – Yüzey arasında kuzey-kuzeydoğu yönünü gösterirken 850 – 200 mb. seviyeleri arasında ise doğu yönüne doğru sapmaya uğramıştır. Anomali haritaları bölgelerde şiddetli bir anomali tespit etmemekle birlikte; 850 – Yüzey seviyeleri için Doğu Anadolu Bölgesi genelinde yaklaşık 1 – 1,2 m/s, 850 – 200 mb. seviyeleri için ise Doğu Anadolu'nun güneyi ile Güneydoğu Anadolu'nun doğusu için 3,5 – 4,25 m/s civarında pozitif anomali olduğunu göstermektedir (Şekil-3.25).



Şekil 3. 25: Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri hortum günlerine ait rüzgâr şiri ortalama (sol) ve anomali (sağ) haritaları. (Üst: Yüzey - 850 mb., Alt: 850 - 200 mb. seviyeleri)

Genel olarak incelenen bölgelerin 500 mb. jeopotansiyel yükseklik, 925 mb., deniz seviyesi basıncı, 850 – Yüzey ve 850 – 200 mb. seviyeleri arası rüzgâr şiri unsurlarının ortalama ve anomali değerleri yaklaşık olarak aşağıdaki gibidir (Tablo-3.7 ve Tablo-3.8). Özgül nem incelemeleri, birim ve değerler sebebi ile tablo dışı bırakılmıştır.

Bölge	500 mb. Jeopotansiyel Yükseklik	Deniz Seviyesi Basıncı	850 – Yüzey seviyeleri arası rüzgâr şiri	850 – 200 mb. seviyeleri arası rüzgâr şiri
Marmara	5650 – 5700 m.	1010 – 1011 mb.	1,5 – 3 m/s	23 – 27 m/s
Ege	5600 – 5650 m.	1009 – 1010 mb.	3 – 4 m/s	19 – 30 m/s
Akdeniz	5525 – 5625 m.	1011 – 1013 mb.	4 – 5,5 m/s	28 – 33 m/s
İç Anadolu	5675 – 5750 m.	1009 – 1010 mb.	2,25 – 3,25 m/s	19 – 22 m/s
Karadeniz	5700 – 5750 m.	1012 – 1013 mb.	<1 – 1 m/s	16 – 27 m/s
Doğu ve Güneydoğu Anadolu	5700 – 5775 m.	1008 – 1014 mb.	1 – 3 m/s	26 – 30 m/s

Tablo 3. 7: Bölgelere ait ortalama değer aralıkları.

Bölge	500 mb. Jeopotansiyel Yükseklik	Deniz Seviyesi Basıncı	850 – Yüzey seviyeleri arası rüzgâr şiri	850 – 200 mb. seviyeleri arası rüzgâr şiri
Marmara	-25 / -30 m.	-4 / -5 mb.	1 – 1,4 m/s	1 – 3,5 m/s
Ege	-10 / -40 m.	-5 / -7 mb.	1,75 – 2,75 m/s	3 – 8 m/s
Akdeniz	-30 / -90 m.	-4 / -6 mb.	1,50 – 2,75 m/s	8,5 – 10,5 m/s
İç Anadolu	-20 / +35 m.	-2 / -4,5 mb.	1,4 – 2,8 m/s	2 – 4,5 m/s
Karadeniz	0 / -10 m.	-1 / -3 mb.	0,6 – 1,6 m/s	1 – 4,5 m/s
Doğu ve Güneydoğu Anadolu	-10 / +20 m.	-1,5 / -2,5 mb.	0,6 – 1,4 m/s	2 – 4,5 m/s

Tablo 3. 8: Bölgelere ait anomali değerleri aralıkları.

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

MGM ve ESWD veri setlerinin birleştirilip çalışma için hazır hale getirilmesi sonucunda Türkiye genelinde 2000 – 2019 yılları arasında gerçekleşen 616 hortum olayı tespit edilmiştir. Bu hortum olaylarının öncelikle coğrafi, zamansal ve mekânsal analizleri yapılmış, daha sonra da çeşitli parametrelerden yararlanılarak hortumların oluştuğu tarihlerde yüksek atmosfer koşullarının durumu incelenmiştir.

Türkiye genelinde gerçekleşen 616 hortum olayının iller bazında dağılımına bakıldığında ilk on sıradaki iller arasında yüksekten düşüğe doğru sırası ile Antalya, İstanbul, Muğla, İzmir, Mersin, Kayseri, Adana, Ankara, Hatay ve Kastamonu bulunmaktadır. Bu ilk on ilde gerçekleşen olaylar, Türkiye genelinde gerçekleşmiş hortumların yaklaşık %67'sine karşılık gelmektedir. Hortum olaylarını bölgelere göre ayırdığımızda ise en fazla hortum meydana gelen ilk üç coğrafi bölge sırası ile Akdeniz Bölgesi, Karadeniz Bölgesi ve Marmara Bölgesi'dir. Akdeniz Bölgesi tespit edilen 248 hortum ile Türkiye'de en fazla hortumun oluştuğu coğrafi bölge konumundadır. 2000 – 2019 yılları arasında oluşmuş hortumların %40,25'i Akdeniz Bölgesi'nde meydana gelmiştir. İkinci sırada yer alan Karadeniz Bölgesi'nde tespit edilmiş 97 hortum olayı bulunduğu göz önüne alınırsa aradaki farkın büyüklüğü ve önemi daha da ön plana çıkmaktadır. Hortum olayının en fazla görüldüğü iki bölge arasındaki dağılım ve yoğunluk farkı ise yapılan yoğunluk analizleri ile ortaya koyulmuştur. Akdeniz Bölgesi hortumlarının Kaş – Anamur arası ve nispeten Mersin – Adana – Hatay çevrelerinde gerçekleştiği görülürken Karadeniz Bölgesi'nde ön plana çıkan alanlar olsa da genellikle tüm sahil şeridinde hortum olaylarına rastlandığı belirlenmiştir. Diğer bölgelerdeki hortumların yoğun olarak gerçekleştiği alanlar ise: Marmara Bölgesi'nde İstanbul çevresi, Ege Bölgesi'nde genellikle grabenlerin kıyı ve iç kesimleri başta olmak üzere İzmir Körfezi ve Afyonkarahisar çevresi, İç Anadolu Bölgesi'nde Ankara ve Kayseri hattı, Doğu Anadolu Bölgesi'nde Van Gölü'nün doğu kıyıları ve Kars – Ardahan hattı ile Erzurum – Karlıova çevresi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Diyarbakır – Mardin hattı ile Gaziantep çevresi olarak belirlenmiştir.

Yıllık bazda dağılımlar göz önüne alındığında 2000 – 2019 yılları arasındaki 20 yıllık dönemde en fazla hortum 2014 yılında, en az hortum ise 2000 yılında gerçekleşmiştir. Hortumların yıllar boyunca düzenli bir şekilde artış göstermediği, bazı yıllarda olay sayısı azalırken bazı yıllarda ise arttığı belirlenmiştir. Örneğin 2014 yılında Türkiye

genelinde 84 hortum olayı gerçekleşmişken bu sayı 2018 yılında 41'e düşmüş, 2019 yılında ise 59'a yükselmiştir. Ancak burada eski yıllardaki teknolojik yetersizlikler, arşiv kayıtlarının yeterli olmaması ve düzenli tutulmaması, hortumların düzenli ve net bir şekilde rapor edilmemesi gibi nedenler göz önünde bulundurularak özellikle 2009 yılı ve öncesi hortum sayılarına dikkatli bir biçimde yaklaşmak gerekmektedir.

Aylık dağılımlar söz konusu olduğunda Türkiye genelinde en fazla hortum oluşan ay Ocak, en az hortum oluşan ay ise Ağustos olarak tespit edilmiştir. Mevsimsel olarak bakıldığında en fazla hortum olayı kış, en az hortum olayı ise yaz mevsiminde görülmektedir. En fazla hortum olayının meydana geldiği mevsim İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde ilkbahar, Marmara ve Karadeniz bölgelerinde yaz, Ege ve Akdeniz bölgelerinde ise kış mevsimidir.

Saatlik dağılımlar incelendiğinde hortum oluşumlarının saatlik dilimlere göre düzenli bir seyir izlediği görülmektedir. 00 – 03 saatleri itibarıyla artışa geçen hortum sayıları 12 – 15 saatleri arasında maksimum seviyeye ulaştıktan sonra tekrar düşüşe geçmektedir. Buna göre Türkiye genelinde hortumlar en fazla 12 – 15, en az 21 – 00 saat dilimleri arasında meydana gelmektedir.

Hortum türlerine göre ayrımlar yapıp incelendiğinde Türkiye genelinde 234 olay ile ağırlıklı olarak karasal hortum olduğu, ancak 225 olay ile su hortumlarının buna çok yakın bir değerde bulunduğu gözlenmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus; hortum kökeni ile ilgili bilgilerin sadece ESWD veri setinde bulunması, MGM veri setlerinde bu konu ile ilgili herhangi bir bilginin yer almaması sebebi ile kökeni bilinmeyen hortumların sayısının yüksekliğidir. Türkiye genelinde 03 – 09 saatleri arasında ağırlıklı olarak su hortumları meydana gelmiş; diğer saat dilimlerinde, özellikle 09 – 18 arasında, birbirlerine yakın değerler gösterebilir de kara hortumları oluşumu sayı olarak ön plana geçmiştir. Bölgesel olarak bakıldığında kara hortumları Marmara Bölgesi'nde Temmuz – Ekim arası, Ege Bölgesi'nde Haziran ve Aralık ayları, Akdeniz Bölgesi'nde Mayıs ve Haziran ayları ile Eylül – Aralık arası, Karadeniz Bölgesi'nde ise Haziran – Mart arası meydana gelmektedir. Su hortumları ise Marmara Bölgesi'nde Ocak – Haziran arası, Ege Bölgesi'nde Ocak ve Şubat ayları ile Temmuz – Kasım arası, Akdeniz Bölgesi'nde Ocak – Nisan arası, Karadeniz Bölgesi'nde Mart – Mayıs arası ağırlıklı olarak meydana gelmektedir. Karasal bölgeler için kara hortumu – su hortumu ayrımı yapılmadığından İç, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri bu incelemenin dışında bırakılmıştır.

Şiddet değerlerine göre incelemenin sonucunda Türkiye’de hortumların büyük çoğunlukla F-1 şiddetinde geliştiği saptanmıştır. Şiddeti F-1 olarak belirlene hortum sayısı 95’tir. İkinci sırada 37 hortum ile F-0 şiddeti gelirken F-3 şiddetinde ise sadece 2 olay tespit edilebilmiştir. TORRO Ölçeği’ne göre ise en fazla hortum 11 olay ile T-3 şiddetindedir.

Hortumların ilerleme yönleri ESWD veri setinde bile nadiren girildiğinden dolayı toplamda tespit edilen 616 hortum olayı içerisinde ilerleme yönü belirli olan sadece 38 tanesi bulunabilmiştir. Buna göre Türkiye’de hortumlar ağırlıklı olarak G – K yönlü hareket etmektedir. İkinci sırada GB – KD, üçüncü sırada ise GGB – KKD yönü gelmektedir.

Coğrafi, zamansal ve mekânsal dağılımları incelenen hortum olaylarında, yüksek atmosfer koşullarının incelenmesi amacıyla her bölgeden 20 hortum olayı seçilmiş ve bu olayların jeopotansiyel yükseklik, deniz seviyesi basıncı, özgül nem ile rüzgâr şiri parametreleri analiz edilmiştir. Buna göre; hortumların oluştuğu tarihlerde Karadeniz Bölgesi hariç diğer bölgelerde 500 mb. ortalama jeopotansiyel yükseklik haritalarında belirgin bir trof yapısı geliştiği görülmektedir. Hortumlar ise trof aksının doğu kesiminde meydana gelmektedir. Karadeniz Bölgesi’nde ise diğer bölgelere kıyasla çok belirgin bir trof gelişimi olmasa da Batı Karadeniz’e doğru uzanan belirsiz bir hattan söz edilebilir. 500 mb. seviyesinde ortalama jeopotansiyel yükseklik değeri Marmara Bölgesi’nde 5675 m., Ege Bölgesi’nde 5625 m., Akdeniz Bölgesi’nde 5575 m., İç Anadolu Bölgesi’nde 5712 m., Karadeniz Bölgesi’nde 5725 m., Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde ise 5737 m. olarak hesaplanmıştır. Hortum günlerinde bölgelerde, özellikle Akdeniz Bölgesi’nde derin olmak üzere, negatif anomali koşullarının etkili olduğu; İç, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin bir kısmında pozitif anomali koşullarının da etkili olduğu saptanmıştır. Ortalama deniz seviyesi basıncı bölgeler genelinde 1008 ile 1014 mb. arasında değişmekte, tüm bölgelerde -1 ile -7 arasında negatif anomaliler görülmektedir. Rüzgâr şiri koşulları da incelenmiş; 850 – Yüzey seviyeleri arası için Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinin birbirine yakın değerler gösterdiği, en yüksek ortalama değerlerin İç Anadolu, en düşük ortalama değerlerin ise Karadeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde ölçüldüğü tespit edilmiştir. 850 – 200 mb. seviyeleri arasında ise en düşük ortalama değerlerin İç Anadolu ve Karadeniz, en yüksek ortalama değerlerin Akdeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yer aldığı tespit edilmiştir. Rüzgâr şiri anomali değerleri ise bölgeler genelinde hem 850 – Yüzey hem de 850 – 200 mb. seviyeleri

için birbirine yakın değerler gösterebilir de Akdeniz ve Ege bölgelerinde iki seviye arasındaki anomali farkının daha fazla olduğu görülmüştür.

Bu çalışma ile Türkiye'nin hortum klimatolojisi genel olarak incelenmiş, hortumların çeşitli faktörlere göre dağılımları analiz edilmiş ve etkili oldukları günlerde yüksek atmosfer koşullarının ne şekilde gerçekleştiği saptanmaya çalışılmıştır. Günümüzde hortumlar hem şiddet hem sıklık açısından giderek artan bir şekilde gerçekleşmektedir. Geçmiş dönemlerde hortum olayları konusunda bilgilerin kısıtlı olması, meydana gelen hortumların tam olarak kayıt altına alınmaması gibi sebeplerden ötürü sayıları az olarak görünse de günümüzde artan teknolojik imkanlar ve farkındalık sebebiyle kayıt altına alınan hortum sayısı hızla artmaktadır. Burada hortum olaylarının düzenli ve detaylı bir biçimde arşivlenmesi oldukça önemlidir. Örneğin; Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan veri setinde hortum olaylarına ait herhangi bir koordinat, şiddet, yön, tür bilgisi bulunmadığından dolayı çalışmada zorluklar yaşanmıştır. Bunların yanı sıra içinde bulunduğumuz iklim değişikliği ve bunun etkilerinin hortum olaylarına ne şekilde etki edeceği de göz ardı edilmemelidir. İklim değişikliği ve atmosferik afetler bütüncül bir biçimde ele alınmalı; değişen mekanizmaların hortumlar üzerinde ne şekilde etki edeceği detaylı bir biçimde incelenmeli ve bunlara karşı ne şekilde önlemler alınabileceği irdelenmelidir.

KAYNAKÇA

- Ackerman, S. A., & Knox, J. A.: 2011 **Meteorology: Understanding the Atmosphere (3. baskı)**. Çev. Ed. Mikdat Kadioğlu, Sedef Çakır. Jones & Bartlett Learning, 361-362.
- Ahrens, C. D., & Henson, R.: 2017 **Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere (8. baskı)**. Cengage Learning, 296-314.
- Bagaglini, L., Ingrosso, R., & Miglietta, M. M.: 2021 Synoptic patterns and mesoscale precursors of Italian tornadoes. **Atmospheric Research**, 253. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105503>
- Brázdil, R., Chromá, K., Púčík, T., Černoch, Z., Dobrovolný, P., Dolák, L., Kotyza, O., Řezníčková, L., & Taszarek, M.: 2020 The climatology of significant tornadoes in the Czech Republic. **Atmosphere**, 11(7). <https://doi.org/10.3390/atmos11070689>
- Cameron C. Lee.: 2010 **The Relationship of Large-Scale Atmospheric Circulation Patterns to Tornadoes and the Impacts of Climate Change**, Kent State University, Yüksek Lisans Tezi. OhioLINK Electronic Theses and Dissertations Center. http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=kent1274371690
- Coşkun, M., & Aksoy, B.: 2007 19 Haziran 2004 Çubuk-Sünlü (Ankara) Hortum Olayı. **Doğu Coğrafya Dergisi**, 12(17), 203–222.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters CRED.: 2018 Natural Disasters 2018, **Emergency Events Database**. <https://www.cred.be/sites/default/files/CREDNaturalDisaster2018.pdf>, (Çevrimiçi) 05.02.2021

- Demircan, M., Arabacı, H., Soydam, M., & Eroğlu, H.: 2019 Trends of Tornado Disasters in Turkey in Context of Climate Change. **9th International Symposium on Atmospheric Sciences**, İstanbul, 2019.
- Dotzek, N.: 2003 An updated estimate of tornado occurrence in Europe. **Atmospheric Research**, 67–68, 153–161. [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(03\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(03)00049-8)
- Dotzek, N., Groenemeijer, P., Feuerstein, B., & Holzer, A. M.: 2009 Overview of ESSL’s severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD. **Atmospheric Research**, 93(1–3), 575–586. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.10.020>
- European Severe Storms Laboratory ESWD Quality Control. **European Severe Storms Laboratory Webpage**, <https://www.essl.org/cms/european-severe-weather-database/eswd-quality-control/>, (Çevrimiçi) 14.07.2021
- Fujita, T. T.: 1971 Proposed Characterization of Tornadoes and Hurricanes by Area and Intensity. **SMRP Research Paper** (Sayı 91)
- Gayà, M.: 2011 Tornadoes and severe storms in Spain. **Atmospheric Research**, 100(4), 334–343. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.10.019>
- Giaiotti, D. B., Giovannoni, M., Pucillo, A., & Stel, F.: 2007 The climatology of tornadoes and waterspouts in Italy. **Atmospheric Research**, 83(2-4 SPEC. ISS.), 534–541. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2005.10.020>
- Glossary of Meteorology, American Meteorological Society Tornado Outbreak. https://glossary.ametsoc.org/wiki/Tornado_outbreak, (Çevrimiçi) 14.08.2021

- Gönençgil, B., & Acar Deniz, Z.: 2016 **Atmosfer Kökenli Doğal Afetler ve Ekstrem Hava Olayları** (1.Baskı). Çantay Kitabevi, 14.
- Holzer, A. M.: 2001 Tornado climatology of Austria. **Atmospheric Research**, 56(1–4), 203–211.
[https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(00\)00073-9](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(00)00073-9)
- Kahraman, A.: 2020 Synoptic climatology of supercell-type tornado and very large hail days in Turkey. **Weather**, 1–6.
<https://doi.org/10.1002/wea.3829>
- Kahraman, A., & Markowski, P. M.: 2014 Tornado climatology of Turkey. **Monthly Weather Review**, 142(6), 2345–2352.
<https://doi.org/10.1175/MWR-D-13-00364.1>
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, R., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R., Joseph, D.: 1996 The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 77(3), 437–471
- Kirk, P. J.: 2014 An updated tornado climatology for the UK: 1981-2010. **Weather**, C. 69, Sayı 7, 171–175
<https://doi.org/10.1002/wea.2247>

- Knox, J. A., Rackley, J. A., Black, A. W., Gensini, V. A., Butler, M., Dunn, C., Gallo, T., Hunter, M. R., Lindsey, L., Phan, M., Scroggs, R., & Brustad, S.: 2013 Tornado debris characteristics and trajectories during the 27 April 2011 super outbreak as determined using social media data. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 94(9), 1371–1380. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00036.1>
- Koç, İ., & Ünlüler, M.: 2017 26 Kasım 2010 Günü Muğla'nın Çallı Köyünde Meydana Gelen Hortum Olayının İncelenmesi. **III. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu**, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Antalya, 2019.
- Kolay, O., Özdemir, E. T., & Yetemen, Ö.: 2020 Flash Flood and Tornado Disaster in Bodrum: Case Study of November 29, 2018. **Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences**, 5(4), 491–497. <https://doi.org/10.35229/jaes.759162>
- Leitão, P., & Pinto, P.: 2020 Tornadoes in Portugal: An overview. **Atmosphere**, 11(7). <https://doi.org/10.3390/atmos11070679>
- Matsangouras, I. T., Nastos, P. T., Bluestein, H. B., & Sioutas, M. V.: 2014 A climatology of tornadic activity over Greece based on historical records. **International Journal of Climatology**, 34(8), 2538–2555. <https://doi.org/10.1002/joc.3857>
- McDonald, J. R., Forbes, G. S., & Marshall, T. P.: 2004 The Enhanced Fujita (EF) Scale. **22nd Conference on Severe Local Storms**, August 2004, 3B.2. <https://ams.confex.com/ams/11aram22sls/webprogram/Paper81090.html>
- Miglietta, M. M., & Matsangouras, I. T.: 2018 An updated “climatology” of tornadoes and waterspouts in Italy. **International Journal of Climatology**, 38(9), 3667–3683. <https://doi.org/10.1002/joc.5526>

- Moore, T. W.: 2013 **A statistical and synoptic climatology of tropical cyclone tornado outbreaks.** Texas State University-San Marcos, Basılmamış doktora tezi, San Marcos, Texas.
<https://digital.library.txstate.edu/handle/10877/4513>
- Moore, T. W., & Dixon, R. W.: 2015 Patterns in 500 hPa geopotential height associated with temporal clusters of tropical cyclone tornadoes. **Meteorological Applications**, 22(3), 314–322.
<https://doi.org/10.1002/met.1456>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü **Meteoroloji Sözlüğü.**
<https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojisozlugu.aspx>, (Çevrimiçi) 12.08.2021
- National Geographic Tornado facts and information.
<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/tornadoes>, (Çevrimiçi) 07.08.2021
- National Oceanic and Atmospheric Administration National Weather Service Webpage (NOAA – NWS) Severe Weather Topics: What is Wind Shear?
<https://www.weather.gov/ilx/swop-springtopics>, (Çevrimiçi) 12.08.2021
- NOAA/ESRL Physical Sciences Laboratory Daily Maps and Composites: NCEP/NCAR Reanalysis and related datasets, Daily Mean Composites Plotting and Analysis Web Page.
<https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>, (Çevrimiçi) 22.07.2021

National Oceanic and Atmospheric Administration Storm Prediction Center (NOAA – SPC)	Enhanced Fujita Tornado Damage Scale. https://www.spc.noaa.gov/efscale/ef-scale.html , (Çevrimiçi) 28.07.2021
National Oceanic and Atmospheric Administration Storm Prediction Center (NOAA – SPC)	The Online Tornado FAQ: Frequently Asked Questions about Tornadoes, Historical Tornadoes. https://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/ , (Çevrimiçi) 14.08.2021
National Oceanic and Atmospheric Administration The National Climatic Data Center (NOAA – NCDC)	Regions of the World with Increased Likelihood of Experiencing Tornadoes, US Tornado Climatology. https://www.ncdc.noaa.gov/climate-information/extreme-events/us-tornado-climatology , (Çevrimiçi) 14.08.2021
National Oceanic and Atmospheric Administration The National Severe Storms Laboratory (NOAA – NSSL)	Severe Weather 101 – Tornado Basics. https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/tornadoes/ , (Çevrimiçi) 14.08.2021
Nugent, A., DeCou, D., Russell, S., Karamperidou, C.	Atmospheric Processes and Weather. University of Hawaii at Mānoa Pressbooks (ss. 168–191). http://pressbooks-dev.oer.hawaii.edu/atmo/chapter/chapter-5-atmospheric-stability/ , (Çevrimiçi), 12.08.2021

Özgenç, R.: 2020

**Yer Tabanlı Uzaktan Algılama Sistemleri
Kullanılarak Akdeniz Bölgesinde Hortum
Hadiselerinin Sinoptik Analizi ve Modellenmesi.**

İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi,
İstanbul.

Tez No: 635612

Rauhala, J., & Schultz,
D.: 2012

Synoptic Climatology of Tornado Environments in
Finland. **Monthly Weather Review**, 140(5), 1446–
1456. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1175/MWR-D-11-00196.1>

Rauhala, J., Brooks, H.
E., & Schultz, D. M.:
2012

Tornado climatology of Finland. **Monthly Weather
Review**, 140(5), 1446–1456.
<https://doi.org/10.1175/MWR-D-11-00196.1>

Romero, R., Gayà, M.,
& Doswell, C. A.: 2007

European climatology of severe convective storm
environmental parameters: A test for significant tornado
events. **Atmospheric Research**, 83(2-4 SPEC. ISS.),
389–404.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2005.06.011>

Sanders, S., Adams,
T., & Joseph, E.: 2020

Severe weather forecasts and public perceptions: An
analysis of the 2011 super outbreak in Tuscaloosa,
Alabama. **Weather, Climate, and Society**, 12(3), 473–
485. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-18-0090.1>

Sioutas, M. V.: 2011

A tornado and waterspout climatology for Greece.
Atmospheric Research, 100(4), 344–356.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.08.011>

- Sioutas, M. V., & Keul, A. G.: 2007 Waterspouts of the Adriatic, Ionian and Aegean Sea and their meteorological environment. **Atmospheric Research**, 83(2-4 SPEC. ISS.), 542–557.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2005.08.009>
- Sioutas, M., Doe, R., Michaelides, S., Christodoulou, M., & Robins, R.: 2006 Meteorological conditions contributing to the development of severe tornadoes in Southern Cyprus. **Weather**, 61(1), 10–16.
<https://doi.org/10.1256/wea.268.04>
- Stimac, John P.: 2006 Thunderstorms and Tornadoes. **Eastern Illinois University webpage**.
<https://www.ux1.eiu.edu/~jpstimac/1400/tstorms.html>, (Çevrimiçi) 12.08.2021
- Taszarek, M., & Brooks, H. E.: 2015 Tornado climatology of Poland. **Monthly Weather Review**, 143(3), 702–717.
<https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00185.1>
- The Tornado and Storm Research Organisation The International Tornado Intensity Scale.
<https://www.torro.org.uk/research/tornadoes/tscale>, (Çevrimiçi) 27.07.2021
- Türkeş, M.: 2015 Hortumlar ve Oluşum Düzenekleri. **Bilim ve Gerçek**, 132 (February), 80–83.
<https://bilimvegelecek.com.tr/index.php/2015/02/02/hortumlar-ve-olusum-duzenekleri/>, (Çevrimiçi) 24.07.2021
- Türkeş, M.: 2019 **Genel Klimatoloji: Atmosfer, Hava ve İklimin Temelleri** (4. baskı). Kriter Yayınevi.
- Türkeş, M.: 2021 Türkiye’de Hortumlar Artıyor mu? **EKOIQ**.
<https://ekoq.com/2021/03/15/turkiyede-hortumlar-artiyor-mu/>, (Çevrimiçi) 24.07.2021

- Türkiye Bilimler Akademisi
Türkçe Bilim Terimleri Sözlüğü. www.tubaterim.gov.tr, (Çevrimiçi) 02.03.2021
- Tyrrell, J.: 2003
A tornado climatology for Ireland. **Atmospheric Research**, 67–68, 671–684.
[https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(03\)00080-2](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(03)00080-2)
- University of Arizona
Department of Hydrology & Atmospheric Sciences
ATMO336: Weather, Climate and Society.
<http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/fall09/atmo336/lectures/sec2/tornadoes.html>, (Çevrimiçi) 12.08.2021
- University of Illinois
Department of Atmospheric Sciences
Webpage
The Weather World 2010 Project.
[http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/svr/comp/wind/home.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/svr/comp/wind/home.rxml), (Çevrimiçi) 12.08.2012
- Wikipedia (Görsel)
Supercell Anatomy, Wikipedia the Free Encyclopedia
<https://en.wikipedia.org/wiki/Supercell#/media/File:Meso-1.svg>
<https://en.wikipedia.org/wiki/Supercell#/media/File:Meso-2.svg>
<https://en.wikipedia.org/wiki/Supercell#/media/File:Meso-3.svg>
(Çevrimiçi) 12.08.2012
- Yavuz, V., Çavuş, P. C., & Özen, C.: 2015
Türkiye’de Hortum Vakalarının Zamansal ve Mekansal Analizi. **7th International Symposium on Atmospheric Sciences**, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.
- Yurtseven, M.: 2013
“**Gelişmiş-V” Yapılı Oraj Fırtına Modeli Olarak Elâzığ-Maden Hortumu**. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 2013.