

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARADENİZ'İN FIRTINALILIĞINDA MEYDANA GELEN
UZUN DÖNEMLİ DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ, 1979-2019**

Kadir TAHTACI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Kıyı ve Liman Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Berna AYAT AYDOĞAN

Temmuz, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARADENİZ'İN FIRTINALILIĞINDA MEYDANA GELEN UZUN
DÖNEMLİ DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ, 1979-2019**

Kadir TAHTACI tarafından hazırlanan tez çalışması 02.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kıyı ve Liman Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Berna AYAT AYDOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Berna AYAT AYDOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet ÖZGER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Berna AYAT AYDOĞAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Karadeniz'in Fırtınalılığında Meydana Gelen Uzun Dönemli Değişimlerin İncelenmesi, 1979-2019 başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Kadir TAHTACI

İmza

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübesiyle desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, tez danışmanım, değerli hocam Doç. Dr. Berna Ayat Aydoğan’a, tecrübeleri ile bana yol gösteren ve çalışmamda kullandığım dalga verilerini sağlayan Doç. Dr. Burak Aydoğan’a ve arkadaşım Arş. Gör. Tahsin Görmüş’e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca ders içinde ve ders dışında bana olan katkılarından dolayı Prof. Dr. Yalçın Yüksel’e, Prof. Dr. Esin Çevik’e, Prof. Dr. Şükrü Ersoy’a ve tüm diğer hocalarıma teşekkür ederim.

Bu süreçte beni her açıdan destekleyen kıymetli annem Saynur Tahtacı’ya, babam Mehmet Tahtacı’ya ve ağabeyim Volkan Tahtacı’ya, İstanbul’da kaldığım dönemde manevi açıdan büyük desteklerini gördüğüm ablam Ebru Delal’e, değerli ağabeyim Musa Delal’e ve yeğenim Bora Delal’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca uzun dönem iklim salınım indeks verilerini sağladığı için Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi Fiziksel Bilimler Laboratuvarı’na, ERA 5 rüzgâr verilerini sağlayan Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi’ne ve batimetri verilerini sağlayan Okyanusların Genel Batimetrik Çizelgeleri (GEBCO)’ya, teşekkür ederim.

Kadir TAHTACI

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	x
HARİTA LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	17
1.3 Hipotez	17
2 YÖNTEM	19
2.1 Çalışma Alanı	19
2.2 Veriler	22
2.3 İstatistiksel Analizler	24
2.3.1Eğilim Analizi	26
2.3.2Anlamlılık Analizi	27
2.3.3Korelasyon Analizi	28
3 BULGULAR VE TARTIŞMA	30
3.1 Fırtına Parametrelerinin Uzun Dönem Ortalama Değerleri ve Uzamsal Değişkenliği	30
3.2 Fırtınaların Uzamsal ve Zamansal Değişimleri	32
3.2.1Fırtına Sayılarındaki Değişimler	32
3.2.2Fırtına Sürelerindeki Değişimler	34
3.2.3Fırtınaların Dalga Yüksekliklerindeki Değişimler	36
3.3 Eğilim Analizi İçin Seçilen Zaman Aralığının Uzamsal Sonuçlar Üzerindeki Etkisi	42
3.3.1Fırtına Sayılarındaki Değişimler	42
3.3.2Fırtına Sürelerindeki Değişimler	45
3.3.3Fırtınaların Dalga Yüksekliklerindeki Değişimler	51
3.4 Fırtınaların Mevsimselliği	56
3.4.1Fırtına Sayılarındaki Mevsimsel Değişimler	56
3.4.2Fırtına Sürelerindeki Mevsimsel Değişimler	62
3.4.3Fırtınaların Dalga Yüksekliklerindeki Mevsimsel Değişimler	83
3.5 Fırtınaların Yönsel Analizi	106

3.5.1Fırtına Sayılarındaki Yönsel Değişimler	106
3.5.2Fırtına Sürelerindeki Yönsel Değişimler	111
3.5.3Fırtınaların Dalga Yüksekliklerindeki Yönsel Değişimler	122
3.6 Karadeniz'in Fırtınalılığının İklim Uzun Dönem Salınım İndeksleri ile İlişkisi	134
4 SONUÇ VE ÖNERİLER	138
KAYNAKÇA	141
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	146



SİMGE LİSTESİ

E	$10^{\wedge}$
B	Batı
H _s	Belirgin dalga yüksekliği
U ₁₀	Denizden 10 metre yüksekteki rüzgâr hızı
°	Derece
D	Doğu
G	Güney
Hz	Hertz
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
J	Joule
CO ₂	Karbondioksit
r	Korelasyon katsayısı
K	Kuzey
S	Mann-Kendall testinin istatistiği
GtCO ₂	Milyar ton karbondioksit
H _{ort}	Ortalama dalga yüksekliği
T _p	Pik dalga periyodu
t _p	p'inci bağ grubundaki veri sayısı
C	Santigrat
Z	Standartlaştırılmış test istatistiği
Var(S)	S'in varyansı
n	Zaman serisindeki toplam veri sayısı
Z _α	α anlamlılık seviyesindeki Z değeri

KISALTMA LİSTESİ

AMO	Atlantik Çoklu On yıllık Salınımı
CFSR	İklim Tahmin Sistemi Yeniden Analizi
cm	santimetre
DWT	dedveyt ton
EA	Doğu Atlantik Salınımı
EA/WR	Doğu Atlantik/Batı Rusya Salınımı
ECMWF	Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi
ERA-40	Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi 40 Yıllık Yeniden Analizi
ERA5	Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi Yeniden Analiz Verisi
ERA-Interim	Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi Geçici Yeniden Analizi
EÜP	Eşik Üstü Pikler
GEBCO	Okyanusların Genel Batimetrik Çizelgeleri
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
KEİ/BSEC	Karadeniz Ekonomik İşbirliği Örgütü
km	kilometre
m	metre
NAO	Kuzey Atlantik Salınımı
NCEP/NCAR	Ulusal Çevresel Tahmin Merkezi
NOAA	Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi
PNA	Pasifik/Kuzey Amerikan Salınımı
ppm	Toplam madde miktarının milyonda 1 birimlik maddesi
RCM	Bölgesel İklim Modeli
RCP	Temsili Konsantrasyon Rotası
sa	saat
sn	saniye
SWAN	Yakın Kıyı Simülasyonu
TEU	yirmi ayak eşdeğer birimi
WAM	WAve Model

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Fırtınaların etkileri (a) Weick (2020), b) Roberts (2019), c) Stanley (2019), d) Harkness (2012), e) Finans Gündem (2021), f) Kalem Gazetesi (2021).....	1
Şekil 1.2 (IPCC, 2014) (a) Küresel kara ve okyanus yüzey sıcaklıklarındaki değişim, b) Küresel deniz seviyesindeki değişim, c) Küresel ortalama sera gazı konsantrasyonları, d) Küresel antropojenik CO ₂ emisyonları.....	3
Şekil 1.3 (IPCC, 2014) (a) Küresel ortalama yüzey sıcaklığı değişimi (1986-2005'e göre), b) Küresel ortalama deniz seviyesi artışı (1986-2005'e göre)	5
Şekil 1.4 a) İçinde dalgaölçer bulunan şamandıra (AA, 2019), b) Spektral dalga modeli hesap ağı (Aydoğan ve Ayat, 2018).....	7
Şekil 2.1 Zaman serisi üzerinde fırtına ve analizi yapılan parametreler	25
Şekil 2.2 Dalgaların geliş açılarına göre dikkate alınan yönler	26
Şekil 3.1 Yıllık toplam fırtına sayısı zaman serileri ve 5, 10 ve 41 yıllık eğilim çizgileri (adet/yıl).....	34
Şekil 3.2 Yıllık maksimum fırtına süreleri zaman serileri ve 5, 10 ve 41 yıllık eğilim çizgileri (sa/yıl).....	36
Şekil 3.3 Fırtınaların yıllık ortalama dalga yüksekliği zaman serileri ve 5, 10 ve 41 yıllık eğilim çizgileri (m/yıl).....	38
Şekil 3.4 Fırtınaların yıllık ortalama pik dalga yüksekliği zaman serileri ve 5, 10 ve 41 yıllık eğilim çizgileri (m/yıl).....	40
Şekil 3.5 Fırtınaların yıllık maksimum dalga yüksekliği zaman serileri ve 5, 10 ve 41 yıllık eğilim çizgileri (m/yıl).....	42

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Geçmişte fırtınalar ile ilgili yapılan araştırmalarda kullanılan veya sonuç olarak bulunan dalga eşik değerleri	9
Tablo 2.1 Anlamlılık seviyelerine karşılık gelen Z değerleri	28
Tablo 3.1 Yıllık toplam fırtına sayılarındaki 41 yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri...	32
Tablo 3.2 Yıllık maksimum fırtına sürelerindeki 41 yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri	35
Tablo 3.3 Fırtınaların yıllık ortalama dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri	37
Tablo 3.4 Fırtınaların yıllık ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri	39
Tablo 3.5 Fırtınaların yıllık maksimum dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri	40
Tablo 3.6 Yıllık toplam fırtına sayılarındaki 10'ar yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri	42
Tablo 3.7 Yıllık ortalama fırtına sürelerindeki 10'ar yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri	46
Tablo 3.8 Yıllık toplam fırtına sürelerindeki 10'ar yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri	48
Tablo 3.9 Yıllık maksimum fırtına sürelerindeki 10'ar yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri	50
Tablo 3.10 Fırtınaların yıllık ortalama dalga yüksekliklerindeki 10'ar yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri	52
Tablo 3.11 Fırtınaların yıllık ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 10'ar yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri	54
Tablo 3.12 Fırtınaların yıllık maksimum dalga yüksekliklerindeki 10'ar yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri	55
Tablo 3.13 Toplam fırtına sayılarındaki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri	58
Tablo 3.14 Ortalama fırtına sürelerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri	64
Tablo 3.15 Toplam fırtına sürelerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri	70
Tablo 3.16 Maksimum fırtına sürelerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri	77
Tablo 3.17 Fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri	85
Tablo 3.18 Fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri	92

Tablo 3.19 Fırtınaların maksimum dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri	100
Tablo 3.20 Toplam fırtına sayılarındaki 41 yıllık yönsel eğilim ve anlamlılık değerleri	108
Tablo 3.21 Ortalama fırtına sürelerindeki 41 yıllık yönsel eğilim ve anlamlılık değerleri	113
Tablo 3.22 Toplam fırtına sürelerindeki 41 yıllık yönsel eğilim ve anlamlılık değerleri	116
Tablo 3.23 Maksimum fırtına sürelerindeki 41 yıllık yönsel eğilim ve anlamlılık değerleri	120
Tablo 3.24 Fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık yönsel eğilim ve anlamlılık değerleri	124
Tablo 3.25 Fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık yönsel eğilim ve anlamlılık değerleri	128
Tablo 3.26 Fırtınaların maksimum dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık yönsel eğilim ve anlamlılık değerleri	132
Tablo 3.27 Karadeniz fırtınalılığının iklim uzun dönemli salınım indeksleriyle ilişkisi, r	135

HARİTA LİSTESİ

Harita 2.1 Çalışma Alanı	19
Harita 3.1 Analizi yapılan süredeki fırtına parametrelerinin uzun dönem ortalama değerleri	31
Harita 3.2 Yıllık toplam fırtına sürelerindeki 41 yıllık anlamlı eğilimler (adet/yıl)	32
Harita 3.3 Yıllık maksimum fırtına sürelerindeki 41 yıllık anlamlı eğilimler (sa/yıl) ..	35
Harita 3.4 Fırtınaların yıllık ortalama dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık anlamlı eğilimler (m/yıl)	37
Harita 3.5 Fırtınaların yıllık ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık anlamlı eğilimler (m/yıl)	39
Harita 3.6 Fırtınaların yıllık maksimum dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık anlamlı eğilimler (m/yıl)	40
Harita 3.7 Yıllık toplam fırtına sayılarındaki 10'ar yıllık anlamlı eğilimler (adet/yıl) .	43
Harita 3.8 Yıllık ortalama fırtına sürelerindeki 10'ar yıllık anlamlı eğilimler (sa/yıl) .	45
Harita 3.9 Yıllık toplam fırtına sürelerindeki 10'ar yıllık anlamlı eğilimler (sa/yıl)	47
Harita 3.10 Yıllık maksimum fırtına sürelerindeki 10'ar yıllık anlamlı eğilimler (sa/yıl)	49
Harita 3.11 Fırtınaların yıllık ortalama dalga yüksekliklerindeki 10'ar yıllık anlamlı eğilimler (m/yıl)	52
Harita 3.12 Fırtınaların yıllık ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 10'ar yıllık anlamlı eğilimler (m/yıl)	53
Harita 3.13 Fırtınaların yıllık maksimum dalga yüksekliklerindeki 10'ar yıllık anlamlı eğilimler (m/yıl)	55
Harita 3.14 Toplam fırtına sayılarındaki 41 yıllık mevsimsel eğilimler (adet/yıl)	57
Harita 3.15 Ortalama fırtına sürelerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilimler (sa/yıl)	63
Harita 3.16 Toplam fırtına sürelerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilimler (sa/yıl)	69
Harita 3.17 Maksimum fırtına sürelerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilimler (sa/yıl)	76
Harita 3.18 Fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilimler (m/yıl)	84
Harita 3.19 Fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilimler (m/yıl)	91
Harita 3.20 Fırtınaların maksimum dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilimler (m/yıl)	99
Harita 3.21 Toplam fırtına sayılarındaki 41 yıllık yönsel eğilimler (adet/yıl)	107
Harita 3.22 Ortalama fırtına sürelerindeki 41 yıllık yönsel eğilimler (sa/yıl)	112
Harita 3.23 Toplam fırtına sürelerindeki 41 yıllık yönsel eğilimler (sa/yıl)	115
Harita 3.24 Maksimum fırtına sürelerindeki 41 yıllık yönsel eğilimler (sa/yıl)	119

Harita 3.25 Fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık yönsel eğilimler (m/yıl)	123
Harita 3.26 Fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık yönsel eğilimler (m/yıl)	127
Harita 3.27 Fırtınaların maksimum dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık yönsel eğilimler (m/yıl)	131



Karadeniz'in Fırtınalılığında Meydana Gelen Uzun Dönemli Değişimlerin İncelenmesi, 1979-2019

Kadir TAHTACI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Berna AYAT AYDOĞAN

Fırtınalar kıyı bölgelerini doğrudan etkileyen oldukça dinamik doğa olaylarıdır. Kıyı bölgelerdeki yapılar, plajlar ve denizcilik faaliyetleri fırtınalar nedeniyle zarar görmekte, bu zararlar sonucu maddi kayıpların yanında can kayıpları da meydana gelmektedir. Devam eden küresel iklim değişikliği fırtına karakteristikleri üzerinde etkili olmaktadır. Fırtınaların geleceğe dönük tahminleri, uzun dönemli veriler kullanılarak yapılabilen, bu sayede kıyı yapılarının tasarımı ve denizcilik faaliyetleri daha güvenli bir hale getirilebilmektedir. Bu çalışmada, Karadeniz kıyıları boyunca 1979-2019 yılları arasındaki deniz fırtınaları belirlenmiştir. Bunun için spektral dalga modelinden elde edilmiş saatlik verilerden oluşan zaman serileri kullanılmıştır. Tekil fırtınaların belirlenmesinde dalga yüksekliğinin ortalama dalga yüksekliğinin iki katını aştığı eşik değeri dikkate alınmıştır. Böylece belirlenen yıllık fırtına sayıları, ortalama, toplam ve maksimum fırtına süreleri, fırtınaların ortalama, ortalama pik ve maksimum dalga yükseklikleri elde edilmiştir. Bu parametrelerdeki uzun dönemli değişimlerin (artış ve azalma eğilimlerinin) belirlenmesi için Theil-Sen yöntemi ve belirlenen eğilimlerin anlamlılık düzeylerinin belirlenmesi için ise Mann-Kendall Testi kullanılmıştır. Analizler fırtınalılığın değişimindeki mevsimselliği ortaya koymak için aylık bazda ve yönsel

farklılıkları belirlemek amacıyla yönsel bazda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ayrıca iklim uzun dönem salınım indekslerinin Karadeniz'in fırtınalılığı ile ilişkileri tespit edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar Karadeniz'in kuzeyindeki Odessa kıyısı ve Kırım Yarımadası'nın batısında fırtına sayılarında 2 adet/on yıl azalma, fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerinde ise 1 cm/on yıl oranında artış olduğunu göstermiştir. Mevsimsel analizler Karadeniz'in batısında yaz sonu ve bahar başlangıcı dönemi (ağustos-ekim) fırtına parametrelerinin tümünde anlamlı artış eğilimi bulunduğunu ortaya koymaktadır. Yönsel analiz sonuçları Karadeniz'in güneyinde bulunan Sinop kıyılarında kuzeybatı yönlü fırtına sayılarının ve batı yönlü fırtına sürelerinin azaldığına, kuzey yönlü fırtınaların dalga yüksekliklerinin ise arttığına işaret etmektedir. Analizlerde dikkate alınan veri setinin uzunluğunun ve fırtına tanımında belirlenen eşik dalga yüksekliği değerinin sonuçlar üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Karadeniz'de oluşan fırtınaların sayıları ve dalga yükseklikleri Karadeniz'in kuzey kıyılarında PNA ve AMO indeksleri ile %95 anlamlılıkta pozitif korelasyonlar göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Fırtına, Karadeniz, eğilim analizi, iklim değişikliği.

Long-Term Variability of the Black Sea Storminess, 1979-2019

Kadir TAHTACI

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Berna AYAT AYDOĞAN

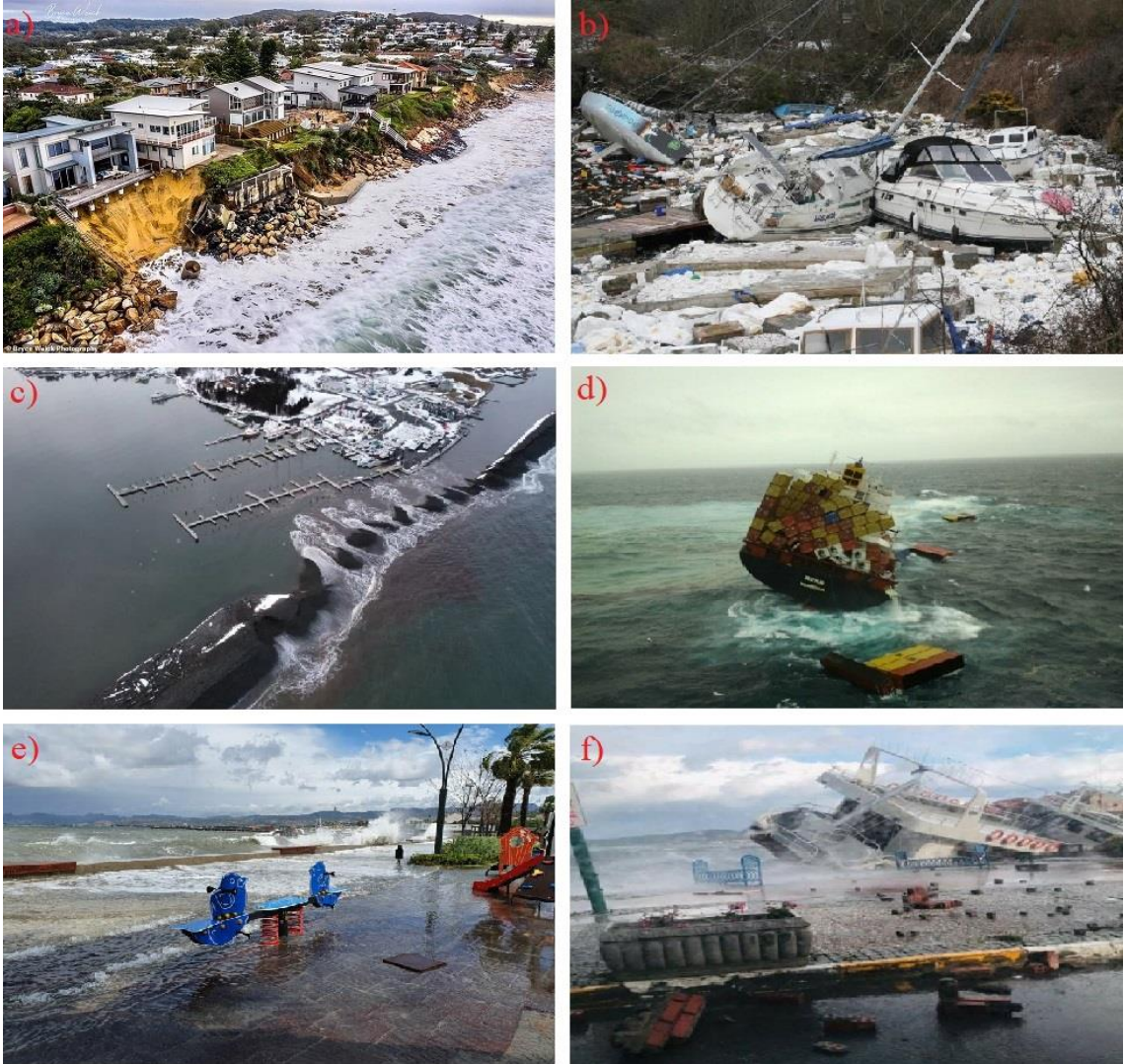
Sea storms are highly dynamic natural phenomenon that directly affect coastal areas. Structures, beaches, and maritime activities in the coastal areas are damaged due to storms, and as a result of these damages, loss of life and property occur. Ongoing global climate change affects storm characteristics. Forecasts of storms can be made using long-term data, so that the design of coastal structures and maritime activities can be made safer. In this study, sea storms between 1979 and 2019 were identified along the Black Sea coast. For this aim, hourly time series obtained from the spectral wave model was used. In determining singular storms, the threshold value at which wave height exceeds twice the average wave height was taken into account. Thus, annual storm numbers, average, total, and maximum storm times, average, average peak and maximum wave heights of storms were obtained. Theil-Sen method was used to determine long-term changes (increase and decrease trends) in these parameters, and the Mann-Kendall test was used to determine the significance levels of the determined trends. Analyses were carried out on a monthly basis to determine the seasonality of storminess in change and on a directional basis to determine directional differences. The study also determined the relationship of climate long-term oscillation indices with the storminess of the Black Sea. The results of the study showed a 2 nr/decade decrease in storm numbers on the coast of

Odessa and the west of the Crimean Peninsula in the north of the Black Sea, and a 1cm/decade increase in the average wave heights of storms. Seasonal analyses revealed that there is a statistically significant upward trend in all storm parameters in the late summer and early spring period (August-October) in the western Black Sea. The results of the directional analysis showed that the number of Northwesterly storms and Westerly storm durations decreasing along the coast of Sinop, which is located at the southern Black Sea, while the wave heights of Northerly storms increasing. It is seen that the length of the data set considered in the analyses, and the threshold wave height value determined in the storm definition affected the results. The number of storms and wave heights in the Black Sea showed positive correlations with a confidence level of 95% or higher with PNA and AMO indices along the northern coastlines of the Black Sea.

Keywords: Storm, Black Sea, trendly analysis, climate change.

1.1 Literatür Özeti

Fırtınalar kıyı bölgelerini doğrudan etkileyen oldukça dinamik doğa olaylarıdır. Kıyı bölgelerdeki yapılar, plajlar ve denizcilik faaliyetleri fırtınalar nedeniyle zarar görmekte, bu zararlar sonucu maddi kayıpların yanında can kayıpları da meydana gelmektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Fırtınaların etkileri (a) Weick (2020), b) Roberts (2019), c) Stanley (2019), d) Harkness (2012), e) Finans Gündem (2021), f) Kalem Gazetesi (2021)

Deniz fırtınaları rüzgârların etkisiyle oluşan doğa olaylarıdır. Fırtınaları ve iklimdeki değişiklikler sonrası fırtına karakteristiklerindeki değişimleri daha iyi anlamak için öncelikle iklimi ve iklimsel değişiklikleri anlamak gerekmektedir. İklimlerin varlığı, Dünya'nın oluşumuna kadar dayanır.

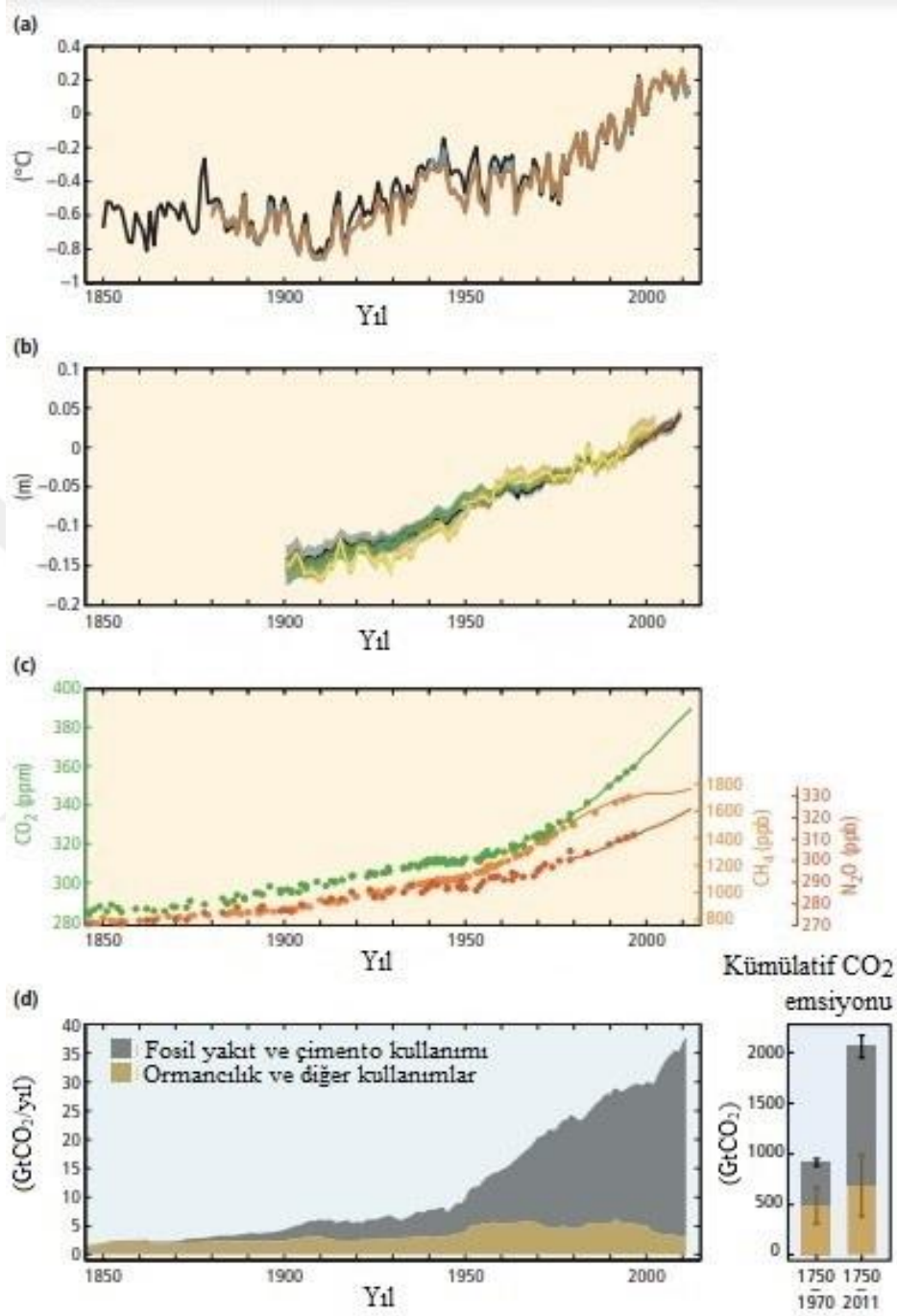
Dünya oluşumunu yaklaşık 4,5 milyon yıl öncesinde tamamlamış ve sonrasında atmosfer ile yeryüzü arasında döngüsel etkileşimler başlamıştır. Yeryüzüne yağan yağmurlar sonucu okyanuslar, denizler ve göller gibi su kütleleri oluşmuş olup, bu su kütleleri sayesinde canlılar sürdürülebilir ve gelişebilir bir yaşam alanı bulmuştur. Okyanuslar ve denizler ile atmosfer arasındaki döngüler iklimlerin oluşumunu sağlamıştır. Zamanla atmosferdeki ve su kütlelerindeki değişimler iklimsel değişiklikleri de beraberinde getirmiştir.

Küresel iklim değişikliğinin var olduğu ve devam eden değişimin nedeninin çoğunlukla insan faaliyetleri olduğu konusunda geniş bir fikir birliği oluşmuştur (IPCC, 2007), (Hansen vd., 2007).

Küresel sıcaklık ve atmosferdeki CO₂ arasında doğrudan bir bağlantı vardır (IPCC, 2007). Özellikle, fosil yakıtların kullanılmaya başlanması, çimento üretiminin artması ve arazi kullanımının değişmesi sonrası, atmosferdeki küresel karbondioksit konsantrasyonu sanayi devrimi öncesi yaklaşık milyonda 280 parça (ppm) değerindeyken, 2006 yılında yapılan çalışmada bu değer 385 ppm'ye yükseldiği görülmüştür (MacFarling Meure vd., 2006).

İklim sistemi üzerindeki insan etkisi giderek artmakta ve bu nedenle sera gazlarının son dönemdeki antropojenik emisyonları tarihteki en yüksek emisyon değerlerini göstermektedir (IPCC, 2014). Son iklim değişikliklerinin insanlar ve doğal sistemler üzerinde yaygın etkileri olmuştur (IPCC, 2014). Atmosfer ve okyanuslar ısınmış, karlar ve buzlar erimiş, bunun sonucunda deniz seviyesi yükselmiştir. 1983'ten 2012'ye kadar olan dönem, Kuzey yarımkürede son 1400 yılın en sıcak 30 yıllık dönemidir (IPCC, 2014). Doğrusal bir eğilim ile hesaplanan küresel ortalama kombine kara ve okyanus yüzey sıcaklığı verileri, bağımsız olarak üretilen çok sayıda veri kümesinin bulunduğu 1880 ila 2012 dönemi boyunca 0,85 (0,65 ila 1,06) °C'lik bir ısınma göstermektedir (IPCC, 2014). Şekil 1.2'de Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 2014 raporunda belirtilen, küresel kara ve okyanus yüzey sıcaklıklarındaki değişim, küresel

deniz seviyesindeki değişim, küresel ortalama sera gazı konsantrasyonları ve küresel antropojenik CO₂ emisyonları gösterilmiştir.



Şekil 1.2 (IPCC, 2014) (a) Küresel kara ve okyanus yüzey sıcaklıklarındaki değişim,

b) Küresel deniz seviyesindeki değişim,

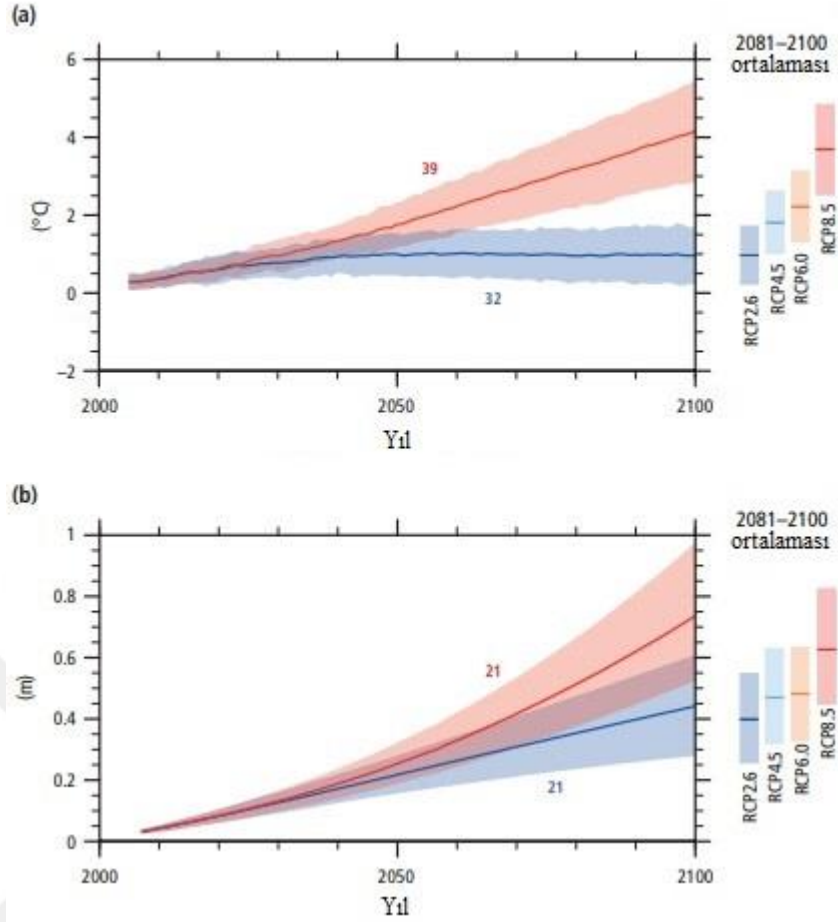
c) Küresel ortalama sera gazı konsantrasyonları,

d) Küresel antropojenik CO₂ emisyonları

Küresel sıcaklığın, 21. yüzyıl için değerlendirilen tüm emisyon senaryoları altında yükseleceği, okyanusların ısınmaya ve asitlenmeye devam edeceği, küresel ortalama deniz seviyesinin yükselme eğiliminin süreceği tahmin edilmektedir (IPCC, 2014).

IPCC (2014), gelecekteki iklimin, geçmişteki antropojenik emisyonların neden olduğu kararlı ısınmanın yanı sıra gelecekteki antropojenik emisyonlara ve doğal iklim değişkenliğine bağlı olacağını bildirmiştir. IPCC iklim değişikliğini değerlendirirken, gelecekteki emisyon değişimleriyle ilgili Temsili Konsantrasyon Rotası (RCP) adını verdiği çeşitli senaryolar üretmektedir. IPCC (2014)'e göre, 2016-2035 dönemi için 1986-2005 dönemine göre küresel ortalama yüzey sıcaklığı değişiminin, dört RCP senaryosu için benzer ve tahminen 0,3°C ila 0,7°C aralığında olacağı ifade edilmiş olup, bu aralık belirlenirken, büyük volkanik patlamalar olmayacağı, bazı doğal kaynaklarda (örneğin, Metan (CH₄) ve Azot Protoksit (N₂O)) ve toplam güneş ışınlamada beklenmedik değişiklikler görülmeceği varsayılmıştır. 21. yüzyılın sonunda (2081-2100) 1986-2005'e göre küresel ortalama yüzey sıcaklığının RCP2.6 için 0,3°C ila 1,7°C, RCP4.5 için 1,1°C ila 2,6°C, RCP6.0 için 1,4°C ila 3,1°C ve RCP8.5 için 2,6°C ila 4,8°C arasında olması muhtemel görülmektedir (IPCC, 2014).

IPCC (2014), raporuna göre çeşitli RCP senaryoları altında, küresel ortalama yüzey sıcaklığı değişimi (1986-2005'e göre) ve küresel ortalama deniz seviyesi artışı (1986-2005'e göre) Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3 (IPCC, 2014) (a) Küresel ortalama yüzey sıcaklığı değişimi (1986-2005'e göre),

b) Küresel ortalama deniz seviyesi artışı (1986-2005'e göre)

Küresel iklim değişikliği fırtına karakteristikleri üzerinde etkili olup, bu değişiklikler sonrası oluşan fırtınaların, insanların yaşam alanlarındaki etkileri artış göstermektedir. Lin ve Shullman (2017), New York kıyıları için taşkın risk analizi yapmış ve sonuç olarak, nüfustaki artışın ve kıyı bölgesindeki gelişimin gelecekteki sel riski üzerindeki etkisinin New York için göreceli olarak küçük olacağını, fakat deniz seviyesindeki artışın hasar riskini önemli ölçüde artıracığını, ayrıca fırtına iklimindeki değişimin de risk ve belirsizliği artırabileceğini bildirmişlerdir. Karim ve Mimura (2008), iklim değişikliğinin neden olduğu deniz yüzeyindeki sıcaklık artışının ve deniz seviyesindeki yükselişin Bangladeş'in batı bölgesindeki fırtına ve sel olayları üzerindeki etkilerini araştırmış ve sonuç olarak, 2°C deniz yüzey sıcaklığı ve 0,3 m deniz seviyesi artışı sonrası oluşacak bir fırtına için, sel risk alanının mevcut risk alanından %15,3 daha büyük olacağını ve taşkın derinliğinin kıyı şeridinden 20 km içerideki bölge için %22,7 kadar artacağını bulmuşlardır. İklimdeki değişimlerin Karadeniz kıyılarında da etkileri olmuştur. Görmüş

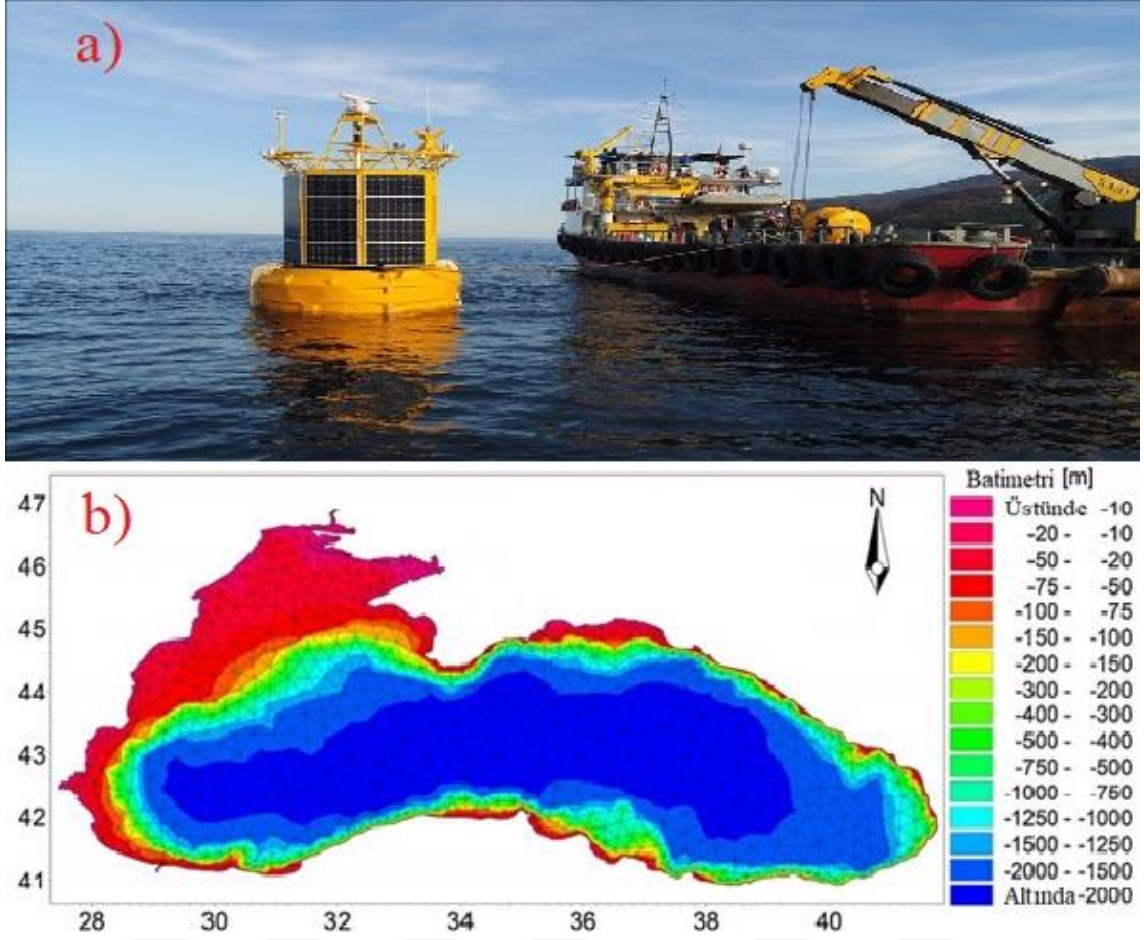
ve Ayat (2020), Karadeniz'in güneybatı kıyılarında kırıl nlık analizi yapmış ve sonuç olarak Güneybatı Karadeniz'in iklim değişikliğine karşı hassas bir bölge olduğunu belirtmişlerdir. T tui vd. (2019), Karadeniz kıyılarında 33 yıllık dönem için (1984-2017) yaptıkları kırıl nlık analizi sonucu, Karadeniz kıyılarının %19'unun (800 km kıyı şeridi) erozyondan ciddi derecede etkilendiğini ve bu alanların çoğunlukla Romanya (%37), Ukrayna (%29) ve Gürcistan (%26) kıyılarında bulunduğunu göstermişlerdir.

Değişen iklim koşulları sonrası artan fırtınalar nedeniyle oluşan can kayıplarının da artması beklenmektedir. Pugatch (2019), Meksika'da yaptığı çalışmada tropikal fırtına sıklığının ve şiddetinin ölümlülük üzerindeki etkisini, objektif meteorolojik verileri ve istatistiksel kayıtları kullanarak, devam eden iklim değişikliğinin çeşitli senaryoları altında, geçmişteki fırtınalara bağlı ölüm oranlarındaki değişiklikleri tahmin etmiş ve fırtınalarla ilişkili ölümlerin, iklim değişikliği senaryolarının çoğunda, artan fırtına şiddeti ile azalan frekans arasındaki etkileşime bağlı olarak, %52'ye kadar bir artış veya %10'a kadar düşüş gösterebileceğini belirtmiştir.

Denizcilik faaliyetleri iklimsel değişimlerden olumsuz etkilenmektedir. Rata ve Rusu (2018), 2001-2017 yılları arasında Karadeniz'de oluşan kazaları incelemiş olup, kaza sayılarının son yıllarda artış eğilimi gösterdiğini, kazaların çoğunlukla sonbahar-kış döneminde görüldüğünü ve çoğunlukla rüzgâr dalgaları nedeniyle meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Var olan bu tehditler karşısında fırtına iklimini anlama ve geleceğe dair tahminlerde bulunma açısından fırtınalara ilişkin istatistiksel çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Fırtınalarla ilgili istatistiksel çalışmalarda dalga yüksekliği kavramı çok önemli bir etkindir. Dalga yüksekliği verileri, ölçüm aletleri (şamandıra, radar vb.), ampirik yöntemler (formüller, abaklar), fiziksel modellemeler ve spektral dalga modellemeleriyle elde edilebilir (şekil 1.4).



Şekil 1.4 a) İçinde dalgaölçer bulunan şamandıra (AA, 2019), b) Spektral dalga modeli hesap ağı (Aydoğan ve Ayat, 2018)

Şamandıra ölçümleri, şamandıraların çevresel etkilere açık olmaları ve kolayca hasar görmeleri, batarya sorunları yaşamaları, maliyetlerinin yüksek, sayılarının az olması ve tüm bunlardan dolayı ölçümlerin sürekli ve uzun süreli olmamasından dolayı çoğu bölge için veri seti elde etmeye yeterli değildir. Spektral dalga modelleriyse, rüzgâr, derinlik, akıntı gibi çeşitli verilerin girdi olarak kullanılmasıyla ve matematiksel ifadelerin çözümü ile dalga verileri üretmektedir. Fakat gerçek deniz koşullarındaki tüm etkenlerin sayısal ifadelerle yansıtılmasındaki yaklaşımlardaki kısıtlamalar ve belirsizlikler nedeniyle bu yöntemle elde edilen verilerin mutlaka belli bir zaman süresince ölçülmüş ölçüm verileriyle karşılaştırılarak doğrulanması gerekir. Bu genişletilmiş veri setleri, deniz yapılarının tasarımı ve planlanması, kıyı erozyonu ve rehabilitasyon çalışmaları için daha güvenilir tasarım dalga yükseklikleri belirlenebilmesine yardımcı olmasının yanı sıra, gelecekteki dalga ikliminin daha iyi bir tahminini sağlamak için dalga özelliklerinin uzun dönemli değişimlerinin değerlendirilebilmesine imkân sağlamaktadır.

Vanem ve Bitner-Gregersen (2012), dalga iklimindeki uzun dönemde gözlenen eğilimlerin ihmal edilebilir olmadığını, ayrıca yüzen yapılar için yapılacak tasarım hesaplamaları üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini bildirmişlerdir.

Belirgin dalga yüksekliklerinin uzun vadeli eğilimlerinin tahmini için farklı parametrik ve parametrik olmayan yöntemler mevcuttur. Vanem ve Walker (2013), mevsimsel Otomatik Regresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modelleme, çoklu doğrusal regresyon modelleme, Theil-Sen tahmini ve Genelleştirilmiş Katkı Modeli (GAM) dahil olmak üzere dört farklı yöntem kullanarak okyanus dalga iklimindeki eğilimleri incelemiş ve bu farklı yöntemlerden elde ettikleri eğilim değerlerinin benzer sonuçlara sahip olduklarını bildirmişlerdir. Vanem, Huseby ve Natvig (2012), belirgin dalga yüksekliklerinin uzamsal ve zamansal değişkenliğini değerlendirmek için bir Bayes hiyerarşik modelini önermişlerdir.

Bilimsel araştırmalarda fırtınalar için ortak bir matematiksel tanım bulunmamaktadır. Fırtına olaylarının tanımı, rüzgâr hızı, dalga yüksekliği ve süre gibi parametreler aracılığıyla eşik değerler kullanılarak yapılırken, deniz dalgaları kullanılarak belirlenen fırtınalardaki dalga eşik değerleri, geçmişte yapılan çalışmaların bulundukları bölgedeki deniz şartlarına göre farklılıklar göstermiştir.

Laface, Arena ve Guedes Soares (2015), Atlas Okyanusu, Pasifik Okyanusu ve Akdeniz'deki fırtınaları incelemek amacıyla yaptıkları karşılaştırmalı çalışma için fırtına tanımında dalga eşik değeri olarak, ortalama dalga yüksekliğinin (H_{ort}) 1,5 katını seçmiş fakat bu değer ortalama dalga yüksekliğinin iki veya üç katı olarak seçilmesinin yanlış olmadığını belirtmişlerdir.

Geçmişte fırtınalar ile ilgili yapılan araştırmalar ve bu araştırmalarda kullanılan veya sonuç olarak elde edilen dalga eşik değerleri Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.1 Geçmişte fırtınalar ile ilgili yapılan araştırmalarda kullanılan veya sonuç olarak bulunan dalga eşik değerleri

Araştırmacılar	Çalışma Alanı	Dalga eşik değeri (m)
Haerens, Bolle, Trouw ve Houthuys (2012)	Belçika	3,75
Del Río, Plomaritis, Benavente, Valladares ve Ribera (2012)	İspanya (Atlas Okyanusu)	1,5
Corbella ve Stretch (2013)	Güney Afrika	3,5
Ferreira (2005)	Portekiz	6
Molina, Manno, Lo Re, Anfuso ve Ciraolo (2019)	İspanya (Akdeniz)	1,5
Contento, Lupieri, Venturi ve Ciuffardi (2011)	Orta ve Batı Akdeniz	4
Ponce de León ve Guedes Soares (2015)	Kuzey yarımküre	9
Almeida, Ferreira, Vousedoukas ve Dodet (2011)	Portekiz	3
Zăinescu, Tătu, Valchev ve Vespremeanu-Stroe (2017)	Romanya	1,6
Lafage vd. (2015)	Atlas Okyanusu, Pasifik Okyanusu, Akdeniz	1,5 H_{ort}

Geçmişte yapılan iklimsel çalışmalara bakıldığında çoğunlukla rüzgâr hızları ve dalga yüksekliklerindeki değişimlere odaklanıldığı gözükmemektedir. Dodet, Bertin ve Taborda (2010), Atlantik Okyanusu'nun kuzeydoğusunda (25° Batı–0° meridyenleri ve 30° Kuzey–60° Kuzey paralelleri arasında) yaptıkları çalışmada dalga iklimindeki değişimleri araştırmışlardır. Dodet vd. (2010), yeniden analiz rüzgâr alanları ile desteklenen 0,5° çözünürlüğe sahip bir spektral dalga modeli kullanarak 57 yıllık bir veri seti (1953-2009) elde etmişlerdir. Dodet vd. (2010), kuzeyden (55° Kuzey) güney (35° Kuzey) enlemlere doğru gidildikçe, belirgin dalga yüksekliğinin (H_s) yaklaşık %40 oranında azaldığını, ortalama dalga yönünün saat yönünde yaklaşık %25 oranında döndüğünü ve pik periyodun (T_p) sadece %5 oranında büyüdüğünü tespit etmişlerdir. Dodet vd. (2010), inceledikleri dönem boyunca yaptıkları eğilim analizinde, kuzey enlemlerde H_s 'te anlamlı bir artışı (0,02 m/yıla kadar) ve ortalama dalga yönünün saat

yönünün tersine kaydığını ($0,1^\circ/\text{yıla}$ kadar), güney enlemlerde ise H_s için bir değişim eğilimi görülmezken, ortalama dalga yönünün saat yönünde kaydığını ($0,15^\circ/\text{yıla}$ kadar) gözlemlemişlerdir.

Weisse ve Günther (2007), bölgesel ve küresel ölçekte iklimsel değerlendirmeler yapabilmek için çalışma alanına ait zamansal ve uzamsal homojen zaman serileri gerektiğini belirtmişlerdir. Weisse ve Günther (2007), Kuzey Denizi'nde 1958–2002 yılları arasında oluşan ekstrem dalga koşullarını, bölgesel modelin geçmiş tahmininden elde edilen bir yeniden analizi kullanarak araştırmış olup, kullandıkları modeldeki rüzgâr verilerini, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Çevresel Tahmin Merkezi'nden (NCEP/NCAR) zamansal olarak saatlik, uzamsal olarak $50 \times 50 \text{ km}$ 'lik bir çözünürlükle temin etmiş ve Norveç Meteoroloji Enstitüsü tarafından gözlenen deniz buzul koşullarını da simülasyonda hesaba katmışlardır. Weisse ve Günther (2007), Kuzey Denizi'nin güneyindeki çoğu bölgede simülasyon döneminin başlangıcından (1958) bu yana ekstrem yüksekliğe sahip dalgaların sayısının arttığını, ancak artışın daha sonra azaldığını ve yaklaşık olarak 1985 yılı civarında dengelendiğini, son birkaç yılda ekstrem yüksekliğe sahip dalgaların yoğunluk ve sürelerinin azaldığını belirtmişlerdir.

Zheng, Pan ve Li (2016), Çapraz Kalibre Edilmiş, Çok Platformlu (CCMP) rüzgâr verilerini kullanarak 1988-2011 dönemi için küresel okyanus deniz yüzey rüzgâr hızının iklimsel değişimlerini bölgesel ve mevsimsel olarak araştırmışlardır. Zheng vd. (2016), 6 sa'lık zamansal, $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ uzamsal çözünürlüğe sahip bir model kullanmış ve sonuç olarak, denizden 10 m yüksekteki rüzgâr hızının (U_{10}) küresel okyanus deniz yüzeyi üzerindeki değerinin 1988-2011 dönemi için $3,35 \text{ cm/sn/yıl}$ oranında arttığını, 1991-2007 yılları arasında $4,15 \text{ cm/sn/yıl}$ oranında maksimum artış oranına ulaştığını ve uzun dönemli eğilim değerlerinin istatistiksel olarak anlamlılık gösterdiğini bildirmişlerdir. Zheng vd. (2016), ayrıca deniz yüzeyindeki rüzgâr hızlarındaki değişimin, gözle görülür mevsimsel farklılıklar gösterdiğini belirtmişlerdir.

Caires ve Sterl (2005), rüzgâr hızı ve belirgin dalga yüksekliğinin 100 yıllık geri dönüş değerleri için küresel tahminleri sunmuşlardır. Caires ve Sterl (2005), Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi'nden (ECMWF) alınan 40 yıllık yeniden analiz (ERA-40) verilerini kullanmış olup, bu verileri şamandıra verilerine dayalı tahminleri kullanarak doğrusal olarak düzeltmiş ve bu düzeltmeyi küresel Topografik Okyanus Deneyi (TOPEX) altimetre veri tahminleriyle desteklemişlerdir. Caires ve Sterl (2005), H_s ve U_{10} verileri için, tüm dünyayı kapsayan $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ uzamsal, 6 sa'lık zamansal çözünürlüğe

sahip bir model kullanmış ve verileri değerlendirmek için Eşik Üstü Pikler (EÜP) yöntemine başvurmuşlardır. Caires ve Sterl (2005), çalışma sonuçlarının, 1971 ve 2000 yılları arasında U_{10} için 6 cm/sn/yıl oranına ulaşan bir artış eğilimi gösterdiğini bildirmişlerdir.

Haerens vd. (2012), Belçika kıyılarında fırtına eşiği belirlemek için yaptıkları araştırmada, eşik dalga yüksekliğini 3,75 m olarak seçmiş ve 1983 ve 2007 yılları arasında 3,75 m'yi geçen dalgaları fırtına kabul edip bu seviyeyi geçen 42 adet fırtına üzerinde çalışma yapmışlardır. Haerens vd. (2012), tarafından Belçika kıyı şeridi boyunca ve Kuzey Denizi'nde kurdukları ölçüm sistemi, hidro-meteorolojik sensörler ile donatılmış ölçüm kazıkları ve dalga veri şamandıralarından oluşmuş olup, dalga parametreleri (dalga yüksekliği, dalga yönü, dalga periyodu, dalga enerjisi), su seviyeleri ve rüzgâr parametreleri (rüzgâr hızı, rüzgâr yönü) hakkında veri sağlamıştır. Haerens vd. (2012), sonuç olarak, erozyon etkisi en yüksek olan beş kış mevsimine (1984, 1987, 1990, 1994 ve 1995) dayanarak, Belçika kıyılarının çoğu bölgesi için morfolojik etkiye neden olabilecek bireysel bir fırtınanın karakterize edilmesi gerektiğini belirtmiş ve karakterize edilen fırtınayı; 4 m'den yüksek maksimum belirgin dalga yüksekliğine, 5 m'nin üzerindeki maksimum su seviyesine, 12 sa'dan uzun fırtına süresine, $6,5 \times 10^5 \text{ J/m}^2$ 'nin üzerinde indüklenmiş bir dalga enerjisine ve batı ile kuzeybatı arasından gelen rüzgâr yönüne sahip fırtınalar olarak belirlemişlerdir.

Del Río vd. (2012), İspanya'nın Atlas Okyanusu kıyılarında yer alan Cadiz Körfezi'nde fırtına etkileri için kritik eşikler tanımlamayı amaçlamış ve yaptıkları araştırmada zamansal olarak 3 sa'lık çözünürlüğe sahip rüzgâr, deniz seviyesi ve dalga verilerini, 1958-2001 yılları arası 44 yıllık geçmişe dönük tahmin verilerinden oluşan Avrupa'nın Okyanus ve Kıyı Bölgelerinin Dinamik Süreçlerinin Yeniden Tahmini (HIPOCAS) projesi veri setinden temin etmiş ve model sonuçlarını 1945-2005 arası yerel gazetelerdeki fırtına hasarlarıyla alakalı haberlerle karşılaştırmışlardır. Del Río vd. (2012), fırtına tanımında dalga eşik değeri olarak hem Cadiz hem de Huelva kıyılarında Bayındırlık Bakanlığı'nın belirlediği 1,5 m'yi kullanmışlardır. Del Río vd. (2012)'nin yüksek gelgit koşullarında sahildeki morfolojik değişiklikleri göz önünde bulundurarak elde ettikleri eşik değerleri, sahil özelliklerine bağlı olarak 1,5 ile 3,7 m arasında değişirken, eşik değerini kumul erozyonu için yaklaşık 3,3 ila 3,7 m arasında, altyapı hasarı için ise yaklaşık 7,2 m olarak belirlemiş ve sonuç olarak fırtına süresinin, bölgesel

Çalışma alanında kıyı hasarı oluşumunu belirlemek için kritik bir parametre olmadığını bulmuşlardır.

Corbella ve Stretch (2013), Güney Afrika'nın doğu kıyısında oluşan deniz fırtınaları üzerinde yaptıkları çalışmada, erozyona sebebiyetindeki ilişkisinden dolayı fırtına olayını 3,5 m'yi geçen dalga yükseklikleri olarak tanımlamış olup, her fırtınanın, dalga yüksekliğinin 3,5 m'yi aştığında başladığını, 3,5 m'nin altına düştüğünde bittiğini ve en az iki hafta boyunca sürdüğünü varsaymışlardır. Corbella ve Stretch (2013), her bir fırtınadaki dalga yüksekliklerini, dalga periyotlarını, fırtınaların sürelerini, deniz su seviyesini ve fırtınalar arası geçen süreleri belirlemiş ve aralarındaki ilişkileri incelemiş olup, sonuçların karşılaştırma ölçütü olarak Kendall'ın tau korelasyon katsayısını kullanmışlardır. Corbella ve Stretch (2013), sonuç olarak, dalga yüksekliği, dalga periyodu ve fırtına süresinin önemli ölçüde ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Ferreira (2005), Atlas Okyanusu'nun Portekiz kıyılarının kuzeybatısında yaptığı çalışmada, tekil fırtınaların etkileriyle ortalama fırtına gruplarının kümülatif etkilerini karşılaştırmıştır. Ferreira (2005), dikkate aldığı fırtınaların erozyona neden olduğunu garanti altına almak için 6 m'ye eşit veya daha yüksek olan dalga yüksekliklerini fırtına olarak kabul etmiş ve sonuç olarak, göreceli olarak küçük periyotlara sahip fırtına gruplarının, çok daha uzun periyotlara sahip tekil fırtınalar kadar erozyon hacimlerine neden olduğunu belirlemiştir.

Molina vd. (2019), 1979–2014 dönemi için İşpanya'nın Akdeniz kıyılarındaki dalga iklimi ve fırtına özelliklerini enerji bakımından incelemiş, araştırmada kullandıkları dalga verilerini bu bölgedeki dört konum için ECMWF'den temin etmiştir. Molina vd. (2019), fırtına tanımı için eşik dalga yüksekliği olarak (Boccotti tarafından verilen Akdeniz fırtınası tanımına uyarak) İşpanya'da bakanlıkça önerilen değer olan 1,5 m'yi seçmiş ve 2961 fırtına üzerinde çalışmış, sonuç olarak fırtınaları enerjilerine göre beş sınıfa ayırmış ve her konumdaki fırtınaların enerji, sayı ve süre açısından birbirinden farklı davranışlar gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Ponce de Len ve Guedes Soares (2015), Kuzey yarımküre ekstrapikal siklonların merkezi etrafında nadiren oluşan ekstrem dalgaların parametrelerindeki değişkenliği incelemişlerdir. Ponce de Len ve Guedes Soares (2015), verileri Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi'nin (NOAA) İklım Tahmin Sistemi Yeniden Analizi (CFSR) rüzgâr alanları tarafından desteklenen dalga modeli WAVE Model (WAM) ile gerçekleştirilen

bir yeniden tahminden elde etmiş olup, kullandıkları model konfigürasyonu neredeyse tüm Kuzey Atlantik Okyanusu'nu (18° Kuzey- 80° Kuzey, 90° Batı- 30° Doğu) $0,25^{\circ}$ lik bir uzamsal çözünürlükte kapsamıştır. Ponce de León ve Guedes Soares (2015)'in Ocak 1979 ile Aralık 2010 arasındaki dönemi için kullandıkları veri seti zamansal olarak saatlik, uzamsal olarak $0,31^{\circ}$ lik bir çözünürlüğe sahip olup, yaptıkları çalışmada fırtına dalga yüksekliği eşik değerini 9 m olarak kabul etmişlerdir. Ponce de León ve Guedes Soares (2015), tarafından farklı dalga parametrelerinin değişkenliği, geçmiş veriler üzerinde Ampirik Ortogonal Fonksiyonlar (AOF) tekniği uygulanarak değerlendirilmiş, geçmişe dönük sonuçlar, dalga şamandıraları ve uydu altimetri verileriyle karşılaştırılarak doğrulanmış ve iyi bir korelasyon elde edilmiştir.

Dünya üzerinde fırtına karakteristiklerine ilişkin kısıtlı sayıda çalışma yapılmış olup, yapılan iklimsel çalışmalarda da tespitler dışında anlamlı istatistiksel sonuçlar elde edilememiştir. Almeida vd. (2011), 1952-2009 dönemi için dalga verisi olarak ölçüm şamandıralarından ve yeniden tahmin modelinden elde edilen verileri kullanarak Güney Portekiz kıyılarının fırtına iklimindeki değişimleri araştırmışlardır. Almeida vd. (2011), yaptıkları analizde çeşitli fırtına parametrelerini (yıllık fırtına sayısı, fırtınalı yıllık gün sayısı, yıllık maksimum fırtına süresi, yıllık ortalama fırtına süresi ve belirgin dalga yüksekliğinin yıllık 99,8. yüzdeliği) kullanmış olup, fırtınaların zamansal eğilimlerini, fırtına parametrelerinin değişkenliğini, fırtına parametrelerinin birbirleriyle ilişkilerini ve fırtınaların Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) ile ilişkisini incelemişlerdir. Almeida vd. (2011), veri seti elde etmek için, Mayıs 1995'ten Aralık 2009'a kadar olan dönemi kapsayan verileri tek yönlü dalga şamandıra ölçümlerinden, Ocak 1952'den Şubat 1994'e kadar olan dönem için verileri daha önce uygulanan bölgesel bir modelden temin etmiş olup, farklı şekilde toplanan bu iki grup veriyi birleştirmiş ve Ocak 1952'den Aralık 2009'a kadar 57 yıllık süreyi kapsayan bir veri seti oluşturmuşlardır. Almeida vd. (2011), bu bölge için fırtına eşiği olarak 14 yıllık ölçümlerin ortalama H_s 'ine tekabül eden, ayrıca veri setinin standart sapmasının iki katı olan 3 m dalga yüksekliğini belirlemiş ve bir fırtına olarak kabul edilebilecek minimum süreyi de 3 sa olarak seçmişlerdir. Almeida vd. (2011), Kuzey Atlantik'te fırtına sürelerinin genellikle 14 sa ile 144 sa arasında değişmekte olduğunu tespit etmiş ve sonuç olarak ilgili dönem boyunca fırtına parametrelerinin hiçbirinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış veya azalma bulamamışlardır.

Daha önceki çalışmalarda Karadeniz'in rüzgâr ve dalga iklimi araştırılmıştır. Dalga ölçümlerinin kısa zaman sürelerine sahip olması ve uzamsal olarak ölçüm yapılan konum sayısının kısıtlı olmasından dolayı, dalga iklimini araştırmak için en yaygın kullanılan metodolojinin, üçüncü nesil spektral dalga modellerinden elde edilen yeniden tahmin dalga verilerinin analizi olduğu belirtilmiştir. Karadeniz'deki dalgaları modellemek için kullanılan spektral dalga modelleri; WAM (Group, 1988), Yakın Kıyı Simülasyonu (SWAN) (Booij, Ris ve Holthuijsen, 1999), WavewatchIII (Tolman, 1992) ve Mike21 SW'dir. Divinsky ve Kosyan (2017), Mike 21 SW modelini kullanarak Karadeniz'de 1979'dan 2015'e kadar olan zaman aralığındaki iklimsel değişimi incelemiş ve dalga gücünün Karadeniz'deki uzamsal dağılımının homojen olmadığını belirlemiştir.

Akpınar ve Bingölbalı (2016), 1979 ve 2009 yılları arasını kapsayan 31 yıl için $0,3125^{\circ}$ uzamsal çözünürlüğe sahip CFSR rüzgâr alanlarıyla desteklenen, üçüncü nesil dalga modeli olan SWAN spektral dalga modeli kullanarak Karadeniz'in kıyı bölgelerindeki rüzgâr ve dalga koşullarının uzun dönemli değişimlerini incelemişlerdir. Akpınar ve Bingölbalı (2016), belirgin dalga yüksekliklerindeki değişimleri analiz etmek için kıyılara yakın, 44-1445 m arasında değişen su derinliklerine sahip 33 farklı konum seçmiş ve kış aylarında daha yüksek rüzgâr hızlarının, yaz aylarındaysa daha düşük rüzgâr hızlarının olduğunu belirlemişlerdir. Akpınar ve Bingölbalı (2016), U_{10} 'un, Karadeniz'in Güneydoğu kıyıları ve Kırım Yarımadası çevresinde sırasıyla 0,398 cm/sn/yıl—0,813 cm/sn/yıl ve 0,902 cm/sn/yıl—1,337 cm/sn/yıl aralıklarında istatistiksel olarak anlamlı artış eğilimine sahip olduğunu bildirmiş ve yıllık ortalama belirgin dalga yükseklikleri için 33 konum içinde sadece bir konumda artış eğilimi bulurken, dört konumda azalma eğilimi bulmuşlardır. Akpınar ve Bingölbalı (2016), yıllık maksimum belirgin dalga yükseklikleri için hiçbir eğilim belirleyememiş ve sonuç olarak, Karadeniz'deki belirgin dalga yüksekliklerinin uzun dönemli eğilimlerinin uzamsal değişkenliği hakkında kapsamlı bir çalışma yapılmasının hala gerekli olduğunu belirtmişlerdir.

Rusu, Raileanu ve Onea (2018), Karadeniz'de gemilerin rotaları boyunca rüzgâr ve dalga ikliminin karşılaştırmalı bir analizini yapmış ve 23 yılı (1987-2009) kapsayan analizde rüzgâr koşulları için NCEP-CFSR tarafından sağlanan yeniden analiz verileri ve Avrupa Etki Alanı Koordineli Bölgesel İklim Küçültme Deneyi'nden (EURO-CORDEX) temin edilen Bölgesel İklim Modeli (RCM) tarafından verilen yeniden tahmin sonuçları olmak üzere iki farklı veri seti kullanmışlardır. Rusu vd. (2018), dalgalar için, bu iki farklı rüzgâr verileriyle desteklenen SWAN modeli kullanılarak yapılan simülasyonlardan gelen

sonuçları dikkate almış ve sonuç olarak, kıyılardan uzak alanların hem rüzgâr hem de dalgalar için iki veri seti arasındaki en iyi korelasyonu gösterdiğini açıklamışlardır. Rusu vd. (2018), kıyıya yakın alanlarla ilgili olarak, Karadeniz'in güney kesiminde yer alan konumlar haricinde, farklı veri setleri tarafından elde edilen rüzgâr verilerinin ortalama değerleri arasında iyi bir uyum olduğunu, ayrıca RCM tarafından temin edilen rüzgâr verilerinin ve rüzgâr verileriyle desteklenen dalga modelinin, Karadeniz gibi karmaşık bir deniz ortamının özelliklerini ne kadar iyi temsil edebileceğine dair kapsamlı bir örnek verdiklerini belirtmişlerdir.

Ganea, Mereuta ve Rusu (2019), Avrupa'daki denizlerin kıyıları boyunca rüzgâr ve dalga koşullarını analiz etmişlerdir. Ganea vd. (2019), altı tanesi Karadeniz sahil şeridinde bulunan 40 farklı konum için 35 yıllık veri setini (1983-2017) 1 Ocak 1979 ile 31 Ağustos 2019 tarihleri arasında kullanılabilen küresel bir atmosferik yeniden analiz olan Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi Geçici Yeniden Analizi'nden (ECMWF ERA-Interim) $0,75^{\circ} \times 0,75^{\circ}$ uzamsal çözünürlükle temin etmiş olup, bu konumlarda U_{10} 'daki zamansal değişimleri incelemiş ve sonuç olarak, Kuzeybatı Karadeniz'deki U_{10} 'da 1 cm/sn/on yıl oranında istatistiksel olarak anlamlı bir azalma eğilimi bulmuşlardır.

Çarpar, Ayat ve Aydoğan (2019), 1979 ve 2016 yılları arasını kapsayan 37 yıllık dönem için Karadeniz'de oluşan rüzgâr hızlarının uzamsal ve mevsimsel değişkenliklerini iki yeniden analiz verisi kullanarak karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır. Çarpar vd. (2019), çalışma alanı olarak 40° - 48° Kuzey enlemleri ve 26° - 42° Doğu boylamları arasında bulunan Karadeniz ve Azak Denizi'ni seçmişlerdir. Çarpar vd. (2019), rüzgâr verilerini ERA-Interim'den, $0,7^{\circ} \times 0,7^{\circ}$ (~ 80 km) uzamsal ve 6 sa'lık bir zamansal çözünürlükle, CFSR'den, $0,312^{\circ} \times 0,312^{\circ}$ (~ 38 km) uzamsal ve 6 sa'lık bir zamansal çözünürlükle temin etmiş olup, her iki yeniden analiz verisini de $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ çözünürlükle çalışma alanına enterpole etmişlerdir. Çarpar vd. (2019), Karadeniz üzerindeki eğilimleri ve anlamlılıkları bulmak için parametrik olmayan Mann-Kendall analizi ve Theil-Sen yöntemini kullanmışlardır. Çarpar vd. (2019), kullandıkları ERA-Interim, yıllık ortalama rüzgâr hızlarının Azak Denizi'nde $\%0,17/\text{yıl}$ ile $\%0,20/\text{yıl}$ arası kadar bir azalma eğilime sahip olduğunu, Karadeniz'in doğu kesiminde ise $\%0,35/\text{yıl}$ ile $\%0,38/\text{yıl}$ arası kadar bir artış eğilime sahip olduğunu göstermiş ve sonuç olarak, rüzgâr hızlarının Karadeniz yüzey alanının $\%28$ ile $\%36$ 'sı üzerindeki kesim için arttığını, yüzey alanının $\%2$ ile $\%4$ 'ü üzerindeki kesim için ise azaldığını belirtmişlerdir.

Valchev, Trifonova ve Andreeva (2012), rüzgâr ve dalga eşik değerleri kullanarak tanımladıkları fırtınaların 1948 ve 2010 yılları arasını kapsayan 63 yıl için Batı Karadeniz'deki değişimlerini incelemişlerdir. Valchev vd. (2012), model alanı olarak 27,5° Doğu – 28,5° Doğu ve 41,4° Kuzey – 43,4° Kuzey arasındaki alanı seçerken, veri seti olarak küresel yeniden analiz verileri kullanmışlardır. Valchev vd. (2012), dalga koşullarını, üçüncü nesil spektral dalga modellerinin birleştirilmiş bir sistemini kullanarak modellemiş olup, kullandıkları WAM modeli 0,5° uzamsal çözünürlüğe sahiptir. Valchev vd. (2012), fırtınalarla ilgili on bir parametreyi analiz etmiş olup, fırtınaların zamansal değişkenliği analizinin sonucu olarak, Batı Karadeniz üzerindeki fırtınalarda istatistiksel olarak anlamlı bir artış veya azalma eğilimi olmadığını açıklamışlardır.

Ağırbaş (2017), 1970 ve 2010 arasındaki 40 yıllık dönem için Türkiye'nin Karadeniz kıyılarında bulunan yedi kıyı istasyonunda ölçülen rüzgâr verilerini analiz etmiş ve U_{10} 'daki uzun dönemli değişiklikleri incelemişlerdir. Ağırbaş (2017), uzun dönemli meteorolojik değişiklikleri değerlendirmek için hava ve deniz yüzey sıcaklığı, yağış miktarı, güneş ışığı süresi, rüzgâr hızı ve iklim indeksleri gibi meteorolojik parametreleri kullanmış ve sonuç olarak, U_{10} 'un Güneybatı Karadeniz'de 2 cm/sn/yıl anlamlı bir artış ve Güneydoğu Karadeniz'de 3 cm/sn/yıl anlamlı bir azalma eğiliminde olduğunu bildirmişlerdir.

Zăinescu vd. (2017), Tuna deltası kıyısında yaptıkları fırtına iklimi çalışmasında kullandıkları rüzgâr veri setini, Sulina meteoroloji istasyonundan temin etmiş olup, 50 yılı (1962–2012) kapsayan bu veriler, 1986–2002 ve 2007–2012 aralıklarındaki saatlik ölçümlerden ve 1962–1985 ve 2003–2006 arasındaki 3 sa'lık ölçümlerden oluşmaktadır. Zăinescu vd. (2017), dalga modelleri için geçmişteki rüzgâr kuvvetlerini hesaplamak amacıyla NCEP/NCAR tarafından gerçekleştirilen küresel deniz basıncı yeniden analizlerini kullanmış ve zamansal olarak saatlik, uzamsal olarak 0,5° çözünürlüğe sahip dalga verileri elde etmişlerdir. Zăinescu vd. (2017), fırtına olaylarının tanımlanması için rüzgâr hızı ve dalga yüksekliği verilerine uygulanan EÜP yöntemini kullanmış olup, Batı Karadeniz ve Romanya kıyıları için geçerli olan bölgesel fırtına eşiklerini, en az 12–24 sa boyunca 10 m/sn, 12 m/sn ve 15 m/sn'yi aşan rüzgâr hızları olarak belirlemişlerdir. Zăinescu vd. (2017), fırtına için dalga eşik değerini 1,6 m olarak bulmuş olup, fırtınalardaki orta vadeli (birkaç on yıl) ve kısa vadeli (yıllık) değişimin analizi için fırtına parametrelerini kullanmış ve ekstrem dalga yüksekliğine sahip fırtınaların çoğunlukla

kuzeydoğu ile güneydoğu yönleri (yani, 50° ile 130° arasındaki açılar) arasından geldiğini tespit etmişlerdir.

Aydoğan ve Ayat (2018), Karadeniz’de belirgin dalga yüksekliğinin uzun dönemli değişimlerini incelemişlerdir. Aydoğan ve Ayat (2018), ECMWF ERA Interim rüzgâr alanları ile desteklenen bir model kullanarak, 1979-2016 yılları arasındaki 38 yıl boyunca 6 sa’lık zamansal çözünürlüğe sahip U_{10} değerlerini bulmuş ve ardından yeniden analiz verisini $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ uzamsal çözünürlükle çalışma alanına enterpole etmişlerdir. Aydoğan ve Ayat (2018), Theil-Sen yöntemi kullanarak ortalama H_s ’teki eğilim değerlerini bulup, Mann-Kendall analizi yardımıyla buldukları eğilim değerlerinin anlamlı olup olmadıklarına bakmış ve sonuç olarak ortalama H_s ’in Karadeniz’in doğusunda ($\%1,6/\text{yıl}$ ’a kadar) arttığını, batısında ise ($\%-1,2/\text{yıl}$ ’a kadar) azaldığını bildirmişlerdir.

Saprykina, Shtremel, Aydoğan ve Ayat (2019), Karadeniz’in Doğu kıyıları için dalga iklimindeki değişkenliği, 1979’dan 2016’ya kadar olan 38 yıllık dönem boyunca incelemişlerdir. Saprykina vd. (2019), çalışma alanı olarak 42° - $47,5^\circ$ Kuzey enlemleriyle 27° - 41° Doğu boylamlarını seçmiş olup, veri seti olarak Aydoğan ve Ayat (2018)’i kullanmışlardır.

1.2 Tezin Amacı

Daha önce Karadeniz’de yapılan çalışmalar çoğunlukla dalga ve rüzgâr iklimindeki değişimlere odaklanmakta, fırtına karakteristiklerindeki uzun dönemli değişimleri dikkate alan çalışmalar ise yerel ve kısıtlı kalmaktadır. Bu kapsamda Karadeniz’de fırtına iklimindeki değişikliklerin daha iyi anlaşılması ve geleceğe dair yorumlanması için geniş çaplı bir çalışma gerekmektedir.

Bu çalışmada Karadeniz kıyıları boyunca, toplam 95 konum için fırtına karakteristiklerinde 1979-2019 yılları arasındaki 41 yılda meydana gelen uzun dönemli değişimlerin ve bu değişimlerin küresel iklim uzun dönem salınım indeksleriyle olan ilişkisinin ortaya koyulması amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Geçmiş çalışmalar Karadeniz’deki dalga karakteristiklerinde istatistiksel olarak anlamlı uzun dönemli değişimlerin mevcudiyetini ve bu değişimin uzamsal olarak homojen

olmadığını ortaya koymuştur. Bu verilerden yola çıkarak bu tez çalışmasının hipotezi aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

H1) Karadeniz'deki fırtına karakteristikleri uzun dönemli değişim göstermektedir.

H2-1) Karadeniz'in fırtınalılığındaki uzun dönemli değişimler uzamsal olarak farklılık göstermektedir.

H2-2) Karadeniz'in fırtınalılığındaki uzun dönemli değişimler zamansal olarak farklılık göstermektedir.

H2-3) Karadeniz'in fırtınalılığındaki uzun dönemli değişimler mevsimsel olarak farklılık göstermektedir.

H2-4) Karadeniz'in fırtınalılığındaki uzun dönemli değişimler yönsel olarak farklılık göstermektedir.

H3) Karadeniz'in fırtınalılığındaki uzun dönemli değişimin analizinde kullanılan veri setinin uzunluğu sonuçlar üzerinde etkilidir.

H4-1) Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) Karadeniz'in fırtınalılığı ile ilişkilidir.

H4-2) Doğu Atlantik Salınımı (EA) Karadeniz'in fırtınalılığı ile ilişkilidir.

H4-3) Doğu Atlantik/Batı Rusya Salınımı (EA/WR) Karadeniz'in fırtınalılığı ile ilişkilidir.

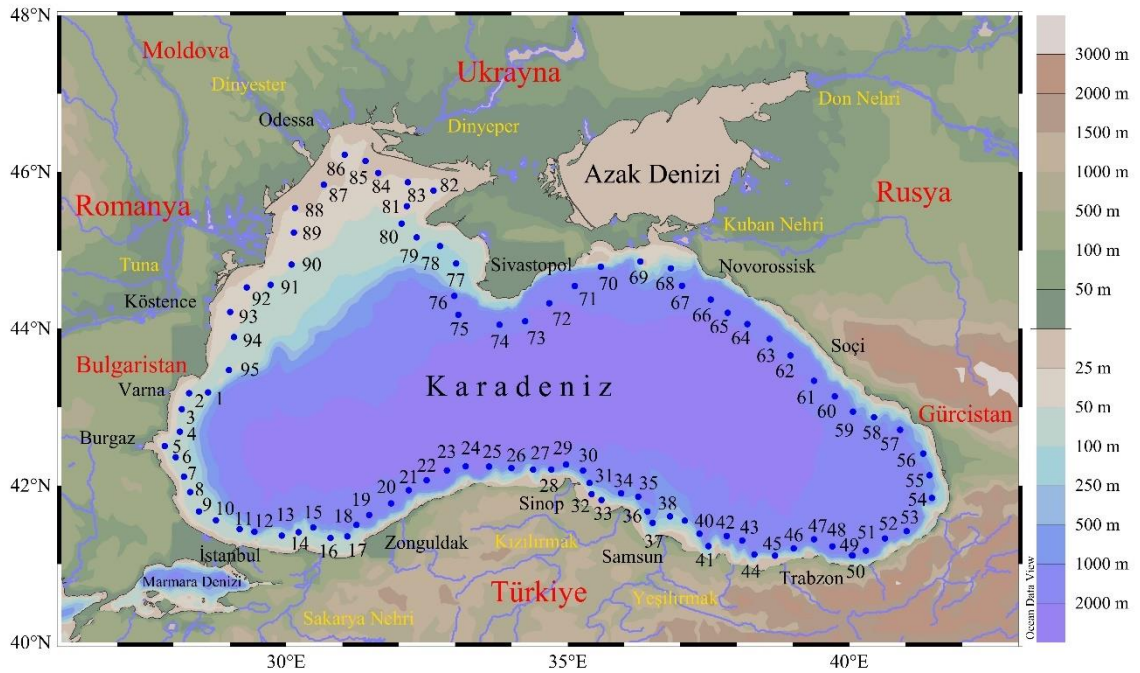
H4-4) Atlantik Çoklu On yıllık Salınımı (AMO) Karadeniz'in fırtınalılığı ile ilişkilidir.

H4-5) Pasifik/Kuzey Amerikan Salınımı (PNA) Karadeniz'in fırtınalılığı ile ilişkilidir.

2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak 27° – 42° Doğu ile 40,5° – 47° Kuzey koordinatları arasında bulunan Karadeniz seçilmiştir. Karadeniz, 423.000 km² yüzölçümüne ve 555.000 km³ hacme sahip olup, ortalama derinliği 1.315 m, maksimum derinliği ise 2.258 m'dir (Kostianoy ve Kosarev, 2008). Karadeniz'in doğu-batı yöndeki maksimum uzunluğu 1.175 km ve kuzey-güney yöndeki en kısa mesafe yaklaşık 260 km'dir.

Karadeniz'in batimetri ve deniz etrafındaki kara alanlarının yükseklik bilgileriyle, Karadeniz'e kıyısı olan ülkeler, kıyılardaki önemli şehirler, komşu denizler, denize dökülen başlıca nehirler ve çalışmada analizi yapılan 95 konum Harita 2.1'de gösterilmiştir.



Harita 2.1 Çalışma Alanı

Karadeniz'in doğu ve kuzeydoğusu Kırım ve Kafkas Dağlarıyla, güney ve güneybatısı Pontid-Balkanid kuşağına ait birçok kıvrımlı sıradağlarla çevrilidir. Güney kıyıları, kıyılara paralel dağlar nedeniyle dik olup, batı ve kuzeybatı kıyıları genellikle alçak ve

düzdür. Batimetri Karadeniz'in kuzey ve kuzeybatı kıyılarında sıgıdır. Karadeniz'in doğu kıyısı Üst Kretase ve alt üçüncül yaşlı fliş tabakalarından, batı kıyısı lös, Neojen, Paleojen ve Üst Kretase çökellerinden oluşurken, kıyı suları, kireçtaşı kayaları, kum, kil ve silt üzerinde yer almaktadır (Kosyan ve Velikova, 2016).

Asya ile Avrupa kıtaları arasında yer alan Karadeniz'in, kuzeyinde Ukrayna, kuzeydoğusunda Rusya, doğusunda Gürcistan, güneyinde Türkiye, batısında ise Bulgaristan ve Romanya bulunmaktadır. Karadeniz kıyı şeridinin toplam uzunluğu (Azak ve Marmara denizleri harici) 4.869 km'dir (Stanchev, Palazov, Stancheva ve Apostolov, 2011). Karadeniz, sırası ile, İstanbul Boğazı, Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı ile Akdeniz'e bağlanmaktadır. Azak Denizi de Kerç Boğazı aracılığıyla Karadeniz'e bağlanır.

Karadeniz'e kıyısı olan önemli şehirler: İstanbul, Odessa, Varna, Samsun, Soçi, Sivastopol, Köstence, Trabzon, Novorossisk, Burgaz ve Batum'dur ve bu şehirlerle beraber Karadeniz'e kıyısı olan tüm şehirlerin toplam nüfusu 17,5 milyonu bulmaktadır (Vespremeanu ve Golumbeanu, 2018).

Karadeniz, konumu dolayısıyla uluslararası bir ticaret merkezi olmuştur. Karadeniz'e kıyısı olan ülkelerle birlikte, Balkan ve Kafkas ülkelerinin katılımıyla oluşan Karadeniz Ekonomik İşbirliği Örgütü (KEİ/BSEC), 340 milyondan fazla nüfusa sahip bir bölgeyi temsil etmekteyken, KEİ bölgesinin toplam ticaret hacmi 1,5 trilyon ABD dolar ve KEİ bölgesinin nominal birleşik GSYİH'si yaklaşık 2,95 trilyon ABD dolarıdır (KEİ/BSEC, 2021).

Karadeniz'deki ticari faaliyetlerde limanlar önemli rol oynamaktadır. Başta İstanbul, Köstence, Varna, Burgaz, Batum, Poti, Novorossisk, Odessa ve Sivastopol gibi büyük limanların dışında, orta ve küçük ölçekli birçok liman bulunmaktadır. Bu limanlardan Sivastopol limanı aynı zamanda askeri bir üs olma özelliği taşımaktadır.

Karadeniz'e kıyıdaş ülkelerin 2014 yılında dünya ticaret filosunun %1'ine tekabül eden 53 milyon DWT'yi aşkın 3.868 adet gemisi bulunmaktayken, 2013 yılında Karadeniz kıyılarında bulunan limanlardaki konteyner trafiği 12,9 milyon TEU'ya ulaşmıştır (Bosneagu, 2018).

Karadeniz'de bulunan 1.228 adet kullanılabilir plajın toplam uzunluğu 2.042 km ve kapladığı toplam alan 224 km² olup, bu plajların %61'inin genişliği 50 metreden azdır ve %47'si mühendislik yapıları tarafından korunmaktadır (Allenbach vd., 2015).

Karadeniz'e yüzlerce nehir tarafından her yıl 294-474 km³ arasında değişen miktarlarda tatlı su dökülmektedir (Jaoshvili, 2002). Bu nehirlerden belli başlı olanları: Dinyeper Nehri, Dinyester Nehri, Don Nehri, Kuban Nehri, Yeşilırmak, Kızılırmak, Sakarya Nehri, Çoruh Nehri ve bütün Doğu ve Orta Avrupa'yı dolaşan Tuna Nehri'dir. Bu nehirler döküldükleri yerlerde deltaları oluşturmuştur. Bu deltalardan en dinamik olanları; 18 m/yıl'lık kıyı çizgisi değişimi ile Tuna Deltası ve 22,6 m/yıl'a ulaşan kıyı çizgisi değişim değeri ile Yeşilırmak'tır (Görmüş, Ayat, Aydoğan ve Tătui, 2021). Yine Kuban, Bafra ve Çarşamba deltaları Karadeniz'de bulunan önemli deltalardır.

Karadeniz oksijen açısından fakir olduğundan sudaki bakteriler oksijen ihtiyaçlarını sülfür iyonlarından karşılarlar ve bu da denizde Hidrojen Sülfür (H₂S) oluşumuna neden olur. Dünya üzerindeki en büyük H₂S rezervi Karadeniz'dir ve H₂S canlılar için zehirli olduğundan dolayı 200 m'den derin bölgelerde yaşayan canlı bulunmamaktadır.

Karadeniz ılıman iklim kuşağındadır ve bulunduğu konum nedeniyle çeşitli yönlerden gelen karasal, kutupsal ve denizel hava kütlelerinin etkisi altında kalmaktadır. Valchev vd. (2012), denizdeki tropikal hava kütlesi akışının, Akdeniz havzasından gelen güneybatı rüzgârlarından kaynaklandığını, kışın kuzey ve kuzeydoğudan gelen kutup hava kütlelerinin, Karadeniz'de düşük hava sıcaklıklarına ve sık sık fırtınaların oluşmasına sebebiyet verdiğini açıklamışlardır. Karadeniz'in rüzgâr iklimi incelendiğinde, batı kıyılarda daha yüksek rüzgâr hızları görülmektedir (Aydoğan, 2017). Uzun dönemli değişimlere bakıldığında rüzgâr hızları, Karadeniz'in batı kıyılarında belirgin bir azalma, doğu kıyılarında ise belirgin bir artış eğilimindedir (Çarpar vd., 2019).

Karadeniz'in doğu kıyılarında dalga enerjisi düşük olup, enerji kıyı boyunca batıya doğru artmakta, güneybatı kıyılarda en yüksek değerlere ulaşmaktadır (Aydoğan, Ayat ve Yüksel, 2013; Aydoğan, Görmüş, Ayat ve Çarpar, 2021). Dalga iklimi açısından Karadeniz'in kuzeydoğu kesimi homojen değilken, güneydoğu kesimi daha homojen bir görüntü vermektedir (Saprykina vd., 2019).

2.2 Veriler

Çalışmada tüm Karadeniz'i kapsayan detaylı bir istatistiksel analiz yapmak amacıyla Karadeniz kıyılarında bulunan 95 konum seçilmiştir. Bu konumlar seçilirken önemli şehirler, limanlar, deltalar ve boğazlar dikkate alınmış olup, konumların derinlikleri, bulundukları bölgedeki batimetriye göre farklılık göstermiştir (Harita 2.1).

Bu çalışmada uzun dönemli dalga veri setinin elde edilmesi amacıyla kullanılan veriler Aydoğan vd. (2021) tarafından üçüncü nesil spektral dalga modeli SWAN 41.20 versiyonu (SWAN Ekibi, 2019) kullanılarak Karadeniz için kurulmuş olan modelden elde edilmiştir. SWAN modeli dalga denkleminin (2.1) faz ortalamalı çözümüne dayanmaktadır.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_{\vec{x}} \cdot [(\vec{C}_g + \vec{U})N] + \frac{\partial C_{\sigma} N}{\partial \sigma} + \frac{\partial C_{\theta} N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \quad (2.1)$$

(2.1)'de N dalga hareketinin yoğunluğunu, $\vec{x}$ iki boyutlu konumu, σ frekansı, θ yönü, C_g dalga grup hızını ve S ise enerji kazanım ve kayıplarını ifade etmektedir. S parametresi rüzgâr enerjisinin transferi ile dalga gelişimi ve çoklu dalga etkileşimleri gibi etkileri ve dalga kırılması, köpüklenme ve taban sürtünmesi gibi enerji kayıplarını içermektedir.

Çalışma alanı 9.029 adet eleman ve 5.560 adet düğüm noktasından oluşan, homojen olmayan ve kıyılar boyunca sıklaştırılmış yapılandırılmamış bir çözüm ağı kullanılarak ayrıklaştırılmıştır. Hesap ağının ortalama eleman alanı 51 km^2 ve en küçük eleman alanı ise 1 km^2 'dir. Derinlik verileri Okyanusların Genel Batimetrik Çizelgeleri (GEBCO) (GEBCO, 2014) veri tabanından 30 ark saniye çözünürlükte elde edilmiş ve oluşturulan hesap ağına enterpole edilmiştir. Modelde girdi olarak ERA 5 (C3S, 2017) veri setinden elde edilmiş, deniz yüzeyinden 10 m yükseklikte yeniden analiz verilerinin rüzgâr hızı bileşenleri kullanılmıştır. Rüzgâr alanlarının zamansal çözünürlüğü 1 sa ve uzamsal çözünürlüğü ise $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ 'dir.

Model kurulumu ve parameterizasyonu Aydoğan vd. (2021)'e göre yapılmıştır. Frekans düzleminde ayrıklaştırma için 32 eşit yön dilimi, 0,05-1 Hz. aralığında logaritmik olarak değişen 35 frekans değeri dikkate alınmıştır. Çözümler durağan olmayan modda, 60 dk zaman adımı ve her bir zaman adımında üç iterasyon kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelde rüzgâr dalgalarının oluşumu ve büyümesi, bu dalgaların taban sürtünmesi ve dalga kırılması nedeniyle enerji sönümlenmesi, dalgaların dörtlü etkileşimi, sığlaşması, dönmesi ve kırılmasına ilişkin fiziksel süreçler dikkate alınmıştır. Model

parameterizasyonunda GEN3 ST6 fiziği dikkate alınmıştır. Model kurulumu ve parameterizasyonuna ilişkin ayrıntılı bilgiler için Aydoğan vd. (2021)'e bakılabilir. Model sonuçlarından elde edilen belirgin dalga yüksekliği değerlerinin ölçümlerle karşılaştırılması ile korelasyon katsayıları ve ortalama mutlak hatalar hesaplanmıştır. Korelasyon katsayıları İstanbul ve Samsun istasyonlarında sırasıyla 0,95 ve 0,91, ortalama mutlak hatalar ise yine sırasıyla 0,14 ve 0,62 m olarak elde edilmiştir.

Spektral dalga modelinden elde edilen dalga verilerinin doğrulanması amacıyla T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından İstanbul (41,29° K ve 29,16° D) ve Samsun (46° K ve 35° D) konumlarında yerleştirilmiş şamandıralardan 10.03.2015 ile 20.03.2016 tarihleri arasında elde edilmiş dalga ölçümleri kullanılmıştır. Böylece 41 yıllık güvenilir bir veri seti elde edilmiş ve istatistiksel analizler için bu 41 yıllık veri seti kullanılmıştır.

Karadeniz'in fırtınalılığının iklim uzun dönem salınım indeksleri ile olan ilişkisini incelemek amacıyla analizlerden elde edilen sonuçlar ile kuzey yarımkürede yer alan iklim uzun dönem salınım indeksleri arasındaki korelasyonlar değerlendirilmiştir. Çalışmada değerlendirmeye alınan indeksler: Kuzey Atlantik Okyanusunda bulunan, İzlanda (65,07° K-22,73° B) ve Azorlar (37,74° K-25,67° B) arasındaki deniz seviyesi atmosfer basınç farkının dikkate alınması ile elde edilen Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) (Houghton vd., 1998), biri Kanarya Adaları'nın güneybatısında (25° K-25° B), diğeri Büyük Britanya'nın batısında (55° K-20° B) ve üçüncüsü Karadeniz yakılarında (55° K-40° D) bulunan üç merkez arasındaki deniz seviyesi atmosfer basınç farklarıyla karakterize edilen Doğu Atlantik Salınımı (EA) (Wallace ve Gutzler, 1981), dört ana anomali merkezinden oluşan ve pozitif evresi Avrupa ve Kuzey Çin üzerindeki pozitif yükseklik anomalisiyle, negatif evresi Orta Kuzey Atlantik ve Hazar Denizi'nin kuzeyindeki negatif yükseklik anomalisiyle ilişkili olan Doğu Atlantik/Batı Rusya Salınımı (EA/WR) (Barnston ve Livezey, 1987), Kuzey Atlantik Okyanusu'ndaki deniz yüzey sıcaklığının farklılığına dayanan Atlantik Çoklu On yıllık Salınımı (AMO), Batı Pasifik'ten Kuzey Amerika'nın doğu sahillerine kadar değişen dört bölgede (Hawaii (20° K-160° B), Kuzey Pasifik Okyanusu (45° K-165° B), Alberta (55° K-155° B), ABD körfez bölgesi (30° K-85° B)) deniz seviyesindeki atmosfer basınç farkından elde edilen Pasifik/Kuzey Amerikan Salınımı (PNA) (Wallace ve Gutzler, 1981) olarak seçilmiştir.

2.3 İstatistiksel Analizler

Çalışmada fırtınaların sayıları, dalga yükseklikleri ve süreleri analiz edilmiş olup, bu parametrelerin uzun dönemli eğilim miktarları Theil-Sen (Sen, 1968) yöntemiyle bulunurken, elde edilen eğilimlerin anlamlılık seviyesini belirlemek amacıyla Mann-Kendall (Mann, 1945), (Kendall, 1975) testi kullanılmıştır. Karadeniz'in fırtınalılığı ile uzun dönem salınım indeksleri arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla Pearson korelasyon katsayısı hesaplama yöntemi (Pearson, 1920) kullanılarak korelasyon analizi yapılmıştır. Çalışmada uzun dönemli eğilimler için en az %90, fırtınalılığın uzun dönem salınım indeksleriyle olan ilişkisi için en az %95 anlamlılık düzeyi dikkate alınmıştır.

Tüm analizler Matlab (MatLab P., 2018) programıyla yazılmış ve bu çalışmada geliştirilmiş bir kod ile gerçekleştirilmiş ve tüm haritalar Ocean Data View (Schlitzer, 2021) programı yardımıyla hazırlanmıştır.

Çalışmada ilk olarak spektral dalga modelinden elde edilen saatlik veriler kullanılarak tekil fırtınalar belirlenmiştir. Tekil fırtınalar belirlenirken EÜP yöntemi uygulanmış ve eşik değeri ilk olarak ortalama dalga yüksekliğinin 1,5 katı ($1,5 H_{ort}$) seçilmiş fakat sonrasında daha tutarlı ve daha belirgin eğilimler tespit edildiği için dalga eşik değeri aynı zamanda %95'lik aşılma olasılığına yakın bir değer olan ortalama dalga yüksekliğinin 2 katı ($2 H_{ort}$) olarak dikkate alınmış, fırtınaların bu eşiği aştığı anda başladığı ve bu eşiğin altına düştüğünde sonlandığı kabul edilmiştir (Laface vd., 2015).

Tekil fırtınalar elde edildikten sonra analizi yapılacak parametreler belirlenmiştir. Zamansal ve uzamsal analizde kullanmak amacıyla 95 konumda 41 yıl boyunca her yıl için toplam fırtına sayısı, ortalama fırtına süresi, toplam fırtına süresi, maksimum fırtına süresi, fırtınaların ortalama dalga yüksekliği, fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliği ve fırtınaların maksimum dalga yüksekliği, olmak üzere yedi fırtına parametresi belirlenmiştir. Bu çalışmada incelenen fırtına karakteristikleri;

Toplam fırtına sayısı: Her yıl için belirlenen fırtına eşik değerine göre o yıl içinde oluşan fırtınaların toplam sayısıdır.

Ortalama fırtına süresi: Her yıl için belirlenen fırtına eşik değerine göre tespit edilen fırtınaların sürelerinin o yıl içindeki ortalamasıdır.

Toplam fırtına süresi: Her yıl için belirlenen fırtına eşik değerine göre o yıl içinde oluşan tüm fırtınaların sürelerinin toplamıdır.

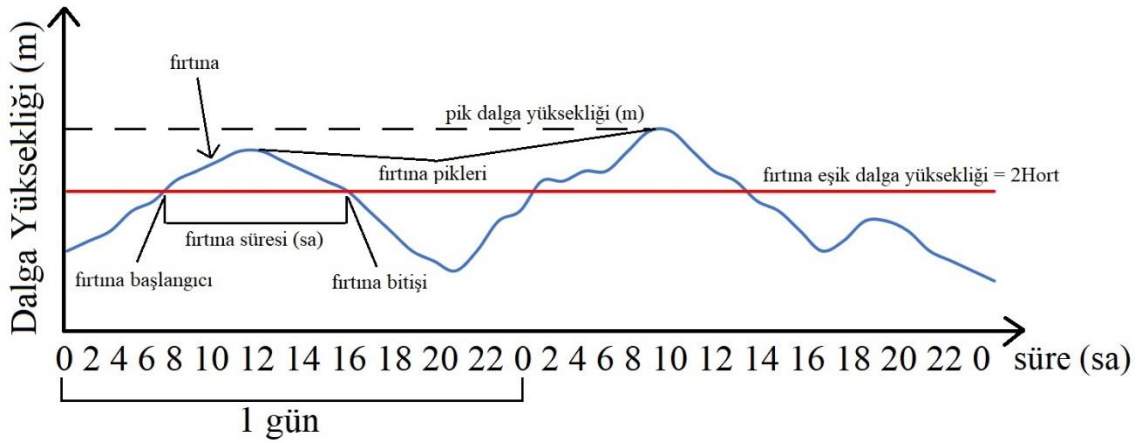
Maksimum fırtına süresi: Her yıl için belirlenen fırtına eşiğine göre o yıl oluşan fırtınaların sürelerinin en uzunudur.

Fırtınaların ortalama dalga yüksekliği: Her yıl için belirlenen fırtına eşiğine göre fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerinin o yıl içindeki ortalamasıdır.

Fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliği: Her yıl için belirlenen fırtına eşiğine göre fırtınaların en yüksek dalga yüksekliklerinin o yıl içindeki ortalamasıdır.

Fırtınaların maksimum dalga yüksekliği: Her yıl için belirlenen fırtına eşiğine göre o yıl oluşan fırtınalar arasında dalga yüksekliği en fazla olandır.

Bu çalışmada analiz edilen fırtına parametreleri Şekil 2.1’de zaman serisi üzerinde gösterilmiştir.

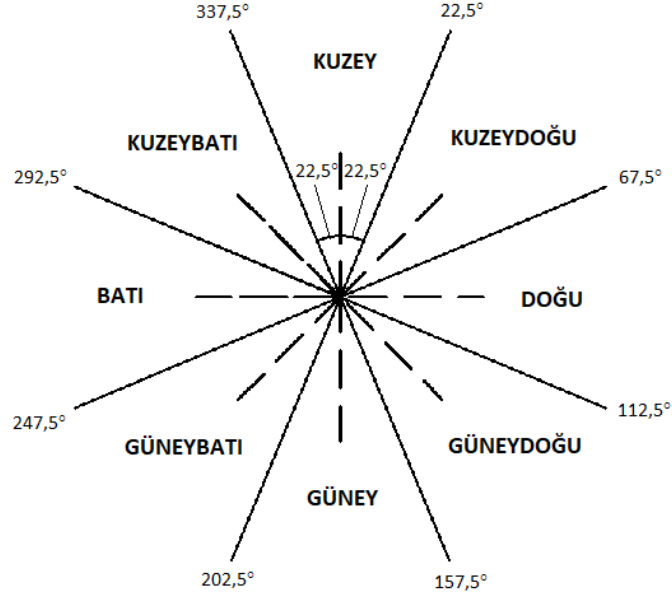


Şekil 2.1 Zaman serisi üzerinde fırtına ve analizi yapılan parametreler

Eğilim analizi için seçilen zaman aralığının sonuçlar üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 1979-2019 dönemi 10'ar yıllık dört döneme ayrılmış ve 41 yıl için yedi parametreye uygulanan uzamsal analizler bu 10'ar yıllık dönemlerde de tekrar edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Fırtınalılığın değişimindeki mevsimselliği ortaya koymak için aylık bazda analizler yapılmıştır. 95 konumda 41 yıl boyunca yukarıda belirtilen yedi parametre 12 ay için ayrı ayrı bulunmuş ve analiz edilmiştir.

Fırtınalılığın yönsel farklılığını ortaya koymak amacıyla yönsel bazda analizler uygulanmıştır. Dalgaların geliş açılarına göre belirlenen yönler Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Dalgaların geliş açılarına göre dikkate alınan yönler

Yönsel analiz için tekil fırtınalar belirlenirken dalgaların saat yönüne göre 0 ile 360° arasındaki geliş açıları dikkate alınmıştır. Tekil fırtınalar pik dalga yüksekliklerinin geliş açılarına göre sekiz farklı yön için 45°'lik yön dilimlerine ayrılmıştır. Daha sonrasında her yön için yukarıda verilen yedi parametre 41 yıl için yıllık bazda belirlenmiş ve analiz edilmiştir.

2.3.1 Eğilim Analizi

Bu çalışmada her bir parametrenin seçilen zaman aralığındaki eğilim değerini belirlemek için Theil-Sen yöntemi kullanılmıştır. Theil-Sen yöntemi, zaman serisi verilerindeki veri çiftleri için eğimlerin medyanını tahmin etmeye yönelik parametrik olmayan bir yöntemdir. T_k 'nın eğimi (2.2) kullanılarak hesaplanır.

$$T_k = \frac{y_j - y_i}{t_j - t_i} \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (2.2)$$

(2.2)'de N , zaman serisindeki veri çiftlerinin sayısıdır, T_k zaman serisindeki k 'inci i - j çiftinin eğimidir ($j > i$), y_j ve y_i sırasıyla t_j ve t_i zamanlarındaki verilerdir.

N değeri (2.3)'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$N = \frac{n(n - 1)}{2} \quad (2.3)$$

(2.3)'te n , zaman serisindeki toplam veri sayısıdır. T_k değerlerinin medyanı belli bir zaman aralığına ait veri kümesinin eğilimini gösterir.

2.3.2 Anlamlılık Analizi

Bu çalışmada her bir parametrenin seçilen zaman aralığındaki eğilim değerlerinin istatistiksel olarak anlamlılık seviyesini belirlemek için Mann-Kendall testi kullanılmıştır. Kendall'ın tau istatistiği olarak da adlandırılan bu test hidro-meteorolojik zaman serilerinin eğilimlerinin belirlenmesinde sıkça kullanılan bir metottur.

Mann-Kendall testinin istatistiği S, (2.4)'teki ifadeyle hesaplanır. Bu eşitlikteki $(x_j - x_k)$ değerinin işareti ise (2.5) kullanılarak bulunur.

$$\sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2.4)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{eğer } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{eğer } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{eğer } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

x_j ve x_k sırasıyla j ve k zamanlarındaki verilerdir. Asimptotik olarak, normal bir dağılıma sahip ve ortalaması sıfır olan test istatistiği S'in varyansı (2.6)'daki gibi hesaplanır.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (2.6)$$

Eğer zaman serisinde benzer değerler (bağ durumu) varsa varyans hesabı (2.7)'deki gibi hesaplanır.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (2.7)$$

Varyansı belirlenen Mann-Kendall testinin anlamlılık derecesi, Z standartlaştırılmış test istatistiğinin (2.8)'e göre hesaplanıp kritik Z değeriyle karşılaştırılmasıyla belirlenir.

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{eğer } S > 0 \\ 0 & \text{eğer } S = 0 \\ \frac{S - 1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{eğer } S < 0 \end{cases} \quad (2.8)$$

Eğer seçilen α anlamlılık seviyesinde $|Z| \leq Z_\alpha$ ise H_0 hipotezi kabul edilir, aksi halde reddedilir. Hesaplanan S değeri pozitif ise artış, negatif ise azalma eğiliminin varlığı söz konusudur. Çalışmada anlamlılık seviyesi en az %90 seçilmiş olup, anlamlılık seviyelerine karşılık gelen Z_α değerleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Anlamlılık seviyelerine karşılık gelen Z değerleri

Anlamlılık seviyesi (%)	Z_α
90	1,645
91	1,70
92	1,75
93	1,81
94	1,88
95	1,96
96	2,05
97	2,17
98	2,33
99	2,576
99,5	2,807
99,9	3,29
99,99	3,89

2.3.3 Korelasyon Analizi

Uzun dönem salınım indeksleriyle arasındaki ilişkileri belirlemek adına Karadeniz’in fırtınalılığı ile NAO, EA, EA/WR, AMO ve PNA arasındaki korelasyonlar incelenmiştir. Elde edilen korelasyon sonuçları için anlamlılık sınırı, Pearson korelasyon katsayısı

hesaplama yöntemi kullanılarak elde edilen korelasyon tablosundan %95 güven aralığı ve 41 örnekleme için 40 ve 45 örnekleme sonuçları arasında enterpolasyon yapılarak 0,301 değeri olarak belirlenmiştir.

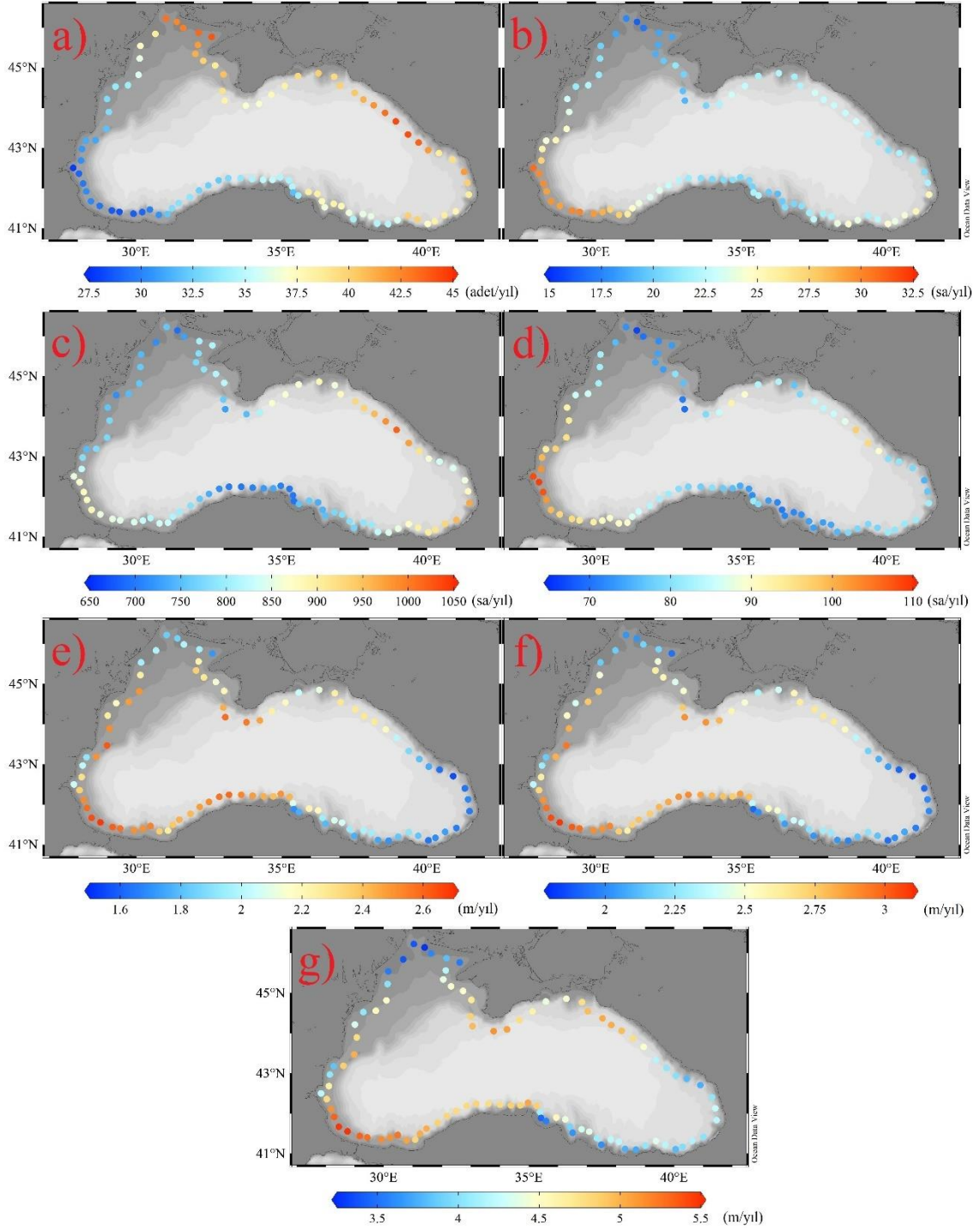


Karadeniz'in fırtınalılığındaki uzun dönemli değişimleri incelemek amacıyla dikkate alınan yedi fırtına parametresinin, Harita 2.1'de gösterilen 95 lokasyondaki ortalama değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra uzamsal analiz yapılmış ve yedi parametre için 41 yıllık analiz sonrası 95 konum arasından anlamlı eğilim tespit edilen konumlar ve eğilim değerleri haritalar üzerinde sunulmuştur. Uzamsal analiz sonrası anlamlı değişim eğilimi elde edilen konumların zamansal değişimleri incelenmiş ve yedi parametredeki bu değişimler 41 yıllık eğilimin yanında, 5 ve 10 yıllık eğilim çizgileriyle birlikte zaman serileri üzerinde gösterilmiştir.

Eğilim analizi için seçilen zaman aralığının sonuçlar üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 1979-2019 yılları arasındaki 41 yıllık dönem 10'ar yıllık aralıklara bölünmüş ve yedi parametre için bu dört dönem ayrı ayrı analiz edilmiş olup, anlamlılık gösteren konumlar ve eğilim değerleri haritalar üzerinde karşılaştırmalı olarak sunulmuş ve ayrıca 41 yıllık uzamsal analiz sonuçlarıyla da kıyaslanmıştır.

3.1 Fırtına Parametrelerinin Uzun Dönem Ortalama Değerleri ve Uzamsal Değişkenliği

Bu çalışmada dikkate alınan fırtına tanımına göre analizi yapılan 7 parametrenin Karadeniz kıyıları boyunca seçilen 95 konum için 41 yıllık ortalama değerleri bulunmuş ve bu değerlerin uzamsal dağılımları Harita 3.1'de sunulmuştur.



Harita 3.1 Analizi yapılan süredeki fırtına parametrelerinin uzun dönem ortalama değerleri a) Yıllık toplam fırtına sayıları, b) Yıllık ortalama fırtına süreleri, c) Yıllık toplam fırtına süreleri, d) Yıllık maksimum fırtına süreleri, e) Yıllık fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri, f) Yıllık fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleri, g) Yıllık fırtınaların maksimum dalga yükseklikleri

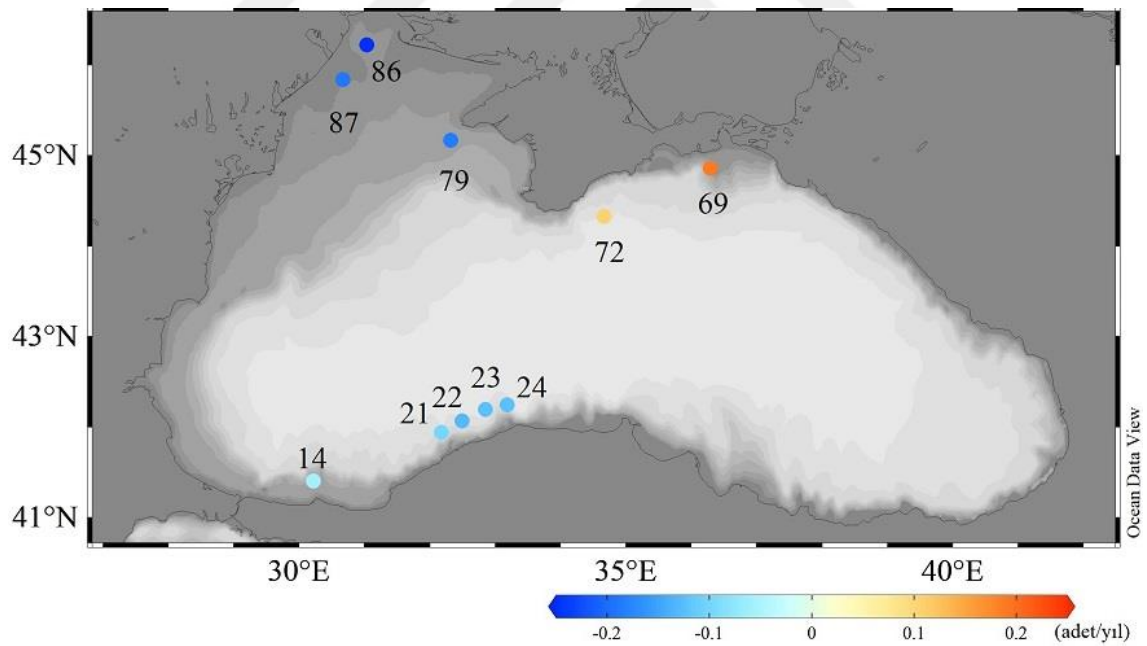
Harita 3.1'e göre Karadeniz'in güneybatısında 28 adet/yıl ile diğer bölgelere oranla fırtına sayılarının daha düşük olduğu fakat fırtına sürelerinin ve dalga yüksekliklerinin üç

parametre için de daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Kuzeybatı kıyılarda ise bunun aksine fırtına sayıları 40 adet/yıl'ı aşan değerlere ulaşırken, fırtına süreleri ve dalga yükseklikleri ortalamaya göre çok daha düşük değerlere sahiptir. Türkiye'nin Orta Karadeniz kıyıları ve Kırım Yarımadası'nın güney kıyılarında fırtınalar daha kısa sürelerle fakat daha yüksek dalga yüksekliklerine sahiptir. Karadeniz'in doğu kıyılarında fırtınaların sayıları daha fazla olurken, dalga yüksekliklerinin daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir.

3.2 Fırtınaların Uzamsal ve Zamansal Değişimleri

3.2.1 Fırtına Sayılarındaki Değişimler

Çalışma alanındaki uzamsal değişimleri incelemek adına 95 konum için ilk olarak 41 yıl boyunca yıllık toplam fırtına sayıları bulunmuş olup, bu konumlardan eğilim analizi sonrası anlamlı sonuçlara sahip olanlar ve eğilim değerleri Harita 3.2'de gösterilmiştir. Bu konumlar için elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık seviyeleri Tablo 3.1'de belirtilmiştir.



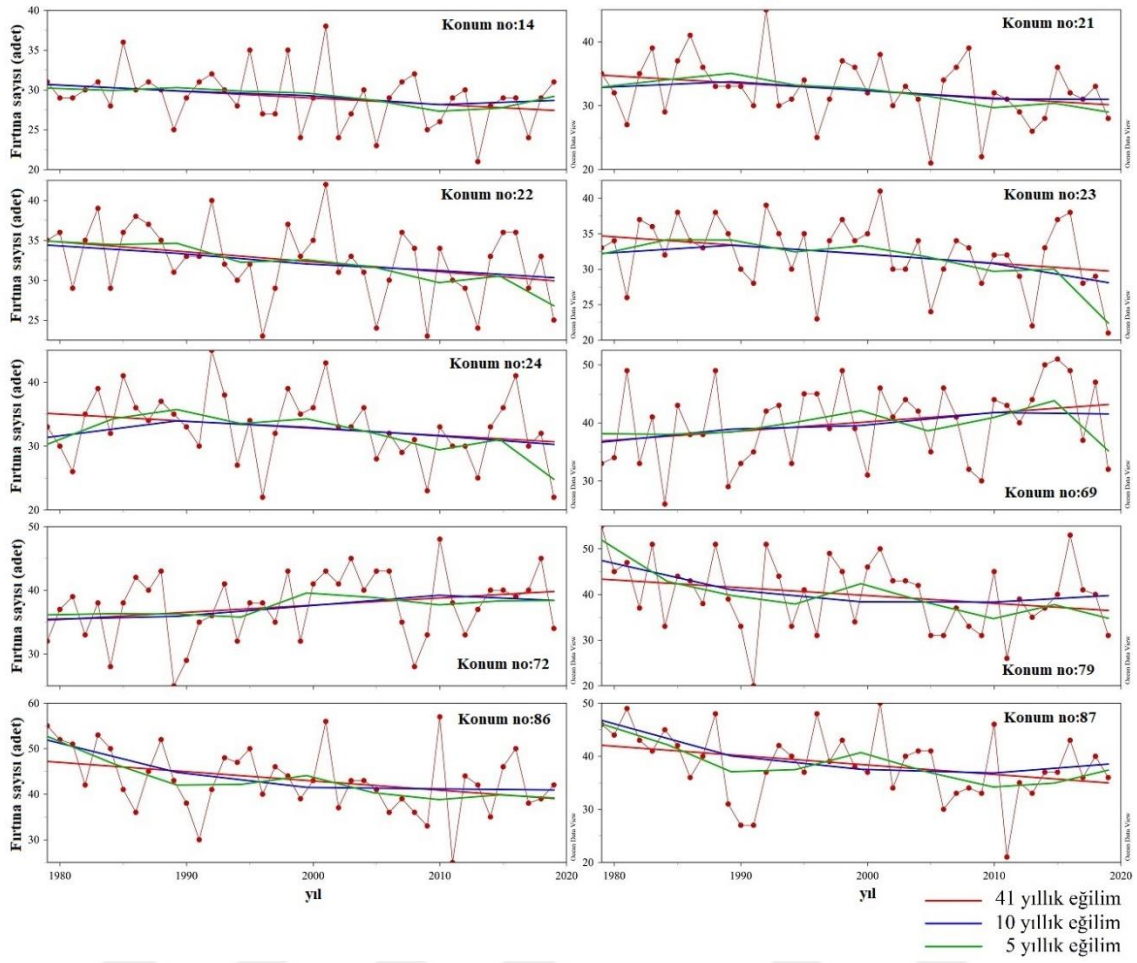
Harita 3.2 Yıllık toplam fırtına sayılarındaki 41 yıllık anlamlı eğilimler (adet/yıl)

Tablo 3.1 Yıllık toplam fırtına sayılarındaki 41 yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri

Konum Numarası	14	21	22	23	24	69	72	79	86	87
Eğilim (adet/yıl)	-0,06	-0,10	-0,13	-0,13	-0,13	0,19	0,11	-0,19	-0,25	-0,19
Anlamlılık (%)	90	91	95	96	91	93	90	94	98	98

Harita 3.2 ve Tablo 3.1'e göre, 41 yıl boyunca yıllık toplam fırtına sayılarındaki değişimlere bakıldığında Türkiye'nin Batı Karadeniz kıyılarında bulunan beş konum için anlamlı azalma eğilimi elde edilmiştir. Bu azalma eğilim değerleri 21-24 numaralı konumlar arasındaki bölgede %96 anlamlılıkla her 8-10 yıl için 1 adede ulaşırken, bu bölgenin batısında bulunan 14 numaralı konumda her 17 yılda 1 adedi bulunmaktadır. Çarpar vd. (2019)'un Karadeniz'in kuzeybatı sahillerindeki rüzgâr hızları için buldukları azalma eğilimine paralel olarak, bu çalışmada, Karadeniz'in kuzeybatısında bulunan iki konumdaki fırtına sayılarında anlamlı azalma eğilimi görülmüştür. Bu konumlardan Odessa kıyılarında bulunan 86 numaralı konumdaki, her 4 yılda 1 adedi bulan anlamlı azalma eğilimi hem maksimum şiddetli hem de %98 ile anlamlılık değeri ile en yüksek eğilim miktarı olarak gözlenmiştir. Yine Odessa kıyısındaki 87 numaralı konum ile Kırım Yarımadası'nın batısında bulunan 79 numaralı konum her 10 yılda yaklaşık 2 adet ile anlamlı azalma eğilimi tespit edilen konumlardır. Karadeniz'in kuzeyindeki iki konumda anlamlı artış eğilimi elde edilmiştir. Bu iki konumdan Kerç Boğazı yakınlarındaki 69 numaralı konumda her 10 yılda 2 adede yakın, bu konumun batısında bulunan 72 numaralı konumdaysa daha düşük şiddetli olarak her 10 yılda 1 adetlik bir artış eğilimi görülmektedir.

Fırtına sayılarında 41 yıllık analiz sonucu anlamlı eğilim belirlenen konumların farklı zaman aralıklarındaki değişimlerini incelemek amacıyla anlamlı eğilime sahip konumların zaman serileri ve bu konumlardaki 5, 10 ve 41 yıllık eğilim çizgileri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Yıllık toplam fırtına sayısı zaman serileri ve 5,10 ve 41 yıllık eğilim çizgileri (adet/yıl)

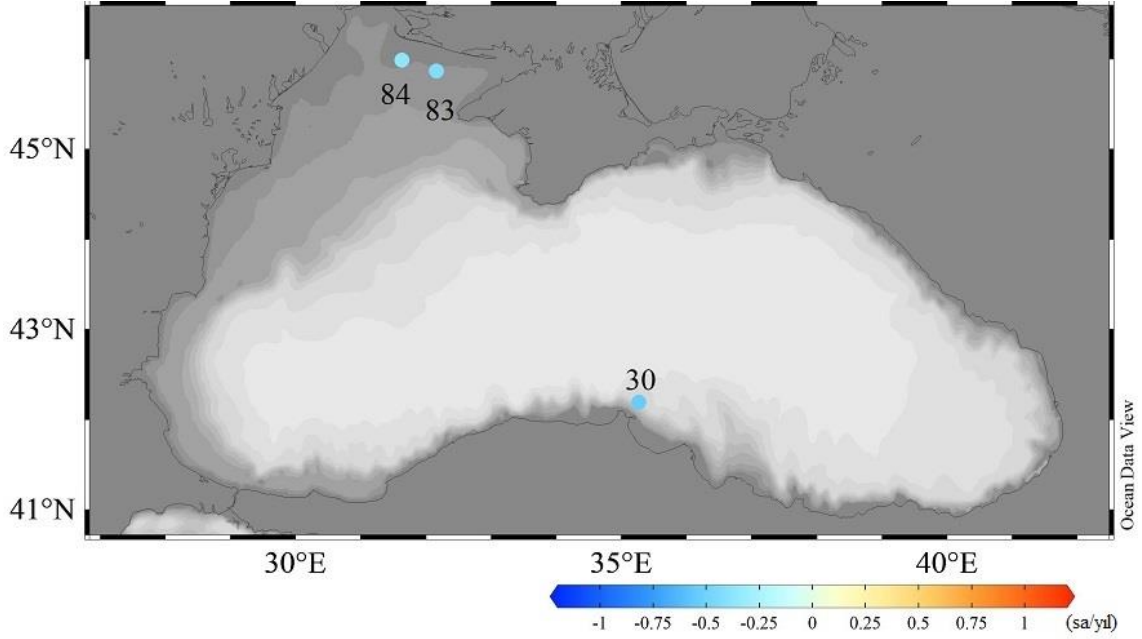
Şekil 3.1'e göre fırtına sayılarında 41 yıl boyunca anlamlı azalma eğilimi bulunan konumlardan Türkiye'nin Batı Karadeniz kıyılarındaki konumların fırtına sayılarında, analiz edilen sürenin ilk 10 yılında artış, son beş yılındaysa ciddi bir düşüş göze çarpmaktadır. Son beş yılda fırtına sayılarındaki düşüş, 41 yıl için artış eğilimine sahip Kerç Boğazı'ndaki 69 numaralı konumda da gözlenirken, 41 yıl için anlamlılık değeri en yüksek azalma eğilimine sahip Odessa kıyılarındaki fırtına sayılarının son 10 yılda hafif bir şekilde arttığı tespit edilmiştir.

3.2.2 Fırtına Sürelerindeki Değişimler

Fırtına sürelerindeki uzun dönemli uzamsal değişimler 41 yıl için yıllık bazda incelenmiş olup, ortalama fırtına süreleri, toplam fırtına süreleri ve maksimum fırtına süreleri olmak üzere üç başlıkta analiz edilmiş ve sadece maksimum fırtına süreleri için 95 konum arasında anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

3.2.2.1 Maksimum Fırtına Sürelerindeki Değişimler

Uzamsal değişimleri incelemek amacıyla çalışma alanındaki 95 konum için 41 yıl boyunca yıllık maksimum fırtına süreleri bulunmuş ve konumlar arasından 41 yıllık anlamlı eğilime sahip olanlar Harita 3.3'te, elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık seviyeleri Tablo 3.2'de gösterilmiştir.



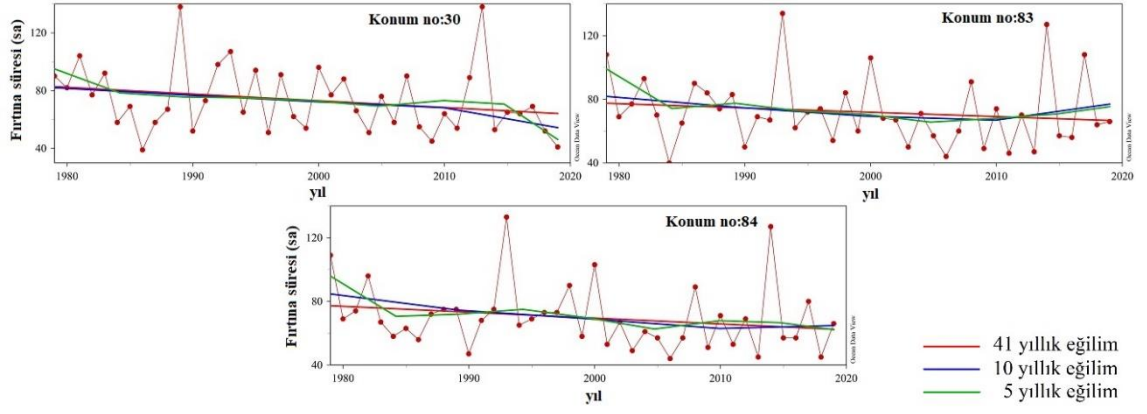
Harita 3.3 Yıllık maksimum fırtına sürelerindeki 41 yıllık anlamlı eğilimler (sa/yıl)

Tablo 3.2 Yıllık maksimum fırtına sürelerindeki 41 yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri

Konum Numarası	30	83	84
Eğilim (sa/yıl)	-0,54	-0,43	-0,38
Anlamlılık (%)	96	92	95

Harita 3.3 ve Tablo 3.2'ye göre, çalışma alanında, maksimum fırtına süreleri için sadece azalma eğilimleri elde edilmiştir. Sinop kıyısındaki 30 numaralı konumda her 10 yılda 5,5 sa'ya yakın ve %96 anlamlılık düzeyine sahip bir azalma eğilimi gözlenirken, bu eğilim değeri bu alandaki maksimum şiddetli ve anlamlılık değeri en yüksek eğilim değeri olma özelliği göstermektedir. Ayrıca Karadeniz'in kuzeyinde bulunan 83 ve 84 numaralı konumlarda her 10 yılda yaklaşık 4 sa'lık anlamlı azalma eğilimi elde edilmiştir.

41 yıllık analiz sonucu maksimum fırtına sürelerinde anlamlı eğilim belirlenen konumların farklı zaman aralıklarındaki değişimlerini incelemek için anlamlı eğilime sahip konumların zaman serileri ve bu seriler üzerindeki 5, 10 ve 41 yıllık eğilim çizgileri Şekil 3.2'de sunulmuştur.



Şekil 3.2 Yıllık maksimum fırtına süreleri zaman serileri ve 5,10 ve 41 yıllık eğilim çizgileri (sa/yıl)

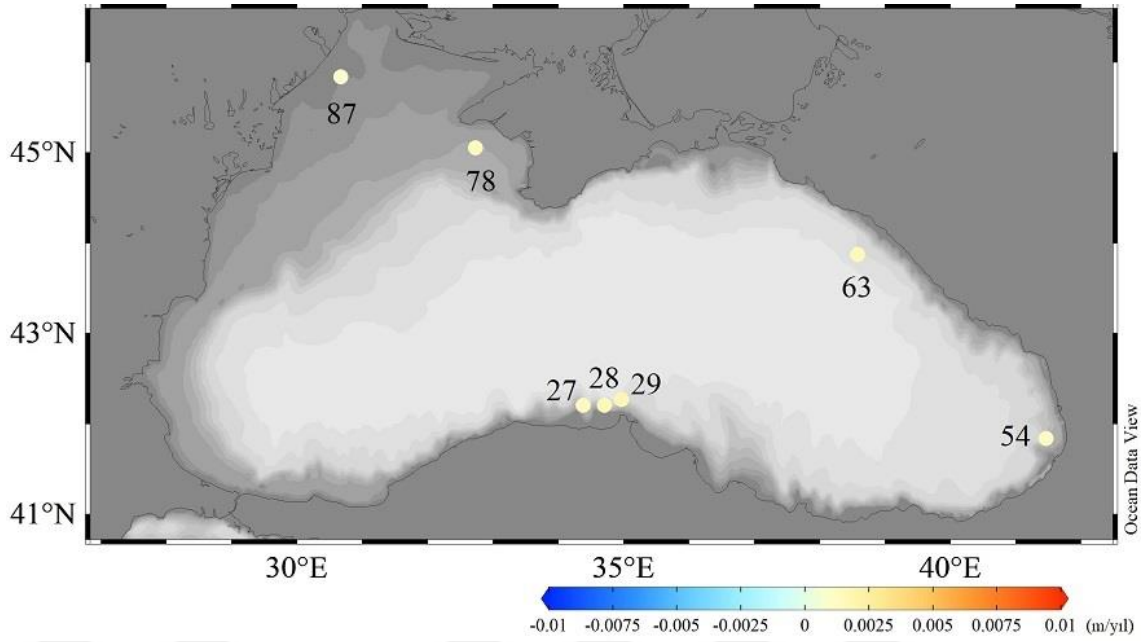
Şekil 3.2'ye göre 41 yıl için azalma eğilimi belirlenen üç konumda ilk beş yıldaki azalmalar daha şiddetli olup, Sinop kıyısında son beş yılda da azalma şiddeti artarken, 83 numaralı konumda son 10 yılda eğilimin azalma yönünden artış yönüne doğru döndüğü tespit edilmiştir.

3.2.3 Fırtınaların Dalga Yüksekliklerindeki Değişimler

Fırtınaların dalga yüksekliklerindeki uzun dönemli uzamsal değişimler 41 yıl için yıllık bazda yapılmış olup, fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri, fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleri ve fırtınaların maksimum dalga yükseklikleri olmak üzere üç başlıkta analiz edilmiştir.

3.2.3.1 Fırtınaların Ortalama Dalga Yüksekliklerindeki Değişimler

Çalışma alanındaki 95 konum için 41 yıl boyunca fırtınaların yıllık ortalama dalga yükseklikleri bulunmuş olup, uzamsal analiz sonucu bu konumlardan 41 yıllık anlamlı eğilime sahip olanlar Harita 3.4'te gösterilirken, elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık dereceleri Tablo 3.3'te sunulmuştur.



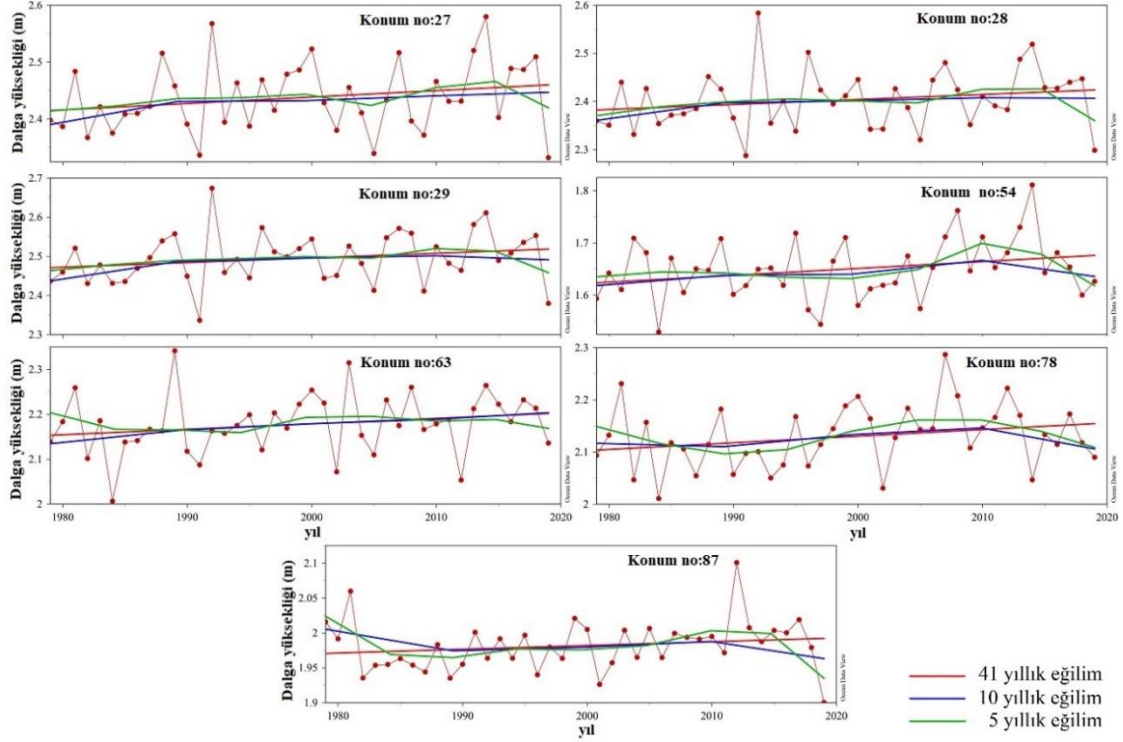
Harita 3.4 Fırtınaların yıllık ortalama dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık anlamlı eğilimler (m/yıl)

Tablo 3.3 Fırtınaların yıllık ortalama dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri

Konum Numarası	27	28	29	54	63	78	87
Eğilim (m/yıl)	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001
Anlamlılık (%)	91	91	94	92	95	91	95

Harita 3.4 ve Tablo 3.3'e göre, çalışma alanında, fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri için sadece artış eğilimleri gözlenirken, Karadeniz'in doğu kıyılarındaki eğilimler, Aydoğan ve Ayat (2018)'in Karadeniz'in doğusu için H_s 'lerde buldukları eğimler gibi artış yönündedir. Sinop kıyılarındaki üç konum için batıya doğru gidildikçe artış eğilim değerlerinin azaldığı görülürken, aynı kıyılardaki 29 numaralı konumda gözlenen her 10 yılda 1,7 cm'lik artış, bu parametre için en yüksek artış eğilimi değeridir. Karadeniz'in kuzeydoğusundaki Rusya kıyısında bulunan 63 numaralı konumda gözlenen her 10 yıldaki 1,5 cm'lik artış eğilimi ile Karadeniz'in kuzeybatısındaki Odessa kıyısında bulunan 87 numaralı konumda elde edilen her 10 yılda 0,8 cm'lik artış eğilimi değerinin, %95 ile anlamlılık derecesi en yüksek eğilim değerleri olduğu görülmektedir. Odessa kıyısında bulunan 87 numaralı konum için fırtına sayısının azaldığı, buna karşılık fırtına ortalama dalga yüksekliğinin arttığı tespit edilmiştir. Bunların dışında, Batum kıyısındaki 54 numaralı konumda her 10 yılda 1,1 cm, Kırım Yarımadası'nın batısındaki 78 numaralı konumda her 10 yılda 1,4 cm anlamlı artış eğilimi elde edilmiştir.

Fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerindeki uzamsal değişimleri belirlemek için uygulanan 41 yıllık analiz sonucu anlamlı eğilim tespit edilen konumların farklı zaman aralıklarındaki değişimlerini incelemek amacıyla anlamlı eğilime sahip konumların zaman serileri ve bu seriler üzerindeki 5, 10 ve 41 yıllık eğilim çizgileri Şekil 3.3'te sunulmuştur.

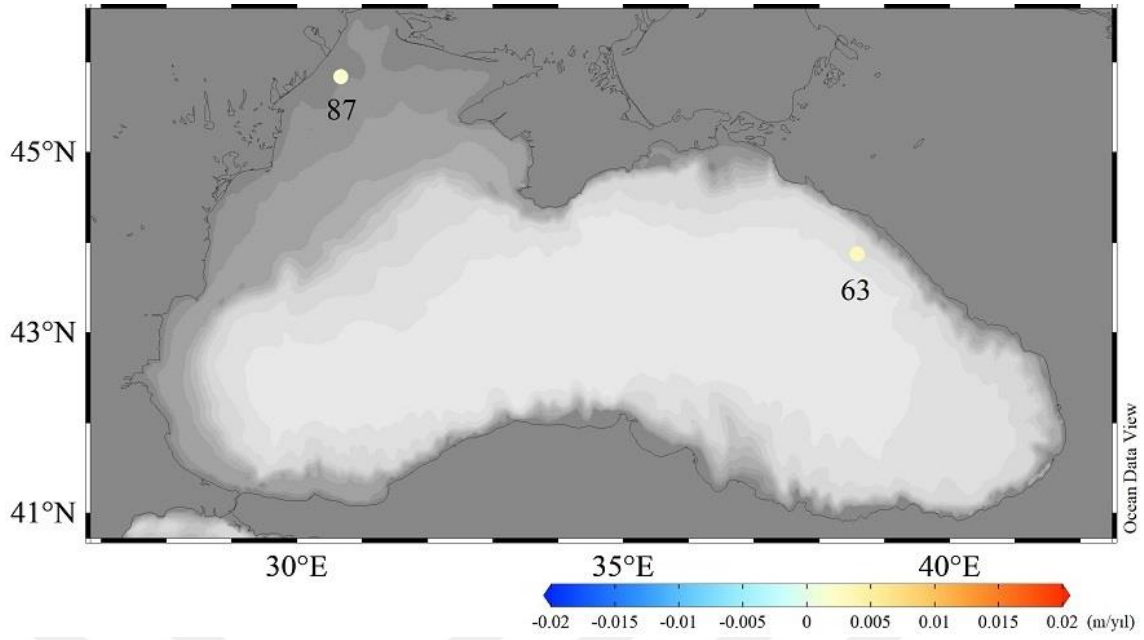


Şekil 3.3 Fırtınaların yıllık ortalama dalga yüksekliği zaman serileri ve 5,10 ve 41 yıllık eğilim çizgileri (m/yıl)

Şekil 3.3'e göre 41 yıllık analiz sonucu fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerinde artış eğilimine sahip tüm konumlarda son beş yılda ciddi azalmalar göze çarpmaktadır. Ayrıca Karadeniz'in kuzeyinde bulunan 63, 78 ve 87 numaralı konumlarda da 41 yıllık artış eğilimine karşılık çalışma döneminin ilk 10 yılında azalma eğilimine sahip oldukları görölmektedir.

3.2.3.2 Fırtınaların Ortalama Pik Dalga Yüksekliklerindeki Değişimler

Çalışma alanındaki 95 konum için 41 yıl boyunca fırtınaların yıllık ortalama pik dalga yükseklikleri bulunmuş olup, konumlar arasından uzamsal analiz sonucu 41 yıllık anlamlı eğilime sahip olanlar Harita 3.5'te gösterilmiştir. Bu konumlar için elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık dereceleri Tablo 3.4'te gösterilmiştir.



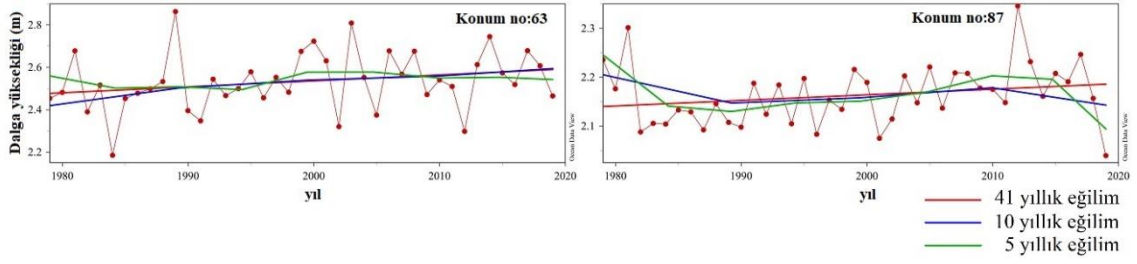
Harita 3.5 Fırtınaların yıllık ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık anlamlı eğilimler (m/yıl)

Tablo 3.4 Fırtınaların yıllık ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri

Konum Numarası	63	87
Eğilim (m/yıl)	0,003	0,002
Anlamlılık (%)	95	96

Harita 3.5 ve Tablo 3.4'e göre, çalışma alanında, fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleri için 95 konum arasından sadece iki tanesinde anlamlı artış eğilimi tespit edilmiştir. Karadeniz'in kuzeydoğusunda bulunan Rusya kıyısındaki 63 numaralı konumda gözlenen her 10 yılda 3,1 cm'lik artış eğilimi, bu parametredeki en yüksek şiddete sahip eğilim değeri olurken, bu konumda ortalama dalga yüksekliğiyle birlikte ortalama pik dalga yüksekliğinin de arttığı belirlenmiştir. Karadeniz'in kuzeybatısında bulunan Odessa kıyısındaki 87 numaralı konumda görülen her 10 yılda 1,7 cm'lik artış eğilimi %96 ile bu parametredeki anlamlılık değeri en yüksek artış eğilimi olarak saptanmıştır. 87 numaralı konum için fırtına sayısının azaldığı buna karşılık, ortalama dalga yüksekliğinin ve ortalama pik dalga yüksekliğinin arttığı tespit edilmiştir.

Fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık analiz sonucu anlamlı eğilime sahip konumların farklı zaman aralıklarındaki değişimleri araştırılmış olup, bu konumların zaman serileri ve bu seriler üzerindeki 5, 10 ve 41 yıllık eğilim çizgileri Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

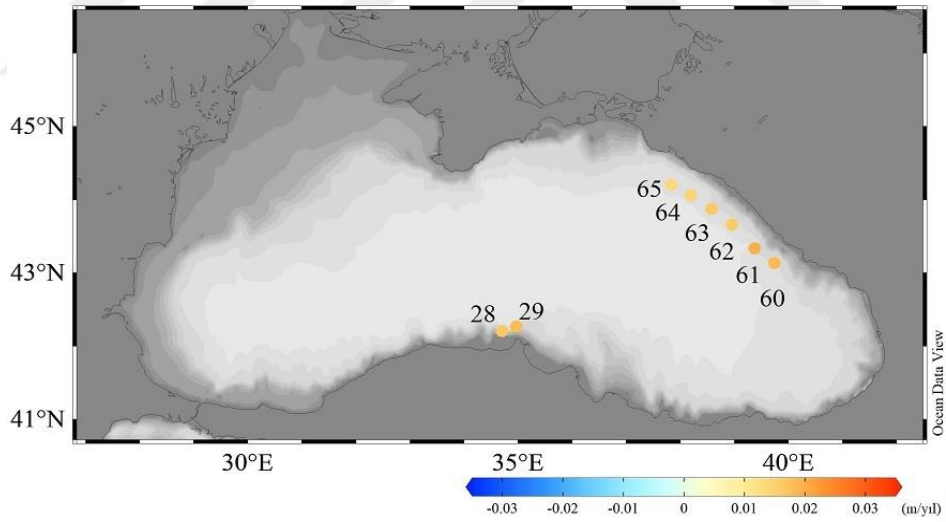


Şekil 3.4 Fırtınaların yıllık ortalama pik dalga yüksekliği zaman serileri ve 5,10 ve 41 yıllık eğilim çizgileri (m/yıl)

Şekil 3.4'e göre 41 yıllık analiz sonucu artış eğilimine sahip iki konumda da fırtınaların ortalama pik dalga yükseklerinin ilk beş yılda azaldığı, Odessa kıyısındaki 87 numaralı konumda son 10 yılda da azalma yöneliminde olduğu dikkat çekmiştir.

3.2.3.3 Fırtınaların Maksimum Dalga Yüksekliklerindeki Değişimler

Uzamsal analiz yapmak amacıyla çalışma alanındaki 95 konum için 41 yıl boyunca fırtınaların yıllık maksimum dalga yükseklikleri bulunmuş olup, 95 konum arasından 41 yıllık anlamlı eğilime sahip olanlar Harita 3.6'da gösterilmiştir. Bu konumlar için elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık seviyeleri Tablo 3.5'te sunulmuştur.



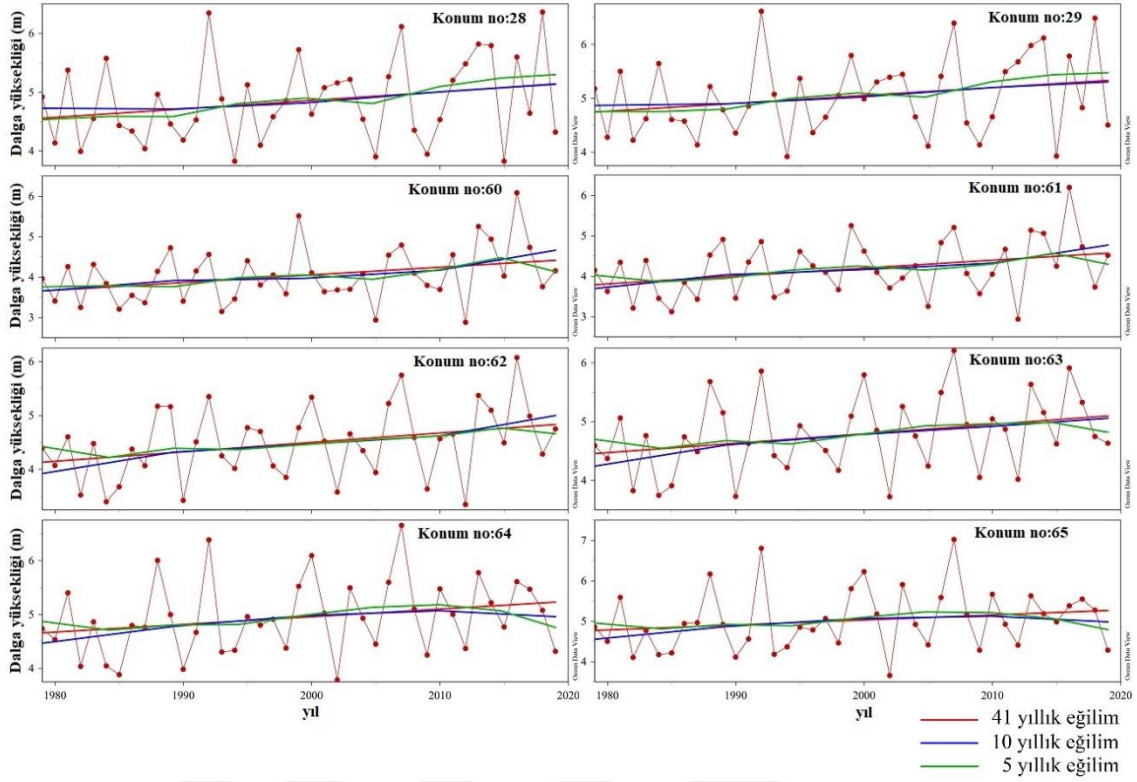
Harita 3.6 Fırtınaların yıllık maksimum dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık anlamlı eğilimler (m/yıl)

Tablo 3.5 Fırtınaların yıllık maksimum dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri

Konum Numarası	28	29	60	61	62	63	64	65
Eğilim (m/yıl)	0,016	0,018	0,018	0,020	0,016	0,016	0,015	0,014
Anlamlılık (%)	90	90	95	95	92	93	94	92

Harita 3.6 ve Tablo 3.5'e göre, çalışma alanında, maksimum dalga yükseklikleri için sadece artış eğilimleri gözlenmiştir. Karadeniz'in kuzeydoğusundaki Rusya kıyılarında bulunan 60-65 numaralı konumlar arasındaki bölgede belirlenen anlamlı artış eğilimlerine bakıldığında, Saprykina vd. (2019)'un, Karadeniz'in kuzeydoğusundaki bu konumların bulunduğu bölgeyi, Karadeniz'in doğusunda homojenlik açısından ayrı bir bölge olarak belirlediği, Çarpar vd. (2019)'un bu bölgede rüzgâr hızlarındaki artışı, yine Aydoğan ve Ayat (2018)'in Karadeniz'in doğusunda H_s 'teki artışı belirttiği görülmektedir. Bu konumlardan 61 numaralı konum, her 10 yılda yaklaşık 19,6 cm'lik artışla bu parametredeki hem en yüksek artışa hem de 60 numaralı konum ile beraber %95 anlamlılık ile en yüksek anlamlılık değerine sahip bölge olmuştur. Ayrıca 61 numaralı konumdan itibaren 65 numaralı konuma, yani batıya doğru gidildikçe artış eğilimi değerinin azaldığı görülmüş, 63 numaralı konum için dalga yüksekliğiyle alakalı tüm parametrelerde artış olduğu tespit edilmiştir. Sinop kıyılarındaki 28 ve 29 numaralı konumlarda da her 10 yılda 18 cm'ye ulaşan anlamlı artış eğilimleri söz konusu olup, aynı kıyılarda maksimum dalga yüksekliklerindeki artışın yanı sıra, ortalama dalga yüksekliklerinin de arttığı tespit edilmiştir.

Fırtınaların maksimum dalga yüksekliklerindeki uzun dönemli analiz sonucu anlamlı eğilime sahip konumların farklı zaman aralıklarındaki değişimleri araştırılmış olup, bu konumların zaman serileri ve bu seriler üzerindeki 5, 10 ve 41 yıllık eğilim çizgileri Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



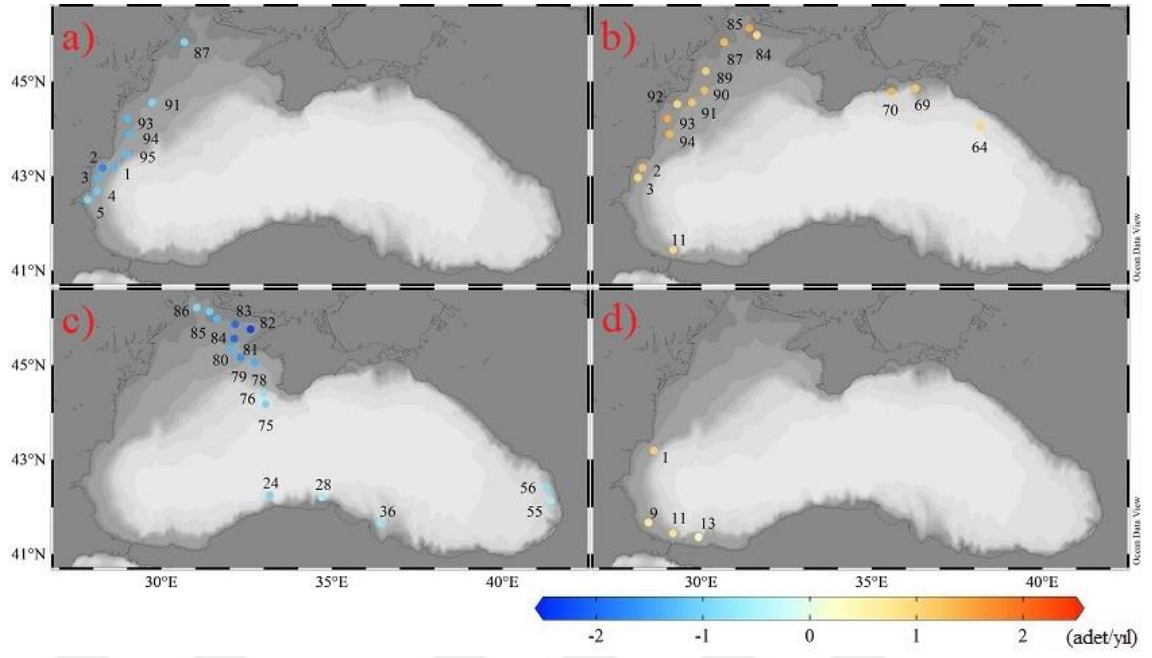
Şekil 3.5 Fırtınaların yıllık maksimum dalgı yüksekliği zaman serileri ve 5,10 ve 41 yıllık eğilim çizgileri (m/yıl)

Şekil 3.5'e göre maksimum dalgı yüksekliklerinin çoğunlukla 3-4'er yıllık periyotlarla pik değerlere ulaştığı, 41 yıl için istikrarlı eğilimlere sahip oldukları görülmüştür.

3.3 Eğilim Analizi İçin Seçilen Zaman Aralığının Uzamsal Sonuçlar Üzerindeki Etkisi

3.3.1 Fırtına Sayılarındaki Değişimler

Eğilim analizi için seçilen zaman aralığının uzamsal sonuçlar üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 1979-2019 yılları arasındaki 41 yıllık dönem 10'ar yıllık aralıklara bölünmüş olup, her dönem 95 konum için ilk olarak fırtına sayılarındaki anlamlı değişimler tespit edilmiştir. Anlamlı değişime sahip konumlar ve eğilim değerleri Harita 3.7'de, bu konumlar için elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık seviyeleri Tablo 3.6'da sunulmuştur.



Harita 3.7 Yıllık toplam fırtına sayılarındaki 10'ar yıllık anlamlı eğilimler (adet/yıl), a) 1979-1989, b) 1989-1999, c) 1999-2009 ve d) 2009-2019

Tablo 3.6 Yıllık toplam fırtına sayılarındaki 10'ar yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri

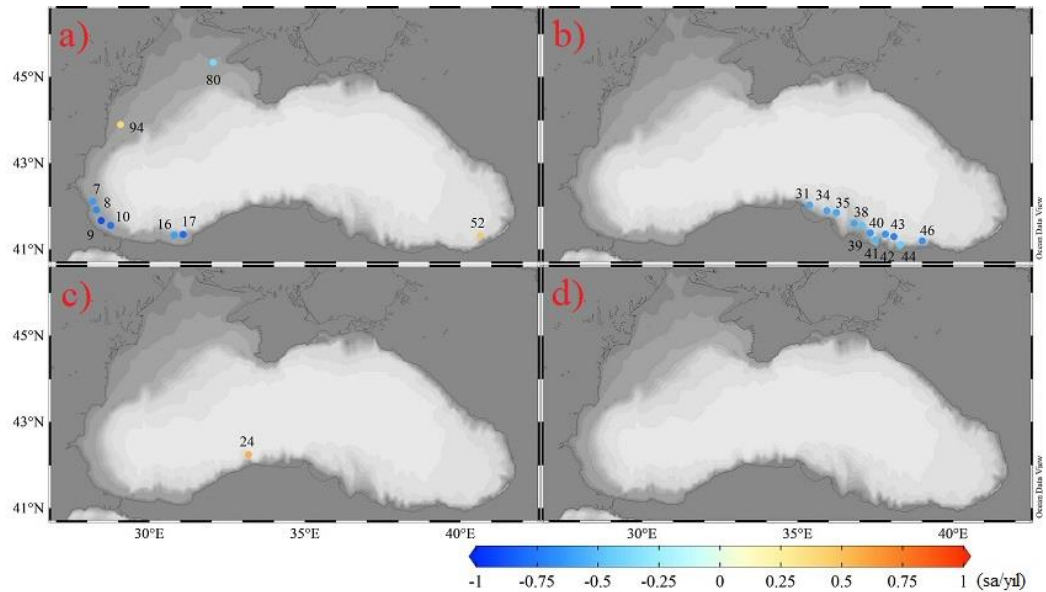
1979-1989	Konum Numarası	1	2	3	4	5	87	91	93	94	95						
	Eğilim (adet/yıl)	-1,33	-1,75	-1,33	-1,11	-1,00	-1,00	-1,00	-1,33	-1,33	-1,29						
	Anlamlılık (%)	98	99	99,5	92	90	93	90	98	97	97						
1989-1999	Konum Numarası	2	3	11	64	69	70	84	85	87	89	90	91	92	93	94	
	Eğilim (adet/yıl)	1,25	1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	1,00	1,50	1,33	1,14	1,33	1,25	1,00	1,50	1,40	
	Anlamlılık (%)	93	95	90	93	96	94	90	93	93	98	98	99,5	99	98	97	
1999-2009	Konum Numarası	24	28	36	55	56	75	76	78	79	80	81	82	83	84	85	86
	Eğilim (adet/yıl)	-1,00	-0,67	-0,75	-0,67	-0,88	-1,00	-0,83	-1,40	-1,63	-1,33	-2,00	-2,33	-2,00	-1,33	-1,10	-1,00
	Anlamlılık (%)	98	90	98	92	92	93	98	99	97	94	99	98	99	97	95	96
2009-2019	Konum Numarası	1	9	11	13												
	Eğilim (adet/yıl)	1,10	0,75	0,86	0,40												
	Anlamlılık (%)	94	91	96	91												

Harita 3.7 ve Tablo 3.6'ya göre, eğilim yönelimleri haritaların geneli için her 10 yılda sırasıyla azalma, artış şeklinde dalgalanmalı bir görüntü vermektedir. İlk 10 yılda Karadeniz'in batısında her yıl minimum 1 adetlik %99,5'lara ulaşan anlamlılık düzeyine sahip azalma eğilimleri gözlenirken, ikinci 10 yılda aynı bölgeyle beraber kuzeybatı sahillerinde ve Kırım Yarımadası'nın doğusunda her yıl minimum 1 adet ve yine %99,5 anlamlılık seviyelerini gören artış eğilimleri meydana gelmiştir. Üçüncü 10 yılda Karadeniz'in kuzeybatısındaki Odessa sahilinden başlayıp, Kırım Yarımadası'nın tüm batı sahillerini içine alan bölgede her yıl 2 adedi bulan, Türkiye'nin Orta Karadeniz kıyılarında ve Karadeniz'in doğusundaysa daha düşük şiddete sahip anlamlı azalma eğilimleri bulunurken, çalışma döneminin son 10 yılında sadece Karadeniz'in batısındaki 1 numaralı konum ve güneybatısındaki üç konum anlamlı artış eğilimine sahiptir. 41 yıl için anlamlı eğilime sahip konumlardan hiçbirinde son 10 yılda anlamlı bir değişim eğilimi gözlenememiştir.

3.3.2 Fırtına Sürelerindeki Değişimler

3.3.2.1 Ortalama Fırtına Sürelerindeki Değişimler

Farklı zaman aralıklarındaki analizlerin sonuçlar üzerindeki etkisini incelemek amacıyla 1979-2019 yılları arasındaki 41 yıl, 10'ar yıllık dönemlere bölünmüş ve analiz edilmiştir. Dört dönemde 95 konum için yıllık ortalama fırtına sürelerinde anlamlılık tespit edilen uzamsal sonuçlar Harita 3.8'de, bu konumlar için elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık düzeyleri Tablo 3.7'de gösterilmiştir.



Harita 3.8 Yıllık ortalama fırtına sürelerindeki 10'ar yıllık anlamlı eğilimler (sa/yıl), a) 1979-1989, b) 1989-1999, c) 1999-2009 ve d) 2009-2019

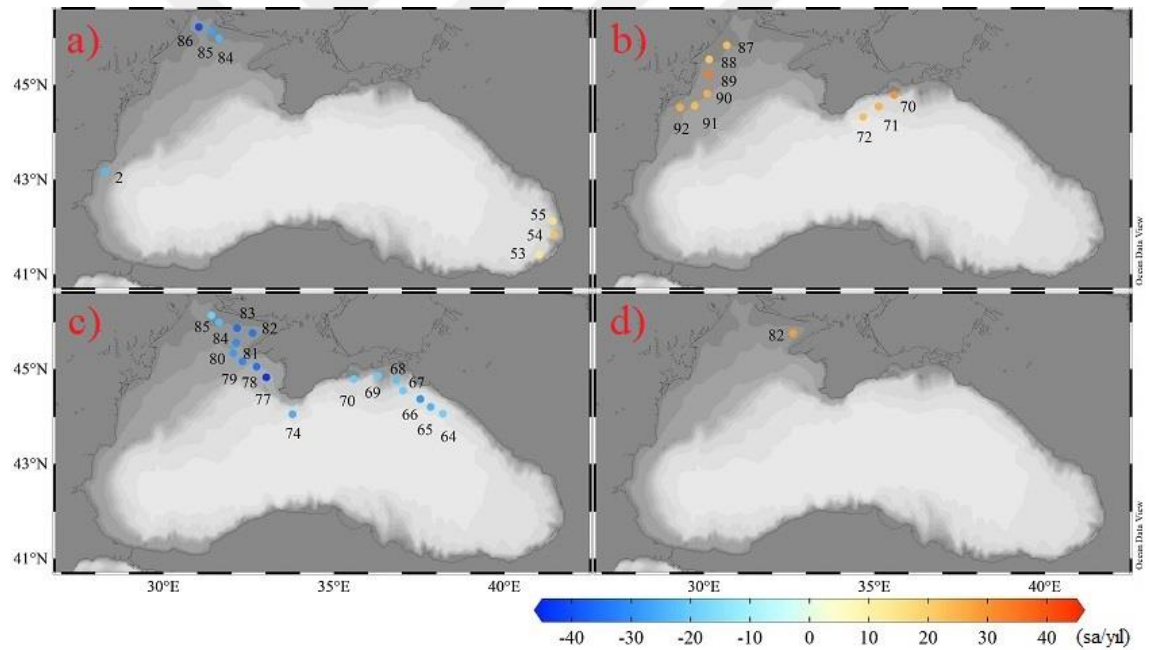
Tablo 3.7 Yıllık ortalama fırtına sürelerindeki 10'ar yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri

1979-1989	Konum Numarası	7	8	9	10	16	17	52	80	94		
	Eğilim (sa/yıl)	-0,63	-0,70	-0,90	-0,78	-0,61	-0,80	0,47	-0,39	0,41		
	Anlamlılık (%)	98	98	99	91	91	91	92	95	93		
1989-1999	Konum Numarası	31	34	35	38	39	40	41	42	43	44	46
	Eğilim (sa/yıl)	-0,58	-0,59	-0,58	-0,60	-0,49	-0,64	-0,52	-0,64	-0,72	-0,45	-0,64
	Anlamlılık (%)	91	97	98	91	93	98	93	99	98	91	97
1999-2009	Konum Numarası	24										
	Eğilim (sa/yıl)	0,56										
	Anlamlılık (%)	97										
2009-2019	Konum Numarası											
	Eğilim (sa/yıl)											
	Anlamlılık (%)											

Harita 3.8 ve Tablo 3.7'ye göre ilk 10 yılda Karadeniz'in güneybatısında her yıl 1 sa'ya yakın ve %99 seviyesine ulaşan anlamlılıkta azalma eğilimleri dikkati çekerken, ikinci 10 yılda Karadeniz'in güneyinde bulunan Sinop-Trabzon arasındaki bölgede her yıl yarım saati aşan %99 gibi yüksek anlamlılık derecesine varan azalmalar göze çarpmıştır. Üçüncü 10 yılda sadece güneydeki 24 numaralı konumda anlamlı bir artış gözlenirken son 10 yılda 41 yıllık dönemde olduğu gibi hiçbir konumda anlamlı bir değişim eğilimi tespit edilememiştir.

3.3.2.2 Toplam Fırtına Sürelerindeki Değişimler

Toplam fırtına sürelerindeki uzun dönemli değişimler için analiz edilen zaman aralığının sonuçlar üzerindeki etkisini görmek amacıyla 1979-2019 yılları arası 10'ar yıllık dört döneme ayrılmış ve bu dönemler için yapılan analizler sonrası 95 konum arasından anlamlılık tespit edilen konumlara ait uzamsal sonuçlar Harita 3.9'da, bu konumlar için elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık dereceleri Tablo 3.8'de sunulmuştur.



Harita 3.9 Yıllık toplam fırtına sürelerindeki 10'ar yıllık anlamlı eğilimler (sa/yıl), a) 1979-1989, b) 1989-1999, c) 1999-2009 ve d) 2009-2019

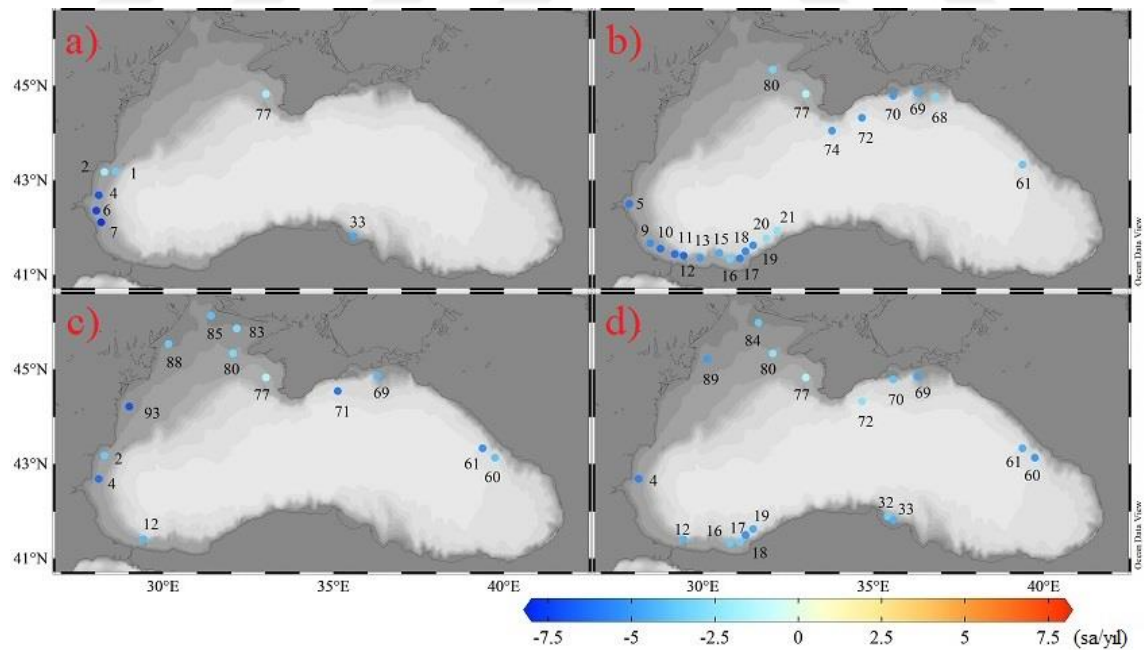
Tablo 3.8 Yıllık toplam fırtına sürelerindeki 10'ar yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri

1979-1989	Konum Numarası	2	53	54	55	84	85	86							
	Eğilim (sa/yıl)	-23,50	14,29	22,75	15,80	-24,50	-27,25	-40,33							
	Anlamlılık (%)	91	91	91	91	95	93	95							
1989-1999	Konum Numarası	70	71	72	87	88	89	90	91	92					
	Eğilim (sa/yıl)	29,71	25,00	22,57	23,25	22,17	33,67	26,33	24,00	26,60					
	Anlamlılık (%)	97	95	91	97	95	97	98	93	97					
1999-2009	Konum Numarası	64	65	66	67	68	69	70	74	77	78	79	80	81	82
	Eğilim (sa/yıl)	-19,00	-24,13	-28,67	-20,22	-22,00	-20,33	-20,25	-25,00	-44,00	-34,83	-31,33	-28,43	-30,71	-34,40
	Anlamlılık (%)	95	91	91	91	95	98	98	93	97	93	97	95	98	97
	Konum Numarası	83	84	85											
	Eğilim (sa/yıl)	-36,00	-23,33	-20,00											
	Anlamlılık (%)	98	95	93											
2009-2019	Konum Numarası	82													
	Eğilim (sa/yıl)	28,29													
	Anlamlılık (%)	91													

Harita 3.9 ve Tablo 3.8'e göre farklı dönemlere ait anlamlı eğilimler çoğunlukla Karadeniz'in kuzey kıyılarında bulunmaktadır. İlk 10 yılda Karadeniz'in kuzeyinde her yıl 27 sa'yı bulan anlamlı azalma, doğusundaysa 23 sa'ya ulaşan anlamlı artış eğilimleri görülmüştür. İkinci 10 yılda Karadeniz'in kuzeybatı kıyıları ve Kırım Yarımadası'nın doğu sahillerinde 22-30 sa arası ve çoğunlukla %97-98 gibi yüksek seviyede anlamlılığa sahip artış eğilimleri gözlenirken, üçüncü 10 yılda Kırım Yarımadası'nın batı sahilleri ve Karadeniz'in kuzeydoğu kıyılarında 20-44 sa arası ve yüksek anlamlılık seviyesine sahip azalma eğilimleri tespit edilmiştir. Son 10 yılda sadece Karadeniz'in kuzeyindeki 82 numaralı konumda anlamlı bir artış eğilimi elde edilmiştir. 41 yıllık dönem için yapılan analizlerde yıllık toplam fırtına süresi için 95 konum arasından herhangi birinde anlamlı bir değişim bulunamamıştı.

3.3.2.3 Maksimum Fırtına Sürelerindeki Değişimler

Farklı zaman aralıklarındaki uzamsal sonuçları belirlemek amacıyla 1979-2019 yılları arasındaki 10'ar yıllık dört dönemde 95 konum için analizler yapılmış olup, analiz sonucu yıllık maksimum fırtına sürelerinde anlamlılık düzeyinde değişime sahip konumlar ve eğilim değerleri Harita 3.10'da gösterilirken, aynı konumlara ait eğilim değerleri ve anlamlılık seviyeleri Tablo 3.9'da sunulmuştur.



Harita 3.10 Yıllık maksimum fırtına sürelerindeki 10'ar yıllık anlamlı eğilimler (sa/yıl), a) 1979-1989, b) 1989-1999, c) 1999-2009 ve d) 2009-2019

Tablo 3.9 Yıllık maksimum fırtına sürelerindeki 10'ar yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri

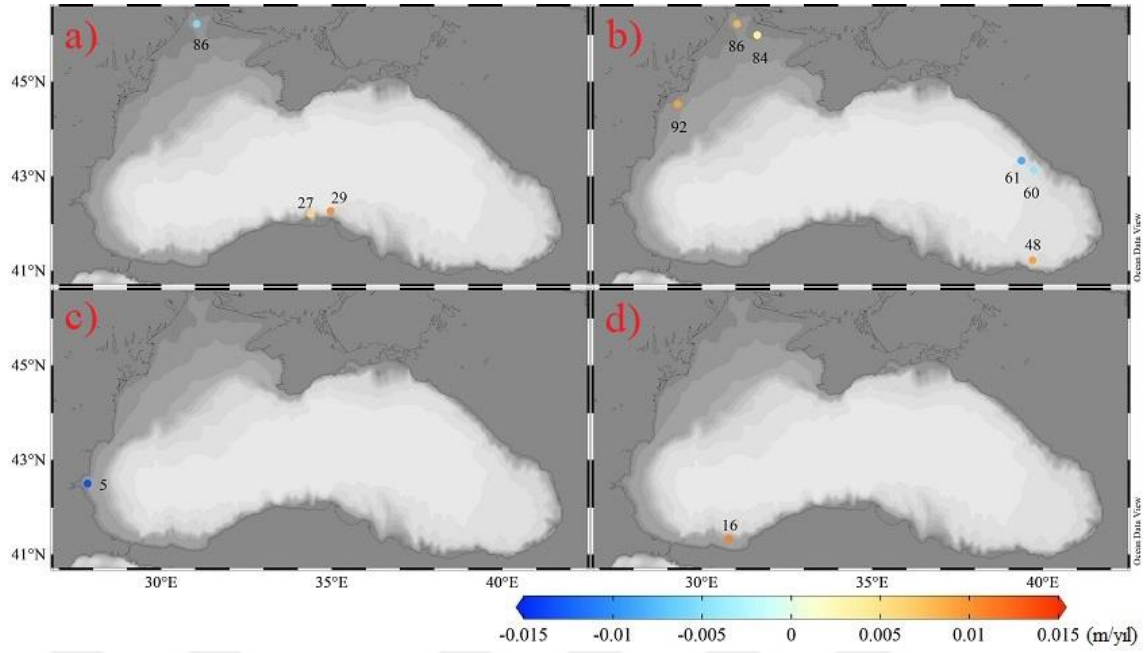
1979-1989	Konum Numarası	1	2	4	6	7	33	77										
	Eğilim (sa/yıl)	-3,67	-2,11	-7,00	-7,50	-7,83	-4,67	-2,00										
	Anlamlılık (%)	94	91	94	96	96	97	95										
1989-1999	Konum Numarası	5	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21	61	68	69	70
	Eğilim (sa/yıl)	-6,00	-5,29	-6,25	-6,25	-6,50	-5,00	-4,60	-3,40	-5,80	-5,50	-5,25	-2,75	-2,67	-3,75	-3,10	-4,50	-5,00
	Anlamlılık (%)	93	90	94	96	97	96	97	94	98	98	97	93	92	94	93	95	94
	Konum Numarası	72	74	77	80													
	Eğilim (sa/yıl)	-5,00	-5,00	-1,67	-3,33													
	Anlamlılık (%)	95	91	97	95													
1999-2009	Konum Numarası	2	4	12	60	61	69	71	77	80	83	85	88	93				
	Eğilim (sa/yıl)	-3,60	-6,22	-4,13	-3,89	-5,17	-4,13	-6,00	-1,50	-3,11	-3,00	-4,00	-3,67	-7,00				
	Anlamlılık (%)	92	91	92	91	91	97	94	95	93	91	95	90	92				
2009-2019	Konum Numarası	4	12	16	17	18	19	32	33	60	61	69	70	72	77	80	84	89
	Eğilim (sa/yıl)	-5,71	-4,20	-3,67	-3,57	-5,17	-4,50	-3,44	-4,38	-5,00	-4,44	-4,75	-3,86	-2,63	-1,67	-2,67	-3,71	-5,00
	Anlamlılık (%)	93	91	93	97	98	98	91	96	98	91	92	92	91	97	91	96	95

Harita 3.10 ve Tablo 3.9'a göre 41 yılda olduğu gibi 10'ar yıllık dönemlerde de sadece anlamlı azalma eğilimleri görülmekte olup, bu eğilimler ilk 20 yılda bölgesel yoğunlaşmalar gösterirken, son 20 yılda daha homojen bir dağılım gösterdiği ve en yüksek şiddete sahip eğilim değerinin her 10 yıl sonrası azaldığı saptanmıştır. İlk 10 yılda Karadeniz'in batısında her yıl 7,5 sa'ya, ikinci 10 yılda Karadeniz'in güneybatı kıyılarında ve kuzeyindeki Kırım Yarımadası sahillerinde maksimum 6 sa'ya ulaşan anlamlı azalma eğilimleri bulunmaktadır. Üçüncü 10 yılda anlamlı eğilime sahip konumlar, Karadeniz'in güneyi hariç homojen bir dağılım gösterirken, son 10 yılda güney kıyıları da kapsayan ve maksimum 5,5 sa'yı bulan azalma eğilimleri gözlenmiştir. 41 yıllık dönem boyunca anlamlı azalma eğilimi görülen konumlardan Sinop kıyısındaki 30 numaralı konumda 10'ar yıllık dönemler boyunca hiçbir dönemde anlamlı bir değişim eğilimi elde edilemezken, kuzeyde bulunan 84 numaralı konumdaysa son 10 yılda anlamlı bir azalma eğilimi bulunmuştur. 10'ar yıllık dönemlerin tümünde anlamlı azalma eğilimine sahip Karadeniz'in kuzeyindeki 77 numaralı konumla, son üç 10'ar yıllık dönemde azalma eğilimi bulunan 12, 61, 69 ve 80 numaralı konumlarda 41 yıllık dönem için herhangi bir değişim eğilimi bulunmadığı görülmektedir.

3.3.3 Fırtınaların Dalga Yüksekliklerindeki Değişimler

3.3.3.1 Fırtınaların Ortalama Dalga Yüksekliklerindeki Değişimler

Eğilim analizi için seçilen zaman aralığının sonuçlar üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 1979-2019 yılları arası, 10'ar yıllık dört döneme ayrılmış ve 95 konum için uzamsal analizler yapılmıştır. Analizler sonucu fırtınaların yıllık ortalama dalga yükseklikleri için anlamlı değişime sahip konumlar ve eğilim değerleri Harita 3.11'de, bu konumlara ait eğilim değerleri ve anlamlılık dereceleri Tablo 3.10'da sunulmuştur.



Harita 3.11 Fırtınaların yıllık ortalama dalga yüksekliklerindeki 10’ar yıllık anlamlı eğilimler (m/yıl), a) 1979-1989, b) 1989-1999, c) 1999-2009 ve d) 2009-2019

Tablo 3.10 Fırtınaların yıllık ortalama dalga yüksekliklerindeki 10’ar yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri

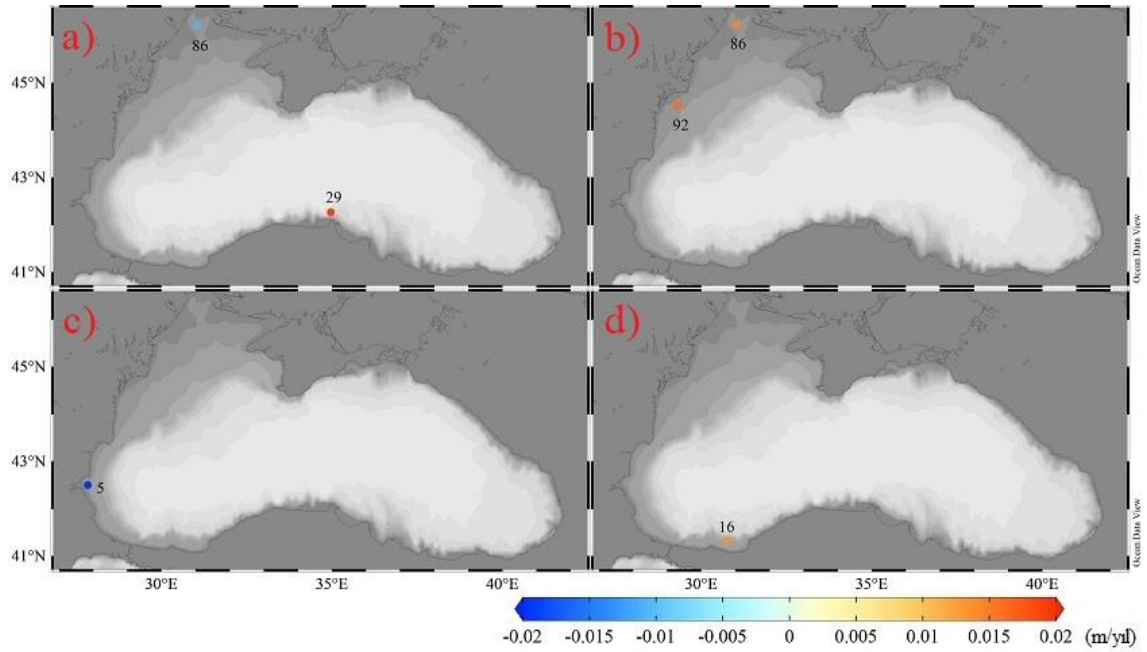
1979-1989	Konum Numarası	27	29	86			
	Eğilim (m/yıl)	0,006	0,010	-0,006			
	Anlamlılık (%)	91	93	91			
1989-1999	Konum Numarası	48	60	61	84	86	92
	Eğilim (m/yıl)	0,009	-0,005	-0,009	0,004	0,008	0,009
	Anlamlılık (%)	93	93	93	91	99	93
1999-2009	Konum Numarası	5					
	Eğilim (m/yıl)	-0,013					
	Anlamlılık (%)	91					
2009-2019	Konum Numarası	16					
	Eğilim (m/yıl)	0,011					
	Anlamlılık (%)	95					

Harita 3.11 ve Tablo 3.10’a göre Karadeniz’in kuzeydoğusundaki Odessa kıyısında ilk 10 yıllık dönemde her yıl 0,6 cm’lik anlamlı bir azalma eğilimi görülürken, aynı konumda ikinci 10 yılda her yıl için 0,8 cm ve %99 anlamlılığa sahip bir artış eğilimi bulunmuştur. Son 10 yılda sadece Karadeniz’in güneybatısındaki 16 numaralı konumda her yıl 1,1 cm’lik anlamlı bir artış tespit edilmiştir. 10 yıllık tüm dönemlerde 41 yıla göre daha az sayıdaki konumda anlamlı bir değişim gözlenirken, 41 yıllık süre boyunca anlamlı artış

eğilimi tespit edilen konumlardan 10'ar yıllık analizlerde sadece Sinop kıyılarındaki 27 ve 29 numaralı konumlarda ilk 10 yılda artış eğilimi elde edilmiştir.

3.3.3.2 Fırtınaların Ortalama Pik Dalga Yüksekliklerindeki Değişimler

Farklı zaman aralıklarındaki uzamsal sonuçları tespit etmek amacıyla 1979-2019 yılları arasındaki 10'ar yıllık dört dönemde 95 konum için analizler yapılmış olup, analizler sonucu fırtınaların yıllık ortalama pik dalga yükseklikleri için anlamlılık düzeyinde değişime sahip konumlar ve eğilim değerleri Harita 3.12'de, aynı konumlardaki eğilim değerleri ve anlamlılık dereceleri Tablo 3.11'de gösterilmiştir.



Harita 3.12 Fırtınaların yıllık ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 10'ar yıllık anlamlı eğilimler (m/yıl), a) 1979-1989, b) 1989-1999, c) 1999-2009 ve d) 2009-2019

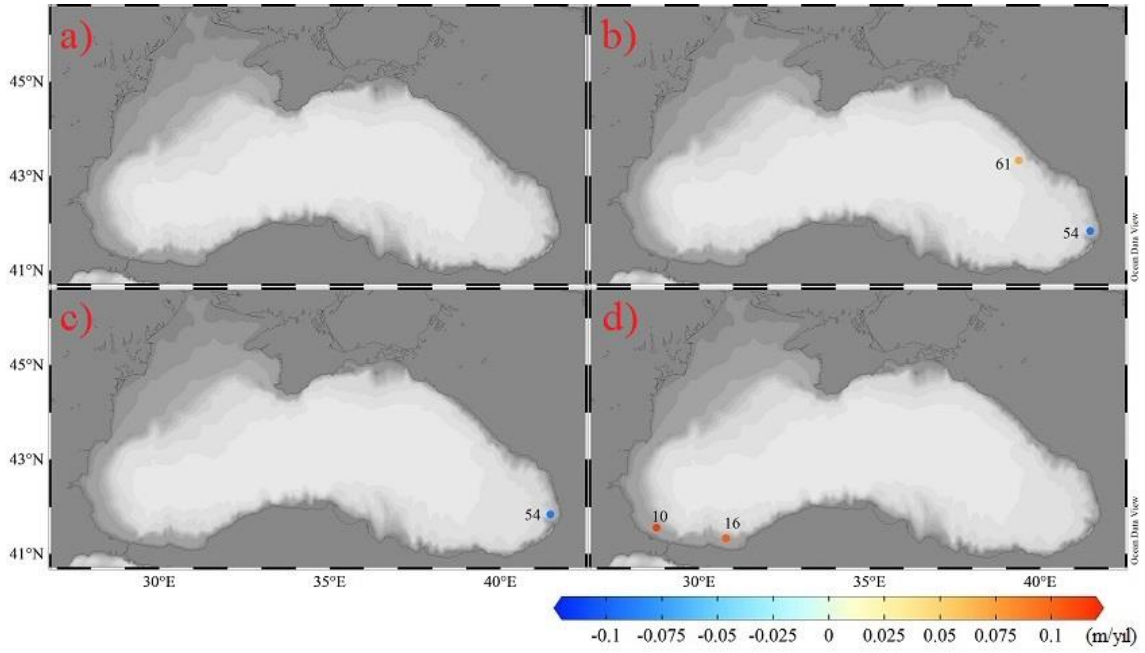
Tablo 3.11 Fırtınaların yıllık ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 10’ar yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri

1979-1989	Konum Numarası	29	86
	Eğilim (m/yıl)	0,019	-0,011
	Anlamlılık (%)	91	95
1989-1999	Konum Numarası	86	92
	Eğilim (m/yıl)	0,014	0,016
	Anlamlılık (%)	95	91
1999-2009	Konum Numarası	5	
	Eğilim (m/yıl)	-0,020	
	Anlamlılık (%)	93	
2009-2019	Konum Numarası	16	
	Eğilim (m/yıl)	0,013	
	Anlamlılık (%)	93	

Harita 3.12 ve Tablo 3.11’e göre 10’ar yıllık eğilimler istikrarsız ve az sayıdadır. Karadeniz’in kuzeybatısındaki Odessa kıyısında bulunan 86 numaralı konumda ilk 10 yılda her yıl 1,1 cm’lik %95 anlamlılığa sahip bir azalma gözlenirken, aynı konumda ikinci 10 yılda her yıl 1,4 cm’lik aynı anlamlılık seviyesine sahip bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Son 10 yılda sadece Karadeniz’in güneybatısındaki 16 numaralı konumda her yıl 1,3 cm’lik anlamlı bir artış eğilimi bulunmuştur. 41 yıl için anlamlı eğilim elde edilen konumlardan hiçbirinde 10’ar yıllık dönemlerde anlamlı bir değişim eğilimine rastlanamamıştır.

3.3.3.3 Fırtınaların Maksimum Dalga Yüksekliklerindeki Değişimler

Farklı zaman aralıklarında fırtınaların yıllık maksimum dalga yüksekliklerindeki uzamsal değişimleri incelemek amacıyla 1979-2019 yılları arası 10’ar yıllık dört döneme ayrılmış ve 95 konum için analizler yapılmıştır. Analizler sonucu anlamlılık düzeyinde değişime sahip konumlar ve eğilim değerleri Harita 3.13’te, eğilim değerleri ve anlamlılık seviyeleri Tablo 3.12’de gösterilmiştir.



Harita 3.13 Fırtınaların yıllık maksimum dalga yüksekliklerindeki 10’ar yıllık anlamlı eğilimler (m/yıl), a) 1979-1989, b) 1989-1999, c) 1999-2009 ve d) 2009-2019

Tablo 3.12 Fırtınaların yıllık maksimum dalga yüksekliklerindeki 10’ar yıllık eğilim ve anlamlılık değerleri

1979-1989	Konum Numarası		
	Eğilim (m/yıl)		
	Anlamlılık (%)		
1989-1999	Konum Numarası	54	61
	Eğilim (m/yıl)	-0,093	0,071
	Anlamlılık (%)	91	91
1999-2009	Konum Numarası	54	
	Eğilim (m/yıl)	-0,092	
	Anlamlılık (%)	93	
2009-2019	Konum Numarası	10	16
	Eğilim (m/yıl)	0,114	0,103
	Anlamlılık (%)	93	91

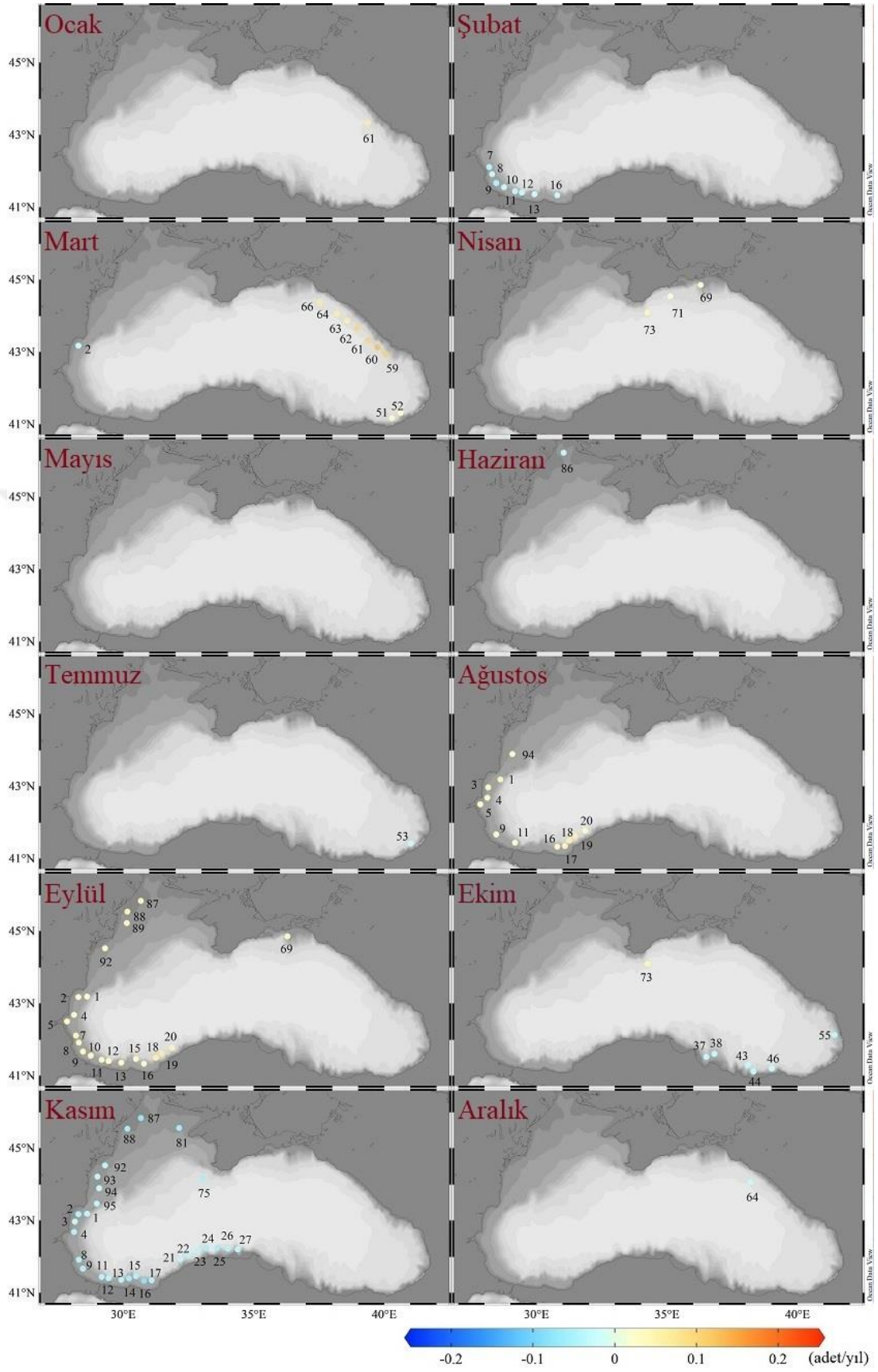
Harita 3.13 ve Tablo 3.12’ye göre, 10’ar yıllık dönemlerde, 41 yıllık döneme göre daha az sayıdaki konumda anlamlı bir değişim saptanmış olup, ilk 10 yılda hiçbir konumda anlamlı bir değişim eğilimi bulunamamıştır. İkinci ve üçüncü 10 yıllık dönemlerde Karadeniz’in doğusundaki 54 numaralı konumda yılda 9 cm’lik bir azalma eğilimi gözlenirken 41 yıllık dönem için bu konumda herhangi bir değişim eğilimine rastlanamamıştır. 41 yıllık dönemde anlamlı eğilime sahip konumlardan sadece Karadeniz’in kuzeydoğusunda bulunan 61 numaralı konumda ikinci 10 yılda bir artış

eğilimi tespit edilmiştir. Son 10 yılda Karadeniz'in güneybatısındaki 10 ve 16 numaralı konumlarda her yıl 10-11 cm anlamlı artış eğilimleri bulunurken, 41 yıllık dönem için bu bölgelerde herhangi bir değişim eğilimi bulunamamıştır. Ayrıca Karadeniz'in güneybatısındaki 16 numaralı konumda son 10 yılda maksimum fırtına sürelerinde anlamlı bir azalma eğilimi gözlenirken, fırtına dalga yükseklikleriyle ilgili tüm parametrelerde anlamlı artış eğilimi tespit edilmiştir.

3.4 Fırtınaların Mevsimselliği

3.4.1 Fırtına Sayılarındaki Mevsimsel Değişimler

Çalışma alanındaki 95 konum için uzun dönemli mevsimsel değişimleri belirlemek amacıyla ilk olarak 41 yıl boyunca aylık toplam fırtına sayıları bulunmuş ve analiz edilmiştir. Bu konumlardan 41 yıllık anlamlı eğilime sahip olanlar ve eğilim değerleri Harita 3.14'te gösterilirken, elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık dereceleri Tablo 3.13'te belirtilmiştir.



Harita 3.14 Toplam fırtına sayılarındaki 41 yıllık mevsimsel eğilimler (adet/yıl)

Tablo 3.13 Toplam fırtına sayılarındaki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri

Ocak	Konum Numarası	61										
	Eğilim (adet/yıl)	0,07										
	Anlamlılık (%)	93										
Şubat	Konum Numarası	7	8	9	10	11	12	13	16			
	Eğilim (adet/yıl)	-0,05	-0,03	-0,05	-0,03	-0,04	-0,03	-0,03	-0,03			
	Anlamlılık (%)	96	96	99	97	97	95	93	92			
Mart	Konum Numarası	2	51	52	59	60	61	62	63	64	66	
	Eğilim (adet/yıl)	-0,03	0,03	0,04	0,11	0,13	0,10	0,10	0,06	0,07	0,07	
	Anlamlılık (%)	93	90	91	98	99	98	98	92	90	94	
Nisan	Konum Numarası	69	71	73								
	Eğilim (adet/yıl)	0,03	0,01	0,04								
	Anlamlılık (%)	90	90	99								
Mayıs	Konum Numarası											
	Eğilim (adet/yıl)											
	Anlamlılık (%)											
Haziran	Konum Numarası	86										
	Eğilim (adet/yıl)	-0,04										
	Anlamlılık (%)	99,5										
Temmuz	Konum Numarası	53										
	Eğilim (adet/yıl)	-0,03										
	Anlamlılık (%)	94										

Tablo 3.13 Toplam fırtına sayılarındaki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri (devamı)

Ağustos	Konum Numarası	1	3	4	5	9	11	16	17	18	19	20	94				
	Eğilim (adet/yıl)	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,06	0,03	0,03				
	Anlamlılık (%)	99,5	99,5	98	98	98	95	96	99,5	99,5	99,9	96	99				
Eylül	Konum Numarası	1	2	4	5	7	8	9	10	11	12	13	15	16	18	19	20
	Eğilim (adet/yıl)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,06	0,07	0,05
	Anlamlılık (%)	93	97	91	95	97	97	97	98	93	96	91	92	90	97	98	91
	Konum Numarası	69	87	88	89	92											
	Eğilim (adet/yıl)	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04											
	Anlamlılık (%)	98	94	99	96	98											
Ekim	Konum Numarası	37	38	43	44	46	55	73									
	Eğilim (adet/yıl)	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	-0,03	-0,04	0,04									
	Anlamlılık (%)	95	90	92	95	91	92	96									
Kasım	Konum Numarası	1	2	3	4	8	9	11	12	13	14	15	16	17	21	22	23
	Eğilim (adet/yıl)	-0,04	-0,05	-0,03	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,04	-0,04	-0,07	-0,05	-0,08	-0,05	-0,04	-0,04	-0,04
	Anlamlılık (%)	91	97	94	96	94	95	94	92	95	98	97	99,5	95	90	93	91
	Konum Numarası	24	25	26	27	75	81	87	88	92	93	94	95				
	Eğilim (adet/yıl)	-0,06	-0,06	-0,05	-0,04	-0,06	-0,07	-0,08	-0,06	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04				
	Anlamlılık (%)	97	96	92	93	92	91	97	93	96	93	91	94				
Aralık	Konum Numarası	64															
	Eğilim (adet/yıl)	-0,03															
	Anlamlılık (%)	92															

Harita 3.14 ve Tablo 3.13'e göre 41 yıl boyunca aylık toplam fırtına sayılarındaki uzun dönemli değişimlere bakıldığında, genellikle Karadeniz'in batı ve güneybatı kıyılarındaki anlamlı eğilimler dikkat çekmektedir. Daha önceki çalışmalar bu çalışmadaki bulgularla kıyaslandığında: Karadeniz'in batı kıyılarında Çarpar vd. (2019), rüzgâr hızları için aynı yönde eğilimler bulmuşlardır. Mart, nisan ve ekim aylarına bakıldığında, Saprykina vd. (2019)'un, Karadeniz'in doğu kıyılarında benzer homojenliğe sahip olarak belirledikleri bölgeler için, fırtına sayılarındaki uzun dönemli değişimlerde de benzer homojenlikte yönelimler tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada fırtına sayılarında elde edilen mevsimsel eğilimler, Aydoğan ve Ayat (2018)'in H_s'ler için buldukları mevsimsel eğilimlerle benzer yönde davranışlar göstermektedir. Bulgular her ay için ayrı değerlendirildiğinde:

- Ocak ayında sadece Karadeniz'in doğusundaki 61 numaralı konumda her 15 yılda 1 adedi bulan anlamlı bir artış eğilimi gözlenmiştir.
- Şubat ayında Karadeniz'in güneybatı kıyılarında anlamlı azalma eğilimleri elde edilmiştir. Bu konumlar arasından, en batıdaki 7 numaralı konumda her 20 yılda 1 adet anlamlı bir azalma eğilimi gözlenirken, azalma eğilimlerinin batıdan doğuya doğru gidildikçe azaldığı, azalma eğiliminin en doğudaki 16 numaralı konumda her 35 yılda 1 adede kadar düştüğü görülmektedir.
- Mart ayında Karadeniz'in kuzeydoğusundaki yedi konum ve güneydoğusundaki iki konumda anlamlı artış eğilimleri gözlenirken, batısındaki 2 numaralı konumda her 35 yılda 1 adedi bulan anlamlı bir azalma eğilimi görülmüştür. Kuzeydoğu kıyılarındaki yedi konum için artış eğilimi her 10 yılda 1 adedi bulabilmekteyken, güneydoğudaki iki konumda her 25 yılda 1 adet miktarında daha düşük şiddetli artışlar meydana gelmektedir. Ayrıca kuzeydoğu kıyılarındaki bulunan 60 numaralı konumda gerçekleşen her 8 yılda 1 adetlik %99 anlamlılığa sahip artış eğilimi, tüm aylar arasında en yüksek artış eğilimi olarak kayda geçmiştir. Yine kuzeydoğu kıyılarındaki konumlarda artış şiddetinin batıya doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir.
- Nisan ayında Karadeniz'in kuzeyinde bulunan Kırım Yarımadası'nın doğu kıyılarındaki 69, 71 ve 74 numaralı konumlarda düşük şiddete sahip anlamlı artış eğilimleri meydana gelirken, bu konumlar arasındaki 74 numaralı konum her 25 yılda 1 adet ve %99 anlamlılık derecesindeki artışla diğer iki konuma göre daha büyük artış değerine ve daha yüksek anlamlılık seviyesine sahiptir.
- Mayıs ayında fırtına sayıları için 95 konumda herhangi bir değişim eğilimi gözlenememiştir.

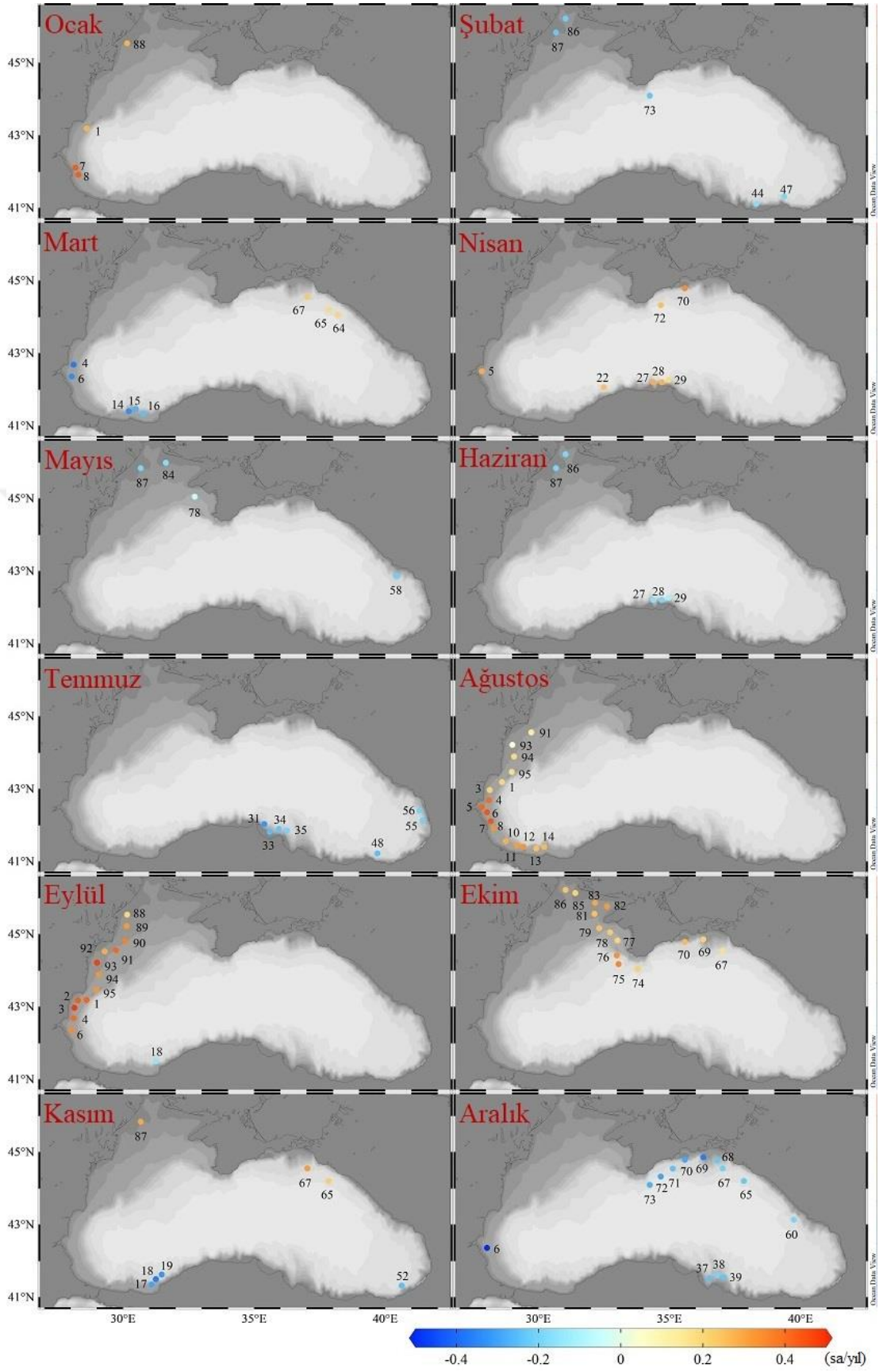
- Haziran ayında sadece Karadeniz'in kuzeybatısında bulunan Odessa kıyısındaki 86 numaralı konumda her 30 yılda 1 adedi bulan %99,5 gibi yüksek bir anlamlılığa sahip azalma eğilimi tespit edilmiştir.
- Temmuz ayında sadece Karadeniz'in güneydoğusundaki 53 numaralı konumda her 35 yılda 1 adede ulaşan anlamlı bir azalma eğilimi elde edilmiştir.
- Ağustos ayında sadece anlamlı artış eğilimleri görülmüş olup, bu artışlar Karadeniz'in batısı ve güneybatısında yoğunlaşmıştır. Bu aydaki eğilim değerlerinin tamamının anlamlılık derecesinin %95'in üzerinde olduğu dikkat çekmektedir. Aynı konumlardaki artış miktarları her 17 ile 30 yıl arası 1 adedi bulurken, Zonguldak kıyısındaki 19 numaralı konumda tespit edilen her 17 yılda 1 adetlik artış eğiliminin, bu aydaki en büyük şiddete ve %99,9 ile tüm aylar arasındaki en yüksek anlamlılık seviyesine sahip olduğu belirlenmiştir.
- Eylül ayında Karadeniz'in güneybatısı, batısı ve bir önceki aydan farklı olarak kuzeybatı kıyıları ve Kerç Boğazı yakınlarındaki 69 numaralı konumda anlamlı artış eğilimleri gözlenmiştir. Ağustos ayında olduğu gibi Eylül ayında da en şiddetli ve anlamlılık derecesi en yüksek artışın Zonguldak kıyısındaki 19 numaralı konumda, her 15 yılda 1 adedi bulan bir değerde ve %98 anlamlılığa sahip olduğu görülmüştür.
- Ekim ayında Karadeniz'in güney kıyılarındaki beş konum ile Gürcistan kıyısındaki bir konumda anlamlı azalma eğilimi gözlenirken, kuzeyindeki Kırım Yarımadası'nda bulunan 73 numaralı konumda her 20 yılda 1 adede yaklaşan anlamlı bir artış eğilimi elde edilmiştir. Azalma eğilimi bulunan konumlarda eğilim değerleri yaklaşık her 30 yılda 1 adet olmak üzere birbirine yakın ve düşük seviyededir.
- Kasım ayında neredeyse Karadeniz'in batı kıyılarının tamamında anlamlı azalma eğilimi gözlenmiştir. Sinop kıyılarından başlayıp Kırım Yarımadası'nın güney sahillerine kadar uzanan söz konusu bölgede çoğunlukla her 20 yılda 1 adedi aşan şiddetli azalma eğilimleri gerçekleşmiştir. Bu ay içinde 87 numaralı konumda meydana gelen her 13 yılda 1 adetlik anlamlı azalma eğiliminin, tüm aylar arasındaki en yüksek değere sahip azalma eğilimi olduğu belirlenmiştir.
- Aralık ayında sadece Karadeniz'in kuzeydoğusundaki 64 numaralı konumda her 30 yılda 1 adet anlamlı bir azalma eğilimi tespit edilmiştir.

3.4.2 Fırtına Sürelerindeki Mevsimsel Değişimler

3.4.2.1 Ortalama Fırtına Sürelerindeki Mevsimsel Değişimler

Uzun dönemli mevsimsel değişimleri incelemek amacıyla çalışma alanındaki 95 konum için 41 yıl boyunca aylık ortalama fırtına süreleri bulunmuş ve analiz edilmiştir. Analiz sonucu konumlardan 41 yıllık anlamlı eğilime sahip olanlar ve eğilim değerleri Harita 3.15’te belirtilirken, elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık seviyeleri Tablo 3.14’te sunulmuştur.





Harita 3.15 Ortalama fırtına sürelerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilimler (sa/yıl)

Tablo 3.14 Ortalama fırtına sürelerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri

Ocak	Konum Numarası	1	7	8	88				
	Eğilim (sa/yıl)	0,27	0,43	0,43	0,28				
	Anlamlılık (%)	93	97	94	91				
Şubat	Konum Numarası	44	47	73	86	87			
	Eğilim (sa/yıl)	-0,18	-0,20	-0,23	-0,22	-0,24			
	Anlamlılık (%)	92	93	94	95	92			
Mart	Konum Numarası	4	6	14	15	16	64	65	67
	Eğilim (sa/yıl)	-0,38	-0,34	-0,33	-0,27	-0,25	0,20	0,19	0,23
	Anlamlılık (%)	95	92	92	94	93	94	94	95
Nisan	Konum Numarası	5	22	27	28	29	70	72	
	Eğilim (sa/yıl)	0,29	0,25	0,28	0,27	0,19	0,35	0,25	
	Anlamlılık (%)	92	90	97	97	91	97	92	
Mayıs	Konum Numarası	58	78	84	87				
	Eğilim (sa/yıl)	-0,22	-0,06	-0,18	-0,20				
	Anlamlılık (%)	90	92	92	97				
Haziran	Konum Numarası	27	28	29	86	87			
	Eğilim (sa/yıl)	-0,17	-0,20	-0,12	-0,20	-0,20			
	Anlamlılık (%)	95	94	90	95	97			
Temmuz	Konum Numarası	31	33	34	35	48	55	56	
	Eğilim (sa/yıl)	-0,32	-0,25	-0,24	-0,21	-0,25	-0,21	-0,21	
	Anlamlılık (%)	98	94	91	92	91	92	91	

Tablo 3.14 Ortalama fırtına sürelerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri (devamı)

Ağustos	Konum Numarası	1	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	91	93	94	95
	Eğilim (sa/yıl)	0,20	0,21	0,40	0,42	0,45	0,44	0,33	0,28	0,32	0,33	0,25	0,26	0,13	0,04	0,19	0,18
	Anlamlılık (%)	97	92	99	98	99,5	99	95	92	91	96	91	92	97	92	97	97
Eylül	Konum Numarası	1	2	3	4	6	18	88	89	90	91	92	93	94	95		
	Eğilim (sa/yıl)	0,42	0,43	0,49	0,41	0,35	-0,16	0,20	0,32	0,37	0,41	0,29	0,48	0,33	0,33		
	Anlamlılık (%)	96	97	97	93	93	91	90	94	98	99	96	99	98	95		
Ekim	Konum Numarası	67	69	70	74	75	76	77	78	79	81	82	83	85	86		
	Eğilim (sa/yıl)	0,18	0,21	0,26	0,22	0,36	0,33	0,21	0,24	0,25	0,25	0,32	0,30	0,21	0,24		
	Anlamlılık (%)	92	92	95	93	98	94	90	92	91	94	99,5	92	97	93		
Kasım	Konum Numarası	17	18	19	52	65	67	87									
	Eğilim (sa/yıl)	-0,30	-0,37	-0,32	-0,25	0,22	0,32	0,30									
	Anlamlılık (%)	93	97	96	90	92	96	96									
Aralık	Konum Numarası	6	37	38	39	60	65	67	68	69	70	71	72	73			
	Eğilim (sa/yıl)	-0,50	-0,25	-0,20	-0,24	-0,20	-0,23	-0,21	-0,23	-0,37	-0,29	-0,24	-0,30	-0,27			
	Anlamlılık (%)	98	90	91	94	93	94	97	98	99,5	98	95	96	92			

Harita 3.15 ve Tablo 3.14'e göre aylık ortalama fırtına süreleri 41 yıl boyunca incelendiğinde, ağustos eylül ve ekim aylarında göze çarpan artış eğilimleri gözlenmiştir. Bu artışlar ağustos ayında Karadeniz'in güneybatı ve batı, eylül ayında batı ve kuzeybatı, ekim ayında ise kuzey kıyılarında meydana gelmektedir. Bulgular her ay için ayrı değerlendirildiğinde:

- Ocak ayında Karadeniz'in batı sahillerindeki 1, 7 ve 8 numaralı konumlarla kuzeybatısındaki 88 numaralı konumda anlamlı artış eğilimi gözlenmiştir. 1 ve 88 numaralı konumlarda her 10 yılda 3 sa'ya yakın, 7 ve 8 numaralı konumlardaysa daha şiddetli olarak her 10 yılda 4,5 sa'ya yakın anlamlı artış eğilimleri meydana gelmektedir.
- Şubat ayında Karadeniz'in güneydoğusundaki Giresun ve Trabzon kıyılarında bulunan 44 ve 47 numaralı konumlarda her 10 yılda 2 sa'ya yakın, Kırım Yarımadası'nın güney sahilindeki 73 numaralı konumda ve Karadeniz'in kuzeybatısında bulunan Odessa kıyısındaki 86 ve 87 numaralı konumlarda her 10 yılda 2 sa'yı aşan anlamlı azalma eğilimleri tespit edilmiştir.
- Mart ayında Karadeniz'in güneybatı sahillerinde anlamlı azalma eğilimleri bulunurken, kuzeydoğu sahillerinde anlamlı artış eğilimleri elde edilmiştir. Güneybatı kıyılardaki azalma eğilimlerinin doğuya doğru gittikçe azaldığı görülürken, bu azalma eğilimlerinden en yüksek olanı, her 10 yılda 4 sa'ya yaklaşan bir şiddetle Burgaz kıyısındaki 4 numaralı konumda elde edilmiştir. Kuzeydoğu sahillerdeki artış eğilimleri bu bölgedeki üç konum için birbirine yakın değerlere sahip olmakla birlikte, her 10 yılda yaklaşık 2 sa'dır. Ayrıca 64 numaralı konumda mart ayında ortalama fırtına süresiyle birlikte fırtına sayısının da arttığı tespit edilmiştir.
- Nisan ayında Karadeniz'in kuzeyinde, güneyinde ve batısında anlamlı artış eğilimleri tespit edilmiştir. Bu konumlardan batıdaki Burgaz kıyısında bulunan 5 numaralı konumda her 10 yılda 3 sa'lık anlamlı bir artış eğilimi, güneyde bulunan konumlarda her 10 yılda 1,8 ile 2,8 sa arası anlamlı artış eğilimleri bulunmuştur. Kuzeyde bulunan 70 numaralı konumda her 10 yılda 3,5 sa, 72 numaralı konumdaysa her 10 yılda 2,5 sa'lık anlamlı bir artış eğilimi meydana gelmiştir.
- Mayıs ayında Karadeniz'in kuzeybatı kıyılarında bulunan üç konumda ve doğusundaki 58 numaralı konumda anlamlı azalma eğilimleri elde edilmiştir. Doğu sahilindeki 58 numaralı konumda her 10 yılda 2 sa'yı aşan anlamlı bir azalma eğilimi gözlenirken, Kırım Yarımadası'nın batısı ve Odessa sahillerindeki konumlarda azalma

eğilimleri her 10 yılda 0,5 sa ile 2 sa arası çeşitli değerler elde edilmiştir. Ayrıca azalma eğilimi değerlerinin bu üç konum için batıya doğru gidildikçe arttığı tespit edilmiştir.

- Haziran ayında Karadeniz'in güneyinde ve kuzeybatısında anlamlı azalma eğilimleri gözlenmiştir. Sinop sahillerinde bulunan üç konumda her 10 yılda 1 ile 2 sa arası anlamlı azalma eğilimleri, kuzeybatıdaki Odessa kıyılarında bulunan 86 ve 87 numaralı konumlarda her 10 yılda 2 sa'lık anlamlı azalma eğilimi elde edilmiştir. Ayrıca bu ayda 86 numaralı konumda ortalama fırtına süresindeki azalma eğilimiyle beraber fırtına sayısındaki eğilimin de azalma yönünde olduğu tespit edilmiştir.

- Temmuz ayında Karadeniz'in güney ve güneydoğu sahillerinde anlamlı azalma eğilimleri gözlenmiştir. Bu konumlardan Sinop-Samsun kıyıları arasındaki dört konum için batıdan doğuya doğru gidildikçe her 10 yılda 3 sa'dan 2 sa'ya kadar azalan anlamlı azalma eğilimleri elde edilmiştir. Trabzon kıyısındaki 48 numaralı konumda her 10 yılda 2,5 sa değerinde anlamlı bir azalma eğilimi, daha doğudaki Gürcistan kıyılarında bulunan iki konumda her 10 yılda 2 sa'lık anlamlı azalma eğilimleri belirlenmiştir.

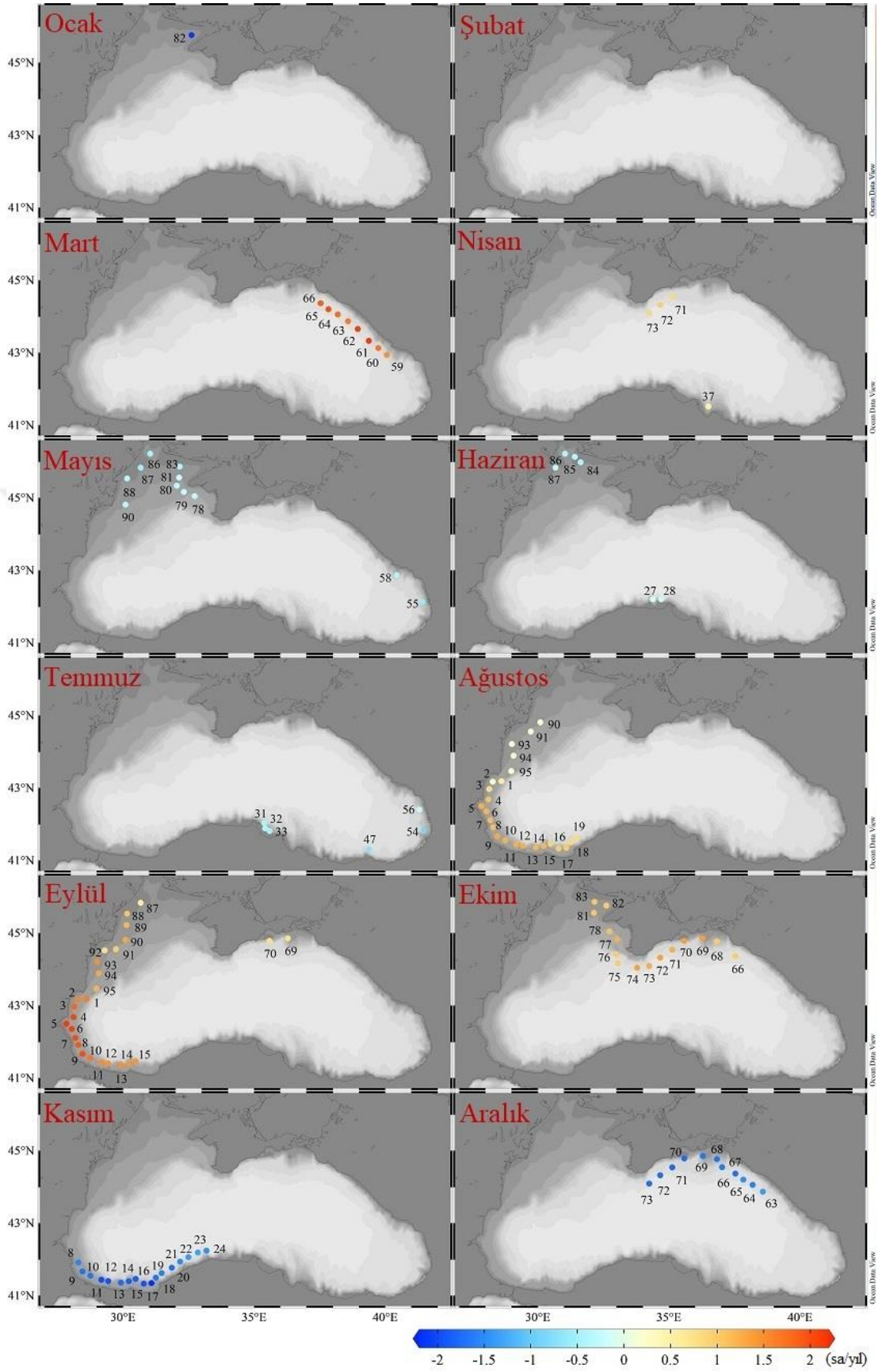
- Ağustos ayında Karadeniz'in batı ve güneybatı sahillerinde yoğunlaşan anlamlı artış eğilimleri göze çarpmaktadır. Bu bölgedeki en şiddetli ve anlamlılık değeri en yüksek artış eğilimi Burgaz kıyısındaki 6 numaralı konumda %99,5 anlamlılıkla her 10 yılda 4,5 sa olarak gözlenirken, artış değerlerinin bu konumdan kuzeye ve doğuya doğru gidildikçe azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca ağustos ayında batı ve güneybatı kıyılarındaki 1, 3, 4, 5, 11 ve 94 numaralı konumlarda ortalama fırtına süreleriyle beraber fırtına sayılarında da artış eğilimi olduğu saptanmıştır.

- Eylül ayında Karadeniz'in batısında artış eğilimleri gözlenirken, bir önceki aya göre artış eğilimlerinin güneybatıdan kuzeybatı kıyılarına doğru döndüğü tespit edilmiştir. Artış eğilimlerinin 3 ve 93 numaralı konumlarda tüm aylar arasındaki en şiddetli artış değeri olan her 10 yılda 5 sa'ya kadar yaklaştığı, bu konumlardan uzaklaştıkça artış miktarlarının azaldığı ve artış eğiliminin en kuzeydeki 88 numaralı konumda her 10 yılda 2 sa'ya kadar gerilediği görülmüştür. Bu ay içinde Zonguldak kıyısındaki 18 numaralı konumda her 10 yılda 1,5 sa'lık anlamlı bir azalma eğilimi de görülmektedir. Batı kıyılarındaki bulunan 1, 2 ve 4 numaralı konumlarla, kuzeybatıda bulunan 88, 89 ve 92 numaralı konumlardaki fırtınaların hem ortalama dalga yüksekliklerinin hem de fırtına sayılarının arttığı, güneybatıdaki 18 numaralı konumda ortalama fırtına süresi azalırken, fırtına sayısının arttığı tespit edilmiştir.

- Ekim ayında, son iki ayda kıyılar boyunca saat yönünde dönme gösteren artış eğilimlerinin bu hareketi, bu ayda da devam etmiş, artış eğilimleri batıdan, kuzeybatı ve kuzey kıyılara doğru dönmüştür. Bu aydaki en şiddetli artış her 10 yılda 3,5 sa ile Kırım Yarımadası'ndaki Sivastopol kıyısında bulunan 75 numaralı konumda olurken, diğer konumlarda her 10 yılda 2 ile 3 sa arası artışlar elde edilmiştir.
- Kasım ayında Karadeniz'in kuzey kıyılarında anlamlı artış eğilimleri, güney kıyılarında ise anlamlı azalma eğilimleri dikkati çekmektedir. Zonguldak kıyılarında bulunan üç konumda her 10 yılda 3 ile 4 sa'ya yakın anlamlı azalma eğilimleri, Rize kıyısındaki 52 numaralı konumda her 10 yılda 2,5 sa'lık anlamlı bir azalma eğilimi tespit edilmiştir. Kuzeydeki konumlardan Rusya kıyılarındaki 65 numaralı konumda her 10 yılda 2 sa'yı aşan, bu konumun batısındaki 67 numaralı konumda her 10 yılda 3 sa'ya ulaşan ve kuzeybatıdaki Odessa kıyısında bulunan 87 numaralı konumda her 10 yılda 3 sa'lık anlamlı bir artış eğilimi bulunmuştur. Ayrıca bu ay için 17 numaralı konumda ortalama fırtına süresiyle birlikte fırtına sayısı da artarken, 87 numaralı konumda ortalama fırtına süresi artarken, fırtına sayısının azaldığı tespit edilmiştir.
- Aralık ayında Karadeniz'in kuzeyinde bulunan Kırım Yarımadası'nın doğusu ve Rusya kıyılarındaki konumlarda her 10 yılda yaklaşık 2 ile 3,5 sa arasında anlamlı azalma eğilimleri olup bu eğilimler Kerç Boğazı'ndaki 69 numaralı konumdan uzaklaştıkça azalmaktadır. Ayrıca 69 numaralı konum %99,5 seviyesiyle bu alandaki eğilimler arasında en yüksek anlamlılık değerine sahip konum olmuştur. Samsun kıyılarındaki 37, 38 ve 39 numaralı konumlarda her 10 yılda 2 ile 2,5 sa arasında anlamlı azalma eğilimleri görülmektedir. Batı sahilinde bulunan Burgaz kıyısındaki 6 numaralı konum her 10 yılda 5 sa'lık anlamlı azalma eğilimine sahip olup, bu değer tüm aylar arasındaki en yüksek azalma değeridir.

3.4.2.2 Toplam Fırtına Sürelerindeki Mevsimsel Değişimler

Çalışma alanındaki 95 konum için uzun dönemli mevsimsel değişimleri incelemek amacıyla 41 yıl boyunca aylık toplam fırtına süreleri bulunmuş ve analiz edilmiş olup, bu konumlardan 41 yıllık anlamlı eğilime sahip olanlar ve eğilim değerleri Harita 3.16'da gösterilmiştir. Aynı konumlar için elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık seviyeleri Tablo 3.15'te belirtilmiştir.



Harita 3.16 Toplam fırtına sürelerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilimler (sa/yıl)

Tablo 3.15 Toplam fırtına sürelerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri

Ocak	Konum Numarası	82											
	Eğilim (sa/yıl)	-2,10											
	Anlamlılık (%)	93											
Şubat	Konum Numarası												
	Eğilim (sa/yıl)												
	Anlamlılık (%)												
Mart	Konum Numarası	59	60	61	62	63	64	65	66				
	Eğilim (sa/yıl)	1,46	1,67	2,13	2,08	1,65	1,75	1,98	1,86				
	Anlamlılık (%)	93	93	94	95	95	96	96	93				
Nisan	Konum Numarası	37	71	72	73								
	Eğilim (sa/yıl)	0,50	0,86	0,96	0,86								
	Anlamlılık (%)	91	95	95	96								
Mayıs	Konum Numarası	55	58	78	79	80	81	83	86	87	88	90	
	Eğilim (sa/yıl)	-0,64	-0,43	-0,31	-0,25	-0,31	-0,22	-0,46	-0,50	-0,54	-0,37	-0,39	
	Anlamlılık (%)	94	93	95	92	94	93	95	93	96	90	96	
Haziran	Konum Numarası	27	28	84	85	86	87						
	Eğilim (sa/yıl)	-0,18	-0,22	-0,41	-0,37	-0,45	-0,32						
	Anlamlılık (%)	91	92	97	95	97	99						
Temmuz	Konum Numarası	31	32	33	47	54	56						
	Eğilim (sa/yıl)	-0,48	-0,40	-0,51	-0,73	-0,86	-0,26						
	Anlamlılık (%)	96	93	92	92	93	90						

Tablo 3.15 Toplam fırtına sürelerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri (devamı)

Ağustos	Konum Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Eğilim (sa/yıl)	0,62	0,29	0,80	1,10	1,25	1,20	1,13	1,11	1,31	1,22	1,25	1,25	1,18	1,17	0,91
	Anlamlılık (%)	99,5	97	99,5	99,9	99,5	99,5	99	99	99	98	98	98	98	98	98
	Konum Numarası	16	17	18	19	90	91	93	94	95						
	Eğilim (sa/yıl)	1,00	1,00	0,86	0,82	0,20	0,16	0,17	0,37	0,25						
	Anlamlılık (%)	98	97	97	96	94	97	97	99	98						
Eylül	Konum Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Eğilim (sa/yıl)	1,63	1,60	1,83	2,06	2,15	2,11	2,00	1,92	2,00	1,71	1,50	1,45	1,51	1,43	1,43
	Anlamlılık (%)	99	99,5	99,5	99,9	99,5	99,5	99	99	99	98	96	95	95	95	95
	Konum Numarası	69	70	87	88	89	90	91	92	93	94	95				
	Eğilim (sa/yıl)	0,74	0,76	0,60	1,06	1,19	1,32	1,00	0,78	1,49	1,30	1,22				
	Anlamlılık (%)	98	95	92	99,9	99	99,5	99	98	99,5	99	98				
Ekim	Konum Numarası	66	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	81	82	83
	Eğilim (sa/yıl)	1,02	1,00	1,38	1,36	1,25	1,34	1,26	1,36	1,00	0,98	1,23	1,10	1,03	1,02	1,06
	Anlamlılık (%)	91	92	94	92	90	92	93	95	93	93	94	93	91	90	92
Kasım	Konum Numarası	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	Eğilim (sa/yıl)	-1,55	-1,71	-1,70	-1,98	-1,93	-1,75	-1,85	-1,87	-1,94	-2,19	-1,69	-1,58	-1,74	-1,50	-1,37
	Anlamlılık (%)	90	95	95	97	97	96	98	99	99,5	98	98	94	94	94	91
	Konum Numarası	23	24													
	Eğilim (sa/yıl)	-1,33	-1,46													
	Anlamlılık (%)	93	91													
Aralık	Konum Numarası	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73				
	Eğilim (sa/yıl)	-1,37	-1,60	-1,49	-1,72	-1,64	-1,70	-1,67	-1,76	-1,78	-1,74	-1,73				
	Anlamlılık (%)	90	92	90	92	96	96	91	94	95	92	90				

Harita 3.16 ve Tablo 3.15'e göre aylık toplam fırtına sürelerinin 41 yıllık değişimi incelendiğinde bölgesel olarak karakterize olan eğilimler görülmektedir. Ağustos, eylül ve ekim aylarında ortalama fırtına sürelerinde artış eğilimi gözlenen konumlarda, toplam fırtına sürelerinin de arttığı dikkat çekmektedir. Kış aylarından sonraki mart ve nisan ayları yine toplam fırtına sürelerinde artışların görüldüğü dönemlerdir. Toplam fırtına sürelerindeki azalma eğilimlerine bakıldığında ilkbaharın son ayı ve yaz ortasını kapsayan mayıs-temmuz dönemi ve sonbaharın son ayı ile kış başlangıcı olan kasım-aralık dönemleri göze çarpmaktadır. Ayrıca şubat ayında herhangi bir anlamlı eğilim bulunamamıştır. Bulgular her ay için ayrı değerlendirildiğinde:

- Ocak ayında sadece Karadeniz'in kuzeyinde bulunan 82 numaralı konumda her 10 yılda 21 sa'lık anlamlı bir azalma eğilimi tespit edilmiştir.
- Şubat ayında toplam fırtına süreleri için 95 konum arasında herhangi bir anlamlı değişim eğilimi elde edilememiştir.
- Mart ayında Karadeniz'in kuzeydoğu kıyılarında yüksek şiddette anlamlı artış eğilimleri gözlenirken, 59-66 numaralı konumlar arasını kapsayan kıyı şeridindeki bu bölgede artış eğilimleri maksimum %96 anlamlılıkta olup, 14-21 sa arasında değişmektedir. 64 numaralı konumda toplam fırtına süresindeki artışın yanında ortalama fırtına süresinin ve fırtına sayısının da arttığı, 59, 60, 61, 62, 63 ve 66 numaralı konumlarda hem toplam fırtına sürelerinin hem de fırtına sayılarının arttığı, 65 numaralı konumdaysa toplam fırtına süresiyle birlikte ortalama fırtına süresinin de arttığı tespit edilmiştir.
- Nisan ayında Karadeniz'in kuzeyindeki üç konum ile güneydeki bir konumda anlamlı artış eğilimleri bulunmuş olup, bu artış eğilimleri bir önceki aya göre düşük şiddette değerler göstermiştir. Kırım Yarımadası'nın güneyinde bulunan 71, 72 ve 73 numaralı konumlarda her 10 yılda 8,5-9,5 sa arasında artışlar meydana gelirken, Samsun kıyısındaki 37 numaralı konumda her 10 yılda 5 sa'lık anlamlı bir artış eğilimi gözlenmiştir. Bu ayda 72 numaralı konumda hem toplam hem de ortalama fırtına süresinin arttığı, 71 ve 73 numaralı konumlardaysa toplam fırtına süreleriyle beraber fırtına sayılarının da artış eğiliminde olduğu saptanmıştır.
- Mayıs ayında Karadeniz'in kuzeybatısında ve doğusunda anlamlı azalma eğilimlerine rastlanmış olup, bu konumlardan dokuz tanesi Karadeniz'in kuzeybatısında bulunurken, yaklaşık 2 ile 5,5 sa arası anlamlı azalma eğilimlerine sahiplerdir. Gürcistan kıyılarındaki 55 numaralı konumda daha şiddetli olarak her 10 yılda 6,5 sa'ya yakın, bu

konumun kuzeyindeki 58 numaralı konumdaysa her 10 yılda 4,5 sa'ya yakın anlamlı bir azalma eğilimi elde edilmiştir. Bu ay için Karadeniz'in doğusundaki 58, kuzeyindeki 78 ve kuzeybatısındaki 87 numaralı konumların hem toplam hem de ortalama fırtına süresinde azalma eğilimi gözlenmiştir.

- Haziran ayında Karadeniz'in kuzeybatı bölgesinde bulunan Ukrayna sahilleriyle, güneyindeki Sinop sahillerinde anlamlı azalma eğilimleri meydana gelmiştir. Bir önceki ay Karadeniz'in kuzeybatısında anlamlı azalma eğilimi elde edilen bölgeye göre bu ay azalma eğilimi elde edilen bölgenin daha kuzeyde bulunduğu ve yaklaşık her 10 yılda 3 ile 4,5 sa arası anlamlı azalma eğilimlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Sinop kıyılarında daha düşük şiddete sahip eğilim değerleri görülürken, eğilim değerleri buradaki 27 ve 28 numaralı konumlar için sırasıyla her 10 yılda 1,8 ve 2,2 sa'dır. Ayrıca kuzeybatıda bulunan Odessa kıyısındaki 86 numaralı konumda toplam fırtına süresindeki azalmanın yanı sıra, ortalama fırtına süresi ve fırtına sayısı da azalmaktadır. Sinop kıyılarındaki 27 ve 28 numaralı konumlarla Odessa kıyısındaki 87 numaralı konumda hem toplam hem de ortalama fırtına süresinin azaldığı tespit edilmiştir.

- Temmuz ayında Karadeniz'in güney ve güneydoğusundaki konumlarda anlamlı azalma eğilimleri gözlenmiştir. Sinop-Samsun arasındaki 31, 32 ve 33 numaralı konumlarda her 10 yılda 4 ile 5 sa arası anlamlı azalma eğilimleri ve Trabzon kıyısında bulunan 47 numaralı konumda her 10 yılda 7 sa'yı aşan anlamlı bir azalma eğilimi tespit edilmiştir. Gürcistan kıyılarındaki 54 numaralı konumda her 10 yılda 8,5 sa'lık bir azalma eğilimi görülürken, kuzeyindeki 56 numaralı konumda daha düşük şiddette olarak, her 10 yılda 2,5 sa'yı aşan anlamlı bir azalma eğilimi elde edilmiştir. Bu ayda güneydeki 31 ve 33 numaralı konumlarla, doğuda bulunan 56 numaralı konumda toplam fırtına süresindeki azalmanın yanı sıra ortalama fırtına süresinin de azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.

- Ağustos ayında Karadeniz'in güneybatısı ve batısında yoğunlaşan artış eğilimleri dikkat çekmektedir. Bu konumlar arasından 9 numaralı konumda her 10 yılda 13 sa'yı bulan anlamlı bir artış eğilimi görülürken, aynı konumdan doğuya ve kuzeye gidildikçe eğilim değerindeki artış miktarı düşmekte ve en kuzeydeki 90 numaralı konumda her 10 yılda 2 sa'yı bulmaktadır. Ayrıca bu ayda 4 numaralı konum için elde edilen her 10 yılda 11 sa'lık artış, %99,9 anlamlılık derecesi ile tüm aylar arasındaki anlamlılık değeri en yüksek sonuç olmaktadır. Karadeniz'in güneybatısında bulunan 1, 3, 4, 5, 11 ve 94 numaralı konumlarda toplam fırtına sürelerinin yanında, ortalama fırtına sürelerinin ve fırtına sayılarının, güneybatıda bulunan 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 91, 93 ve 95 numaralı

konumlarda toplam fırtına süreleriyle birlikte ortalama fırtına sürelerinin, yine güneybatısında bulunan 9, 16, 17, 18 ve 19 numaralı konumlarda toplam fırtına süreleriyle beraber fırtına sayılarının arttığı tespit edilmiştir.

- Eylül ayında bir önceki ayda olduğu gibi Karadeniz'in güneybatı ve batı kıyılarının dışında kuzeybatı ve kuzey sahillerinde de anlamlı artış eğilimlerine rastlanmıştır. Artış eğilimlerinin bir önceki ayda olduğu gibi güneybatı sahillerde şiddetli ve %99,9 gibi yüksek seviyelere ulaşan anlamlılık derecelerine sahip olduğu görülmektedir. 15 ile 87 numaraları arasında bulunan tüm batı kıyılarıdaki konumları kapsayan kıyı şeridi için, 5 numaralı konumda her 10 yılda 21,5 sa'lık anlamlı bir artış eğilimi görülürken artış değerleri bu konumdan doğuya ve kuzeye gidildikçe azalmaktadır. Ayrıca 5 numaralı konumdaki artış miktarı, tüm aylar arasındaki en yüksek değerdir. Kırım Yarımadası'nın doğu sahillerindeki 69 ve 70 numaralı konumlarda daha düşük şiddete sahip olarak her 10 yılda yaklaşık 7,5 sa'lık anlamlı bir artış eğilimi meydana gelmektedir. Bu ayda batı ve güneybatıda bulunan 1, 2, 4, 88, 89 ve 92 numaralı konumlarda toplam fırtına süreleriyle beraber, ortalama fırtına sürelerinin ve fırtına sayılarının, 3, 6, 90, 91, 93, 94 ve 95 numaralı konumlarda hem toplam hem ortalama fırtına sürelerinin, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 69 ve 87 numaralı konumlarda toplam fırtına sürelerinin yanında fırtına sayılarının da arttığı gözlenmiştir.

- Ekim ayında önceki iki aya göre artış şiddetleri azalmış ve artış eğilimleri bölge olarak saat yönünde ötelenerek kuzey sahillere kaymıştır. 66 ile 83 numaralı konumlar arasını kapsayan kıyı şeridinde, artış yönündeki eğilim değerleri birbirlerine yakın olup yaklaşık her 10 yılda 10 sa ile 14 sa civarındadır. Bu ayda kuzeyde bulunan 69, 70, 74, 75, 76, 77, 78, 81, 82 ve 83 numaralı konumlarda hem toplam hem de ortalama fırtına sürelerinin arttığı, 73 numaralı konumda toplam fırtına süresiyle birlikte fırtına sayısının da arttığı tespit edilmiştir.

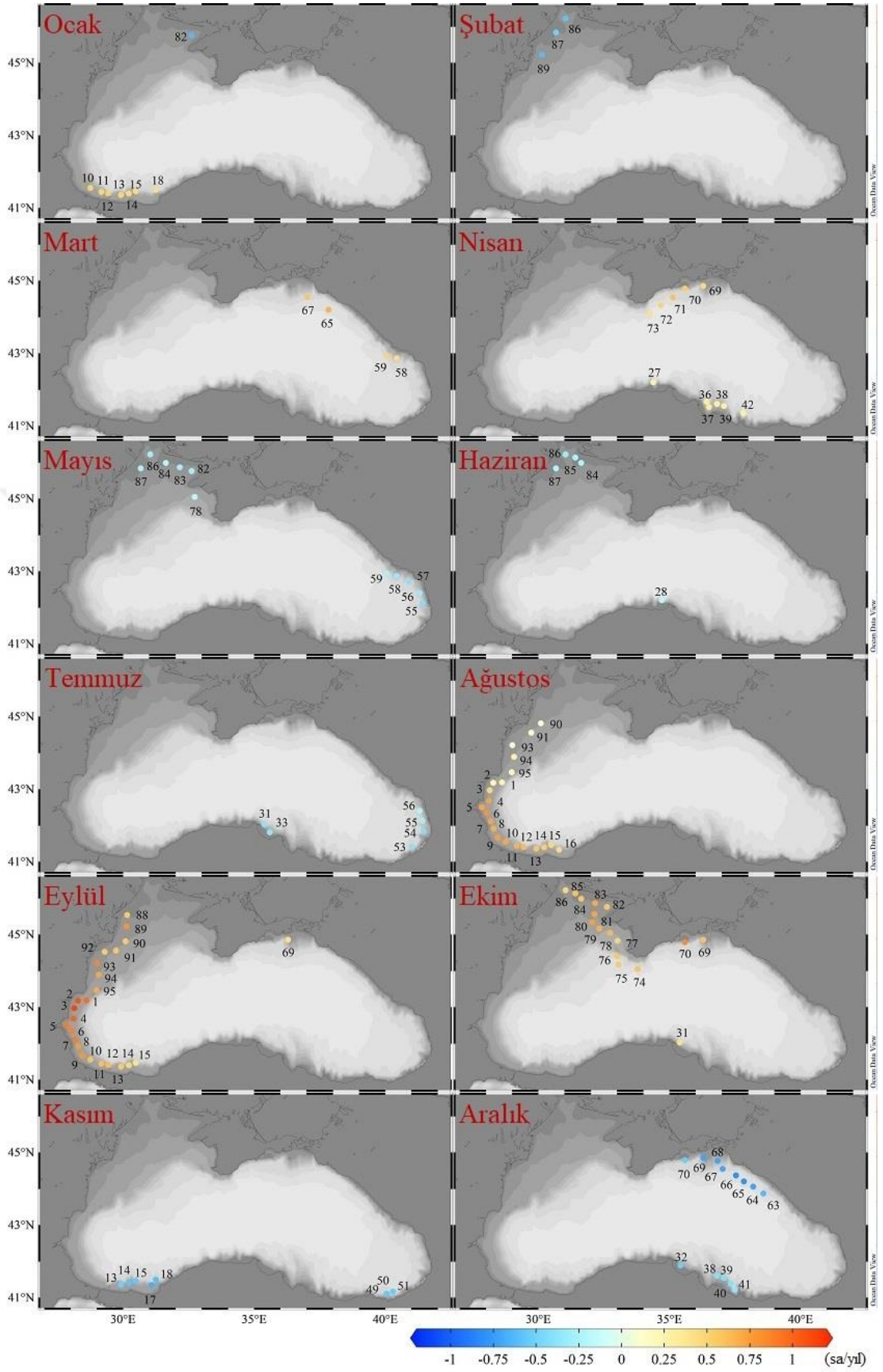
- Kasım ayında Karadeniz'in güney ve güneydoğu sahillerinde şiddetli ve anlamlılık seviyeleri yüksek azalma eğilimleri gözlenmiştir. 8 ile 24 numaralar arasındaki tüm konumları kapsayan kıyı şeridi için anlamlı azalma değerleri oldukça yüksek olup her 10 yılda 13 ile 22 sa arasında değişmektedir. Bu ayda 17 numaralı konumda görülen her 10 yılda 22 sa'lık azalma eğiliminin, tüm aylar arasındaki en büyük şiddete sahip azalma eğilimi olduğu belirlenmiştir. Yine 17 numaralı konumda toplam fırtına süresinin yanı sıra ortalama fırtına süresinin ve fırtına sayısının azaldığı, 18 ve 19 numaralı konumlarda hem toplam hem de ortalama fırtına sürelerinin azaldığı, 8, 9, 11, 12, 13, 14,

15, 16, 21, 22, 23 ve 24 numaralı konumlarda toplam fırtına süreleriyle beraber fırtına sayılarının da azaldığı tespit edilmiştir.

- Aralık ayında Karadeniz'in kuzeydoğusu ve kuzeyinde her 10 yılda 14-18 sa arası anlamlı azalma eğilimleri tespit edilmiştir. Rusya sahillerindeki 63 numaralı konum ile Kırım Yarımadası'nın güneyindeki 73 numaralı konumlar arasındaki tüm kıyı şeridini kapsayan bu alanda batıya doğru gidildikçe azalma eğilimlerinde artış görülmektedir. Bu ayda kuzeyde bulunan 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72 ve 73 numaralı konumlarda hem toplam hem de ortalama fırtına süreleri azalırken, 64 numaralı konumda toplam fırtına süresiyle beraber fırtına sayısı da azalmaktadır.

3.4.2.3 Maksimum Fırtına Sürelerindeki Mevsimsel Değişimler

Maksimum fırtına sürelerindeki uzun dönemli mevsimsel değişimleri tespit etmek amacıyla çalışma alanındaki 95 konuma için 41 yıl boyunca aylık maksimum fırtına süreleri bulunmuştur. Analiz yapıldıktan sonra bu konumlardan 41 yıllık anlamlı eğilime sahip olanlar ve eğilim değerleri Harita 3.17'de sunulurken, aynı konumlar için elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık seviyeleri Tablo 3.16'da gösterilmiştir.



Harita 3.17 Maksimum fırtına sürelerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilimler (sa/yıl)

Tablo 3.16 Maksimum fırtına sürelerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri

Ocak	Konum Numarası	10	11	12	13	14	15	18	82				
	Eğilim (sa/yıl)	0,51	0,50	0,53	0,48	0,47	0,45	0,43	-0,63				
	Anlamlılık (%)	91	94	94	93	92	93	90	93				
Şubat	Konum Numarası	86	87	89									
	Eğilim (sa/yıl)	-0,59	-0,51	-0,61									
	Anlamlılık (%)	96	93	90									
Mart	Konum Numarası	58	59	65	67								
	Eğilim (sa/yıl)	0,43	0,50	0,65	0,57								
	Anlamlılık (%)	97	90	95	91								
Nisan	Konum Numarası	27	36	37	38	39	42	69	70	71	72	73	
	Eğilim (sa/yıl)	0,27	0,31	0,33	0,29	0,27	0,28	0,47	0,55	0,59	0,50	0,41	
	Anlamlılık (%)	93	92	93	93	91	90	91	96	96	95	90	
Mayıs	Konum Numarası	55	56	57	58	59	78	82	83	84	86	87	
	Eğilim (sa/yıl)	-0,43	-0,34	-0,40	-0,35	-0,26	-0,18	-0,30	-0,30	-0,22	-0,31	-0,25	
	Anlamlılık (%)	92	95	95	95	90	96	91	94	90	90	91	
Haziran	Konum Numarası	28	84	85	86	87							
	Eğilim (sa/yıl)	-0,20	-0,24	-0,25	-0,33	-0,23							
	Anlamlılık (%)	90	93	94	98	98							
Temmuz	Konum Numarası	31	33	53	54	55	56						
	Eğilim (sa/yıl)	-0,40	-0,38	-0,40	-0,42	-0,30	-0,24						
	Anlamlılık (%)	96	93	90	92	90	90						

Tablo 3.16 Maksimum fırtına sürelerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri (devamı)

Ağustos	Konum Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Eğilim (sa/yıl)	0,26	0,15	0,46	0,74	0,72	0,79	0,72	0,67	0,75	0,71	0,66	0,62	0,58	0,54	0,47	0,44
	Anlamlılık (%)	97	95	98	99,5	99,5	99,5	99,5	98	98	99	98	98	99	98	94	92
	Konum Numarası	90	91	93	94	95											
	Eğilim (sa/yıl)	0,12	0,14	0,07	0,28	0,20											
	Anlamlılık (%)	94	97	95	98	97											
Eylül	Konum Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	69
	Eğilim (sa/yıl)	0,95	1,06	1,12	1,00	0,90	0,88	0,89	0,76	0,78	0,60	0,61	0,62	0,55	0,47	0,40	0,41
	Anlamlılık (%)	98	99	99,5	99	96	98	98	96	95	90	93	93	92	90	92	93
	Konum Numarası	88	89	90	91	92	93	94	95								
	Eğilim (sa/yıl)	0,56	0,80	0,56	0,58	0,56	0,86	0,72	0,70								
	Anlamlılık (%)	98	98	98	98	97	99	98	97								
Ekim	Konum Numarası	31	69	70	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
	Eğilim (sa/yıl)	0,41	0,59	0,82	0,59	0,57	0,57	0,50	0,64	0,68	0,74	0,72	0,57	0,70	0,57	0,59	0,49
	Anlamlılık (%)	90	93	97	94	94	95	92	98	98	99	99	97	97	95	98	90
Kasım	Konum Numarası	13	14	15	17	18	49	50	51								
	Eğilim (sa/yıl)	-0,52	-0,58	-0,56	-0,68	-0,60	-0,56	-0,56	-0,54								
	Anlamlılık (%)	91	93	93	94	94	90	90	90								
Aralık	Konum Numarası	32	38	39	40	41	63	64	65	66	67	68	69	70			
	Eğilim (sa/yıl)	-0,53	-0,41	-0,43	-0,42	-0,38	-0,61	-0,72	-0,79	-0,79	-0,70	-0,71	-0,72	-0,53			
	Anlamlılık (%)	92	94	93	94	90	95	97	98	98	98	98	98	91			

Harita 3.17 ve Tablo 3.16'ya göre 41 yıl boyunca maksimum fırtına sürelerindeki aylık değişimler incelendiğinde ağustos, eylül ve ekim aylarında ortalama ve toplam fırtına sürelerinde artış eğilimi görülen konumlarda maksimum fırtına süreleri için de artış eğilimi gözlenmektedir. Azalma eğilimlerine bakıldığında mayıs, haziran ve şubat aylarında Karadeniz'in kuzeybatı kıyıları ile, mayıs ve temmuz ayında Karadeniz'in doğusundaki anlamlı azalma eğilimleri dikkat çekmektedir. Bulgular her ay için ayrı değerlendirildiğinde:

- Ocak ayında Karadeniz'in güneybatısında yoğunlaşan anlamlı artış eğilimleri gözlenmiştir. İstanbul'un Karadeniz sahilindeki 12 numaralı konumda her 10 yılda 5 sa'yı aşan anlamlı bir artış eğilimi elde edilirken, bu konumdan doğuya doğru gidildikçe artış eğilimlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Karadeniz'in kuzeyinde bulunan 82 numaralı konumda her 10 yılda 6 sa'yı aşan anlamlı bir azalma eğilimi elde edilirken, bu konumda maksimum fırtına süresiyle beraber toplam fırtına süresi de azalma eğilimindedir.
- Şubat ayında Karadeniz'in kuzeybatısında anlamlı azalma eğilimleri tespit edilmiştir. Ukrayna kıyılarındaki bu bölgede bulunan 86, 87 ve 89 numaralı konumlarda her 10 yılda yaklaşık 5 ila 6 sa arası anlamlı azalma eğilimleri elde edilirken, 86 ve 87 numaralı konumlarda maksimum fırtına süreleriyle beraber ortalama fırtına sürelerinin de azaldığı görülmüştür.
- Mart ayında Karadeniz'in kuzeydoğusunda anlamlı artış eğilimleri gözlenmiştir. 58 numaralı konumda her 10 yılda 4,5 sa'ya yakın, 59 numaralı konumdaysa her 10 yılda 5 sa'lık anlamlı bir artış eğilimi tespit edilirken, bu konumların kuzeyinde bulunan 65 numaralı konumda her 10 yılda 6,5 sa ve 67 numaralı konumda her 10 yılda 5,5 sa'yı aşan anlamlı bir artış eğilimi elde edilmiştir. 65 numaralı konumda fırtına süresiyle alakalı tüm parametrelerin artış eğiliminde olduğu görülmüştür. 59 numaralı konumda maksimum fırtına süresiyle beraber, toplam fırtına süresi ve fırtına sayısının, 67 numaralı konumdaysa maksimum fırtına süresiyle birlikte ortalama fırtına süresinin de artış eğiliminde olduğu görülmektedir.
- Nisan ayında Karadeniz'in kuzey ve güneyinde birbirine yakın boylamlarda bulunan konumlarda anlamlı artış eğilimleri gözlenmiştir. Kırım Yarımadası'nın doğusunda bulunan konumlarda 4 sa ile 6 sa arasında anlamlı artış eğilimleri gözlenirken, bu bölgenin karşısındaki Türkiye kıyılarında her 10 yılda yaklaşık 3 sa'lık daha düşük şiddette anlamlı artış eğilimleri tespit edilmiştir. Karadeniz'in kuzeyinde bulunan 72 numaralı konumda, fırtına süresiyle alakalı tüm parametrelerin artış eğiliminde olduğu

bulunmuştur. 71 ve 73 numaralı konumlarda maksimum fırtına süreleriyle birlikte, toplam fırtına sürelerinin ve fırtına sayılarının, 27 ve 70 numaralı konumlarda maksimum fırtına süreleriyle birlikte, ortalama fırtına sürelerinin, 37 numaralı konumda maksimum fırtına süresiyle birlikte toplam fırtına süresinin ve 69 numaralı konumda maksimum fırtına süresiyle birlikte fırtına sayısının da arttığı görülmüştür.

- Mayıs ayında Karadeniz'in kuzeyinde ve doğusunda anlamlı azalma eğilimleri elde edilmiştir. Kırım Yarımadası'nın batısıyla Odessa kıyıları arasında bulunan 78, 82, 83, 84, 86 ve 87 numaralı konumlarda her 10 yılda yaklaşık 2 sa ile 3 sa arasında anlamlı azalma eğilimleri gözlenmiştir. Gürcistan kıyılarındaki 55 numaralı konumda her 10 yılda 4 sa'yı aşan anlamlı bir azalma eğilimi görülürken, bu konumdan kuzeye doğru gidildikçe azalma eğilimi miktarlarında azalmalar meydana gelmektedir. Karadeniz'in doğusundaki 58, kuzeyindeki 78 ve kuzeybatısındaki 87 numaralı konumlarda fırtına süresiyle alakalı tüm parametrelerin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. 84 numaralı konumda maksimum fırtına süresiyle birlikte ortalama fırtına süresinin, 55, 83 ve 86 numaralı konumlarda maksimum fırtına süreleriyle beraber toplam fırtına sürelerinin azaldığı tespit edilmiştir.

- Haziran ayında Karadeniz'in kuzeybatısında ve güneyindeki Sinop kıyısında anlamlı azalma eğilimleri elde edilmiştir. Ukrayna kıyılarında bulunan 84, 86 ve 87 numaralı konumlarda bir önceki aya yakın şiddette azalma eğilimleri gözlenirken bu konumlara ek olarak 85 numaralı konumda her 10 yılda 2,5 sa'lık anlamlı bir azalma eğilimi görülmüştür. Sinop kıyısındaki 28 numaralı konumda da her 10 yılda 2 sa'lık anlamlı bir azalma eğilimi tespit edilmekte olup, 28 numaralı konumla, Karadeniz'in kuzeybatısında bulunan 86 ve 87 numaralı konumlarda fırtına süresiyle alakalı tüm parametrelerde azalma eğilimi meydana gelirken, 86 numaralı konumda fırtına sayısının da azaldığı görülmüştür. 84 ve 85 numaralı konumlarda maksimum fırtına süreleriyle birlikte toplam fırtına süreleri de azalma eğilimindedir.

- Temmuz ayında Karadeniz'in güneyinde ve doğusunda anlamlı azalma eğilimleri tespit edilmiştir. Sinop kıyılarındaki 31 ve 33 numaralı konumlarda yaklaşık her 10 yılda 4 sa'lık anlamlı bir azalma eğilimi elde edilmiştir. Karadeniz'in doğu sahillerinde bulunan konumlardan 53 numaralı konumda her 10 yılda 4 sa'dan fazla anlamlı bir azalma eğilimi görülürken bu konumdan kuzeye doğru gidildikçe azalma eğilim değerlerinde azalmalar meydana gelmektedir. Karadeniz'in güneyinde bulunan 31 ve 33 numaralı konumlarla, doğusunda bulunan 56 numaralı konumda fırtına süresiyle alakalı tüm parametreler azalma eğilimindedir. 53 numaralı konumda maksimum fırtına süresiyle birlikte fırtına

sayısı, 54 numaralı konumda maksimum fırtına süresiyle beraber toplam fırtına süresi, 55 numaralı konumda maksimum fırtına süresinin yanında ortalama fırtına süresi de azalmaktadır.

- Ağustos ayında Karadeniz'in güneybatısında yoğunlaşan ve batı sahillere doğru uzanan, anlamlılık değeri çoğunlukla %98 ve üzerinde olan artış eğilimleri görülmektedir. Burgaz kıyısındaki 6 numaralı konumda her 10 yılda 8 sa'ya yakın anlamlı bir artış eğilimi tespit edilirken, bu konumdan doğuya ve kuzeye doğru gidildikçe artış eğilimi miktarlarının azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca yine Burgaz kıyısında bulunan 4 numaralı konumda görülen her 10 yılda 7 sa'yı aşan artış eğilimi, %99,5 ile tüm aylar arasında anlamlılık değeri en yüksek eğilim değeri olmuştur. Karadeniz'in batı ve güneybatısında bulunan 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 91, 93, 94 ve 95 numaralı konumlarda fırtına süresiyle alakalı tüm parametreler artış eğiliminde olup bu konumlar arasındaki 1, 3, 4, 5, 11 ve 94 numaralı konumlarda fırtına sayılarının da arttığı görülmüştür. 9 ve 16 numaralı konumlarda maksimum fırtına süreleriyle birlikte fırtına sayılarının, 2, 9, 15, 16 ve 90 numaralı konumlarda maksimum fırtına süreleriyle birlikte toplam fırtına sürelerinin de arttığı gözlenmiştir.

- Eylül ayında Karadeniz'in batısında yoğunlaşan, batıdan kuzey ve güneydoğu kıyılara doğru uzanan anlamlı artış eğilimleri gözlenmiştir. Bir önceki aya göre daha şiddetli artış eğilimlerinin görüldüğü bu ayda ayrıca kuzeydeki 88 ve 89 numaralı konumlarla, Kırım Yarımadası'ndaki 69 numaralı konumda da artış eğilimi tespit edilmiştir. 3 numaralı konumda her 10 yılda 11 sa'lık ve %99,5 anlamlılığa sahip bir artış gözlenirken, bu eğilimin tüm aylar içerisindeki maksimum şiddete sahip artış değeri olduğu ve bu konumdan doğuya ve kuzeye doğru gidildikçe artış eğilim değerlerinin azaldığı görülmüştür. Kırım Yarımadası'nın doğusunda bulunan 69 numaralı konumda her 10 yılda 4 sa'lık anlamlı bir artış eğilimi elde edilmiştir. Karadeniz'in batısında bulunan 1, 2, 3, 4, 6, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94 ve 95 numaralı konumlarda fırtına süresiyle ilgili tüm parametrelerde artış eğilimi görülmekte olup bu konumlardan 88, 89, 92, 1, 2 ve 4 numaralı konumlarda fırtına sayılarının da arttığı tespit edilmiştir. 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15 ve 69 numaralı konumlarda maksimum fırtına süreleriyle beraber toplam fırtına süreleri ve sayıları, 14 numaralı konumda maksimum fırtına süresiyle birlikte toplam fırtına süresi artmıştır.

- Ekim ayında Karadeniz'in kuzey kıyılarında ve güneyindeki bir konumda anlamlı artış eğilimleri tespit edilmiştir. Bu ayda artış eğilimi gözlenen bölgelerin önceki iki aya göre saat yönünde döndüğü görülmektedir. 74 ile 86 numaralı konumlar arasındaki kıyı

şeridi için, 80 numaralı konumda her 10 yılda 7,5 sa'ya yakın ve %99 anlamlılığa sahip bir artış eğilimi bulunurken, bu konumdan doğuya ve batıya doğru gidildikçe artış eğilimi değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Kırım Yarımadası'nın doğusunda bulunan 70 numaralı konumda her 10 yılda 8 sa'yı aşan ve bu konumun doğusundaki 69 numaralı konumda her 10 yılda 6 sa'ya yakın anlamlı bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Ayrıca Sinop sahilinde bulunan 31 numaralı konumda her 10 yılda 4 sa'lık anlamlı bir artış eğilimi bulunmuştur. Kuzeyde bulunan 69, 70, 74, 75, 76, 77, 78, 81, 82 ve 83 numaralı konumlarda fırtına süresiyle alakalı tüm parametrelerde artış eğilimi görülmektedir. 79, 85 ve 86 numaralı konumlarda maksimum fırtına süreleriyle beraber ortalama fırtına sürelerinin de arttığı tespit edilmiştir.

- Kasım ayında Karadeniz'in güneydoğu ve güneybatı kıyılarında anlamlı azalma eğilimleri elde edilmiştir. Zonguldak ile İstanbul Boğazı arasındaki kıyı şeridi için 17 numaralı konumda her 10 yılda 7 sa'ya yakın anlamlı bir azalma eğilimi gözlenirken, bu konumdan batıya doğru gidildikçe azalma eğilimlerinde düşüşler görülmüştür. Trabzon-Rize sahillerinde bulunan 49, 50 ve 51 numaralı konumlarda her 10 yılda 5,5 sa'lık anlamlı azalma eğilimleri tespit edilmiştir. Zonguldak kıyılarındaki 17 ve 18 numaralı konumlarda fırtına süresiyle alakalı tüm parametrelerde azalma eğilimi görülürken, 17 numaralı konumda fırtına sayısının da azaldığı gözlenmiştir. 13, 14 ve 15 numaralı konumlarda maksimum fırtına süreleriyle beraber toplam fırtına sürelerinin ve fırtına sayılarının azaldığı tespit edilmiştir.

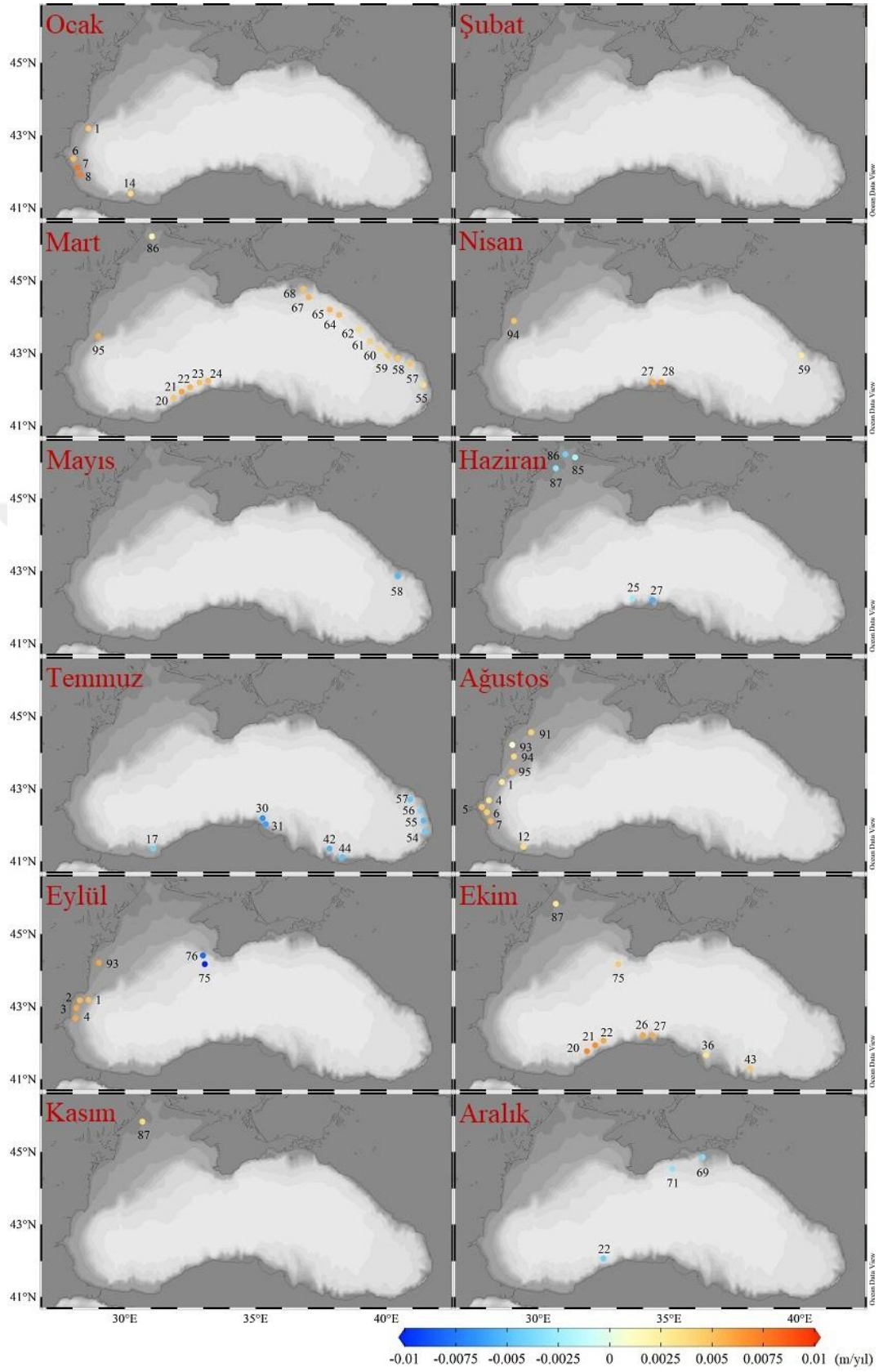
- Aralık ayında Karadeniz'in kuzeydoğu ve güney kıyılarındaki birbirine yakın boylamlarda bulunan konumlarda anlamlı azalma eğilimleri elde edilmiştir. 63 ile 70 numaralı konumlar arasındaki bölge için, 66 numaralı konumda her 10 yılda 8 sa'ya yakın %98 anlamlılık derecesine ve tüm aylar arasındaki maksimum şiddet değerine sahip bir azalma eğilimi gözlenirken, bu konumdan doğuya ve batıya gidildikçe azalma eğilimi değerlerinde düşüşler görülmüştür. Bu konumların karşı tarafındaki Türkiye kıyılarında her 10 yılda yaklaşık 4 sa ile 5 sa arasında anlamlı azalma eğilimleri tespit edilmiştir. Karadeniz'in kuzeydoğusunda bulunan 65, 67, 68, 69 ve 70 numaralı konumlarda fırtına süresiyle ilgili tüm parametrelerde azalma eğilimi gözlenmiştir. 64 numaralı konumda maksimum fırtınanın süresinin dışında toplam fırtına süresinin ve fırtına sayısının, 63 ve 66 numaralı konumlarda maksimum fırtına süreleriyle birlikte toplam fırtına sürelerinin, Karadeniz'in güneyinde bulunan 38 ve 39 numaralı konumlarda maksimum fırtına süreleriyle birlikte ortalama fırtına sürelerinin de azaldığı tespit edilmiştir.

3.4.3 Fırtınaların Dalga Yüksekliklerindeki Mevsimsel Değişimler

3.4.3.1 Fırtınaların Ortalama Dalga Yüksekliklerindeki Mevsimsel Değişimler

Fırtınaların dalga yüksekliklerindeki uzun dönemli mevsimsel değişimleri belirlemek amacıyla ilk olarak çalışma alanındaki 95 konum için 41 yıl boyunca aylık fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri bulunmuş ve analiz edilmiştir. Analiz sonucu bu konumlardan 41 yıllık anlamlı eğilime sahip olanlar ve eğilim değerleri Harita 3.18’de gösterilmiştir. Aynı konumlar için elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık dereceleri Tablo 3.17’de belirtilmiştir.





Harita 3.18 Fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilimler (m/yıl)

Tablo 3.17 Fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri

Ocak	Konum Numarası	1	6	7	8	14										
	Eğilim (m/yıl)	0,005	0,005	0,008	0,007	0,004										
	Anlamlılık (%)	92	90	98	96	92										
Şubat	Konum Numarası															
	Eğilim (m/yıl)															
	Anlamlılık (%)															
Mart	Konum Numarası	20	21	22	23	24	55	57	58	59	60	61	62	64	65	
	Eğilim (m/yıl)	0,005	0,006	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	
	Anlamlılık (%)	94	98	95	92	97	94	95	92	93	92	96	94	97	97	
	Konum Numarası	67	68	86	95											
	Eğilim (m/yıl)	0,006	0,005	0,002	0,006											
	Anlamlılık (%)	98	96	92	92											
Nisan	Konum Numarası	27	28	59	94											
	Eğilim (m/yıl)	0,006	0,006	0,003	0,005											
	Anlamlılık (%)	91	94	94	92											
Mayıs	Konum Numarası	58														
	Eğilim (m/yıl)	-0,005														
	Anlamlılık (%)	94														
Haziran	Konum Numarası	25	27	85	86	87										
	Eğilim (m/yıl)	-0,003	-0,006	-0,002	-0,004	-0,003										
	Anlamlılık (%)	93	93	95	94	96										
Temmuz	Konum Numarası	17	30	31	42	44	54	55	56	57						
	Eğilim (m/yıl)	-0,004	-0,007	-0,006	-0,005	-0,005	-0,004	-0,005	-0,004	-0,005						
	Anlamlılık (%)	90	93	95	90	91	91	92	92	92						

Tablo 3.17 Fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri (devamı)

Ağustos	Konum Numarası	1	4	5	6	7	12	91	93	94	95
	Eğilim (m/yıl)	0,003	0,003	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,001	0,004	0,005
	Anlamlılık (%)	92	92	98	93	94	90	95	92	93	93
Eylül	Konum Numarası	1	2	3	4	75	76	93			
	Eğilim (m/yıl)	0,005	0,005	0,006	0,006	-0,010	-0,008	0,006			
	Anlamlılık (%)	94	98	99	96	98	94	93			
Ekim	Konum Numarası	20	21	22	26	27	36	43	75	87	
	Eğilim (m/yıl)	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006	0,003	0,005	0,005	0,003	
	Anlamlılık (%)	97	98	96	93	90	90	92	90	90	
Kasım	Konum Numarası	87									
	Eğilim (m/yıl)	0,004									
	Anlamlılık (%)	91									
Aralık	Konum Numarası	22	69	71							
	Eğilim (m/yıl)	-0,004	-0,004	-0,003							
	Anlamlılık (%)	94	97	92							

Harita 3.18 ve Tablo 3.17'ye göre 41 yıl boyunca fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerindeki mevsimsel değişimler incelendiğinde, aylık tablolarda çoğunlukla artış eğilimleri gözlenmiştir. Artış eğilimlerinin bulunduğu aylar olarak ocak, mart, nisan, ağustos, eylül ve ekim ayları, azalma eğilimleri içinse haziran-temmuz dönemiyle, aralık ayı dikkat çekmektedir. Bulgular her ay için ayrı değerlendirildiğinde:

- Ocak ayında Karadeniz'in batı ve güneybatı sahillerinde anlamlı artış eğilimleri gözlenmiştir. Bu bölgedeki 7 numaralı konumda tüm aylar arasındaki en şiddetli artış eğilimi olan her 10 yılda 8 cm'lik anlamlı bir artış eğilimi elde edilmiştir. 1, 7 ve 8 numaralı konumlardaki fırtınaların ortalama dalga yükseklikleriyle beraber ortalama fırtına sürelerinin de arttığı görülürken, 14 numaralı konumda ise fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle birlikte maksimum fırtına süresi de artmıştır.
- Şubat ayında fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri için 95 konumun hiçbirinde anlamlı değişim eğilimi tespit edilememiştir.
- Mart ayında Karadeniz'in doğusu, kuzeydoğusu ve güneyindeki artışlar dikkat çekmektedir. Doğu ve kuzeydoğu sahillerindeki 55 numaralı konumla 68 numaralı konumlar arasını kapsayan kıyı şeridi için en yüksek şiddete sahip artış değeri 67 numaralı konumda her 10 yılda 5,6 cm olurken, 67 numaralı konumdaki %98 anlamlılığa sahip eğilim, tüm aylar içerisinde anlamlılık değeri en yüksek eğilim olmuştur. Türkiye'nin Batı Karadeniz sahillerinde bulunan 20-24 konumları arasındaki bölgede artış eğilimi değeri 21 numaralı konumda her 10 yılda 6 cm'yi aşmaktadır. Karadeniz'in kuzeybatısında bulunan Odessa kıyısındaki 86 numaralı konumda her 10 yılda 2,5 cm'lik düşük bir artış eğilimi görülürken, batıdaki 95 numaralı konumda her 10 yılda 6 cm değerinde anlamlı bir artış eğilimi elde edilmiştir. Karadeniz'in kuzeydoğusunda bulunan konumlardan 65 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle beraber fırtına süresiyle alakalı tüm parametrelerin artış eğiliminde olduğu görülmüştür. 59 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle birlikte maksimum fırtına süresi, toplam fırtına süresi ve fırtına sayısının, 67 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle beraber maksimum fırtına süresi ve ortalama fırtına süresinin, 64 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle birlikte fırtına sayısı, ortalama ve toplam fırtına süresinin, 60, 61 ve 62 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerinin yanında fırtına sayıları ve toplam fırtına sürelerinin, 58 numaralı konumdaysa fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle beraber maksimum fırtına süresinin de arttığı gözlenmiştir.

- Nisan ayında Sinop kıyılarında bulunan 27 ve 28 numaralı konumlarda her 10 yılda 6 cm civarı anlamlı artış eğilimleri bulunmuştur. Karadeniz'in doğusunda bulunan 59 numaralı konumda her 10 yılda 3 cm'ye yakın, batıda bulunan 94 numaralı konumda her 10 yılda 5 cm'lik anlamlı bir artış eğilimi tespit edilmiştir. 27 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle beraber ortalama fırtına süresi ve maksimum fırtına süresi, 28 numaralı konumdaysa fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle birlikte ortalama fırtına süresi de artış eğilimindedir.
- Mayıs ayında sadece Karadeniz'in doğusunda bulunan 58 numaralı konumda her 10 yılda 5,3 cm'lik anlamlı bir azalma eğilimi gözlenmiştir. Ayrıca bu konumda fırtına süresiyle alakalı tüm parametreler azalma eğilimindedir.
- Haziran ayında Karadeniz'in kuzeybatısı ve güneyinde anlamlı azalma eğilimleri tespit edilmiştir. Sinop kıyısında bulunan 27 numaralı konumda her 10 yılda 5,6 cm'lik anlamlı bir azalma eğilimi gözlenirken, bu konumun batısındaki 25 numaralı konumda her 10 yılda 2,8 cm'lik daha düşük şiddette anlamlı bir azalma eğilimi bulunmuştur. Odessa kıyılarında bulunan konumlarda en şiddetli eğilim 86 numaralı konumda her 10 yılda 4,3 cm'lik azalma olarak gözlenmiştir. Odessa kıyısındaki 86 ve 87 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama dalga yükseklikleriyle beraber fırtına süreleriyle alakalı tüm parametreler azalma eğilimindeyken, 86 numaralı konumda fırtına sayısı da azalma eğilimindedir. Sinop kıyısındaki 27 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle birlikte ortalama ve toplam fırtına süresi azalırken, 85 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle beraber maksimum fırtına süresi ve toplam fırtına süresi azalmıştır.
- Temmuz ayında Karadeniz'in güney ve doğu sahillerinde anlamlı azalma eğilimleri tespit edilmiştir. Zonguldak kıyısında bulunan 17 numaralı konumda her 10 yılda 4,1 cm'lik %90 anlamlılıkta bir azalma eğilimi elde edilirken, Sinop kıyılarında bulunan 30 ve 31 numaralı konumlarda her 10 yılda sırasıyla 6,6 ve 6,1 cm'lik daha büyük şiddete ve %93-95 gibi daha yüksek seviyede anlamlılığa sahip azalma eğilimleri görülmüştür. Ordu sahillerindeki 42 ve 44 numaralı konumlarla Gürcistan kıyılarındaki konumlarda her 10 yılda 3,9 cm ile 5,2 cm arası anlamlı azalma eğilimleri bulunmuştur. Karadeniz'in güneyinde bulunan 31 numaralı konumla, doğusunda bulunan 56 numaralı konumda fırtınaların ortalama dalga yüksekliğiyle birlikte fırtına süresiyle alakalı tüm parametrelerin azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. 54 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle beraber maksimum fırtına süresi ve toplam fırtına süresi, 55

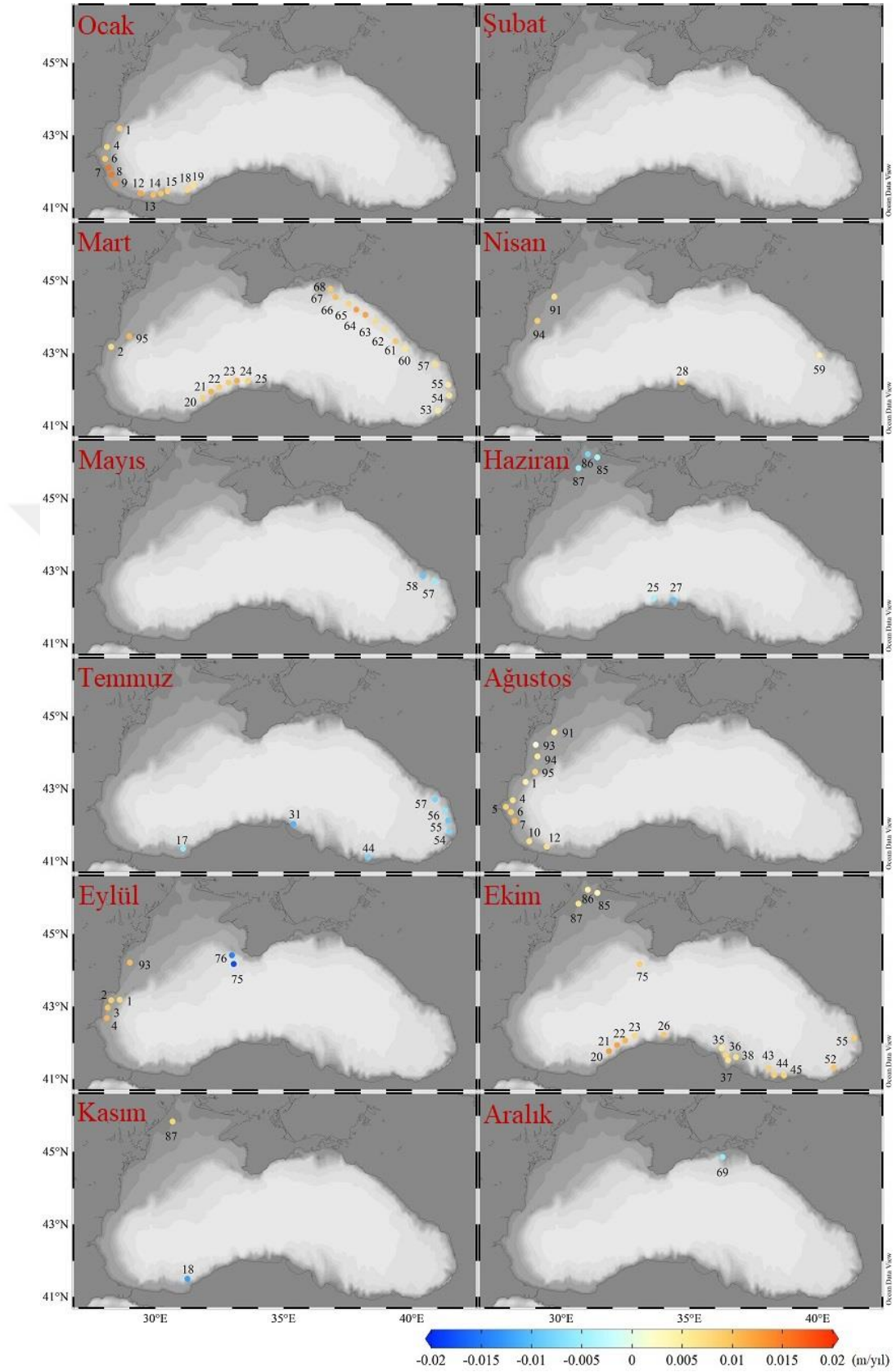
numaralı konumdaysa fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle beraber maksimum fırtına süresi ve ortalama fırtına süresi azalmaktadır.

- Ağustos ayında Karadeniz'in batı sahillerinde çok sayıda konumda anlamlı artış eğilimi gözlenmiştir. Batıdaki konumlardan en şiddetli artış eğilimine sahip konum, her 10 yılda 5,2 cm ile 95 numaralı konum olmuştur. Karadeniz'in batısında bulunan 1, 4, 5, 6, 7, 12, 91, 93, 94 ve 95 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama dalga yükseklikleriyle beraber fırtına süreleriyle alakalı tüm parametreler artış eğiliminde olup bu konumlar arasındaki 1, 4, 5 ve 94 numaralı konumlarda fırtına sayılarının da arttığı görülmüştür.
- Eylül ayında Karadeniz'in batı kıyılarında anlamlı artış, kuzeyindeyse anlamlı azalma eğilimleri görülmüştür. 93 numaralı konumda her 10 yılda 6,1 cm anlamlı bir artış eğilimi gözlenirken, bu konumun güneyinde bulunan konumlarda güneye doğru gidildikçe artış eğiliminde de artışlar elde edilmiştir. Sivastopol kıyılarında bulunan konumlarda yüksek şiddete sahip anlamlı azalma eğilimleri tespit edilmiştir. Bu konumlardan 75 numaralı konumda tüm aylar arasındaki en şiddetli azalma eğilimi olarak her 10 yılda 10,4 cm anlamlı bir azalma eğilimi bulunurken, 76 numaralı konumda her 10 yılda 8 cm anlamlı bir azalma eğilimi elde edilmiştir. Karadeniz'in batısındaki 1, 2, 3, 4 ve 93 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama dalga yükseklikleriyle beraber fırtına süreleriyle ilgili tüm parametreler artış eğilimindedir. Ayrıca bu konumlardan 1, 2 ve 4 numaralı konumlarda fırtına sayıları da artmaktadır.
- Ekim ayında Karadeniz'in güneyindeki anlamlı artış eğilimleri dikkat çekmektedir. 20 numaralı konumda her 10 yılda 7,1 cm anlamlı bir artış eğilimi gözlenirken, bu konumdan doğuya doğru gidildikçe artış eğiliminde azalmalar gözükmemektedir. Karadeniz'in güneyi dışında Sivastopol kıyısındaki 75 numaralı konumda her 10 yılda 4,7 cm ve Odessa kıyısındaki 87 numaralı konumda her 10 yılda 3,2 cm'lik anlamlı bir artış eğilimi saptanmıştır. Karadeniz'in kuzeyindeki Sivastopol kıyısında bulunan 75 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle beraber fırtına süresindeki tüm parametreler artış eğilimi gösterirken, 43 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliği artarken fırtına sayısı azalmaktadır.
- Kasım ayında sadece bir önceki ayda da artış eğilimi tespit edilen 87 numaralı konumda her 10 yılda 3,9 cm'lik anlamlı bir artış eğilimi elde edilmiştir. Ayrıca bu konumda ortalama fırtına süresi de artarken, fırtına sayısının azaldığı görülmüştür.
- Aralık ayında Karadeniz'in güneyinde bulunan 22 numaralı konumda her 10 yılda 4,2 cm anlamlı bir azalma eğilimi ve kuzeyindeki Kırım Yarımadası'nın doğu kıyılarında

bulunan 69 ve 71 numaralı konumlarda her 10 yılda yaklaşık 3,5 cm'lik anlamlı azalma eğilimleri elde edilmiştir. 69 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle beraber fırtına süresiyle ilgili tüm parametrelerin azalma eğiliminde olduğu görülürken, 71 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle birlikte ortalama ve toplam fırtına süresinin azaldığı gözlenmiştir.

3.4.3.2 Fırtınaların Ortalama Pik Dalga Yüksekliklerindeki Mevsimsel Değişimler

Uzun dönemli mevsimsel değişimlerini tespit etmek amacıyla çalışma alanındaki 95 konum için 41 yıl boyunca aylık fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleri bulunmuş ve analiz edilmiştir. Analiz sonrası 41 yıllık anlamlı eğilime sahip olan konumlar ve eğilim değerleri Harita 3.19'da, bu konumlara ait eğilim değerleri ve anlamlılık seviyeleri Tablo 3.18'de gösterilmiştir.



Harita 3.19 Fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilimler (m/yıl)

Tablo 3.18 Fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri

Ocak	Konum Numarası	1	4	6	7	8	9	12	13	14	15	18	19			
	Eğilim (m/yıl)	0,009	0,008	0,009	0,016	0,015	0,013	0,012	0,010	0,010	0,009	0,008	0,007			
	Anlamlılık (%)	93	90	94	99	99	95	90	91	94	93	94	93			
Şubat	Konum Numarası															
	Eğilim (m/yıl)															
	Anlamlılık (%)															
Mart	Konum Numarası	2	20	21	22	23	24	25	53	54	55	57	60	61	62	
	Eğilim (m/yıl)	0,007	0,008	0,011	0,009	0,009	0,011	0,008	0,006	0,007	0,006	0,007	0,007	0,010	0,007	
	Anlamlılık (%)	91	91	98	95	96	98	91	91	90	90	94	90	97	94	
	Konum Numarası	63	64	65	66	67	68	95								
	Eğilim (m/yıl)	0,008	0,012	0,012	0,008	0,010	0,010	0,011								
	Anlamlılık (%)	96	98	98	94	98	97	92								
Nisan	Konum Numarası	28	59	91	94											
	Eğilim (m/yıl)	0,009	0,005	0,007	0,009											
	Anlamlılık (%)	91	93	91	92											
Mayıs	Konum Numarası	57	58													
	Eğilim (m/yıl)	-0,006	-0,009													
	Anlamlılık (%)	90	93													
Haziran	Konum Numarası	25	27	85	86	87										
	Eğilim (m/yıl)	-0,005	-0,010	-0,004	-0,008	-0,006										
	Anlamlılık (%)	91	92	95	97	97										
Temmuz	Konum Numarası	17	31	44	54	55	56	57								
	Eğilim (m/yıl)	-0,006	-0,011	-0,008	-0,008	-0,010	-0,006	-0,008								
	Anlamlılık (%)	90	96	90	93	92	93	91								

Tablo 3.18 Fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri (devamı)

Ağustos	Konum Numarası	1	4	5	6	7	10	12	91	93	94	95			
	Eğilim (m/yıl)	0,005	0,007	0,009	0,009	0,011	0,007	0,007	0,006	0,001	0,006	0,008			
	Anlamlılık (%)	92	94	98	94	94	91	90	94	92	93	93			
Eylül	Konum Numarası	1	2	3	4	75	76	93							
	Eğilim (m/yıl)	0,008	0,009	0,010	0,011	-0,018	-0,014	0,010							
	Anlamlılık (%)	93	98	98	94	99	93	93							
Ekim	Konum Numarası	20	21	22	23	26	35	36	37	38	43	44	45	52	55
	Eğilim (m/yıl)	0,013	0,012	0,011	0,008	0,010	0,006	0,008	0,007	0,007	0,009	0,009	0,008	0,010	0,009
	Anlamlılık (%)	96	97	96	90	91	90	95	92	91	95	96	96	91	91
	Konum Numarası	75	85	86	87										
	Eğilim (m/yıl)	0,009	0,003	0,005	0,006										
	Anlamlılık (%)	96	90	96	94										
Kasım	Konum Numarası	18	87												
	Eğilim (m/yıl)	-0,012	0,008												
	Anlamlılık (%)	91	97												
Aralık	Konum Numarası	69													
	Eğilim (m/yıl)	-0,006													
	Anlamlılık (%)	91													

Harita 3.19 ve Tablo 3.18'e göre 41 yıl boyunca fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliklerindeki mevsimsel değişimler incelendiğinde eğilimlerin çoğunlukla artış yönünde olduğu gözlenmiştir. Yazın son ayı olan ağustos ile sonbaharda sırasıyla eylül ve ekim aylarındaki dönem için anlamlı artış eğilimleri dikkat çekmektedir, bu eğilimler ağustos ve eylül ayında sadece Karadeniz'in batı kıyılarında olup, ekim ayındaysa anlamlı artış eğilimleri güney, güneybatı ve kuzeybatıdaki Odessa kıyılarında gözükmemektedir. Yine anlamlı artış eğilimleri ocak ayında Karadeniz'in güneybatı sahillerinde, mart ayında Karadeniz'in kuzeydoğusu, doğusu ve güneyinde göze çarpmaktadır. Azalma eğilimlerinin görüldüğü dönemler yaz mevsimleri olarak adlandırabileceğimiz mayıs-temmuz aralığında olduğu saptanmıştır. Bulgular her ay için ayrı değerlendirildiğinde:

- Ocak ayında Karadeniz'in güneybatısında yoğunlaşan anlamlı artış eğilimleri elde edilmiştir. 7 numaralı konumda her 10 yılda 15,5 cm'lik %99 anlamlılığa sahip bir artış meydana gelirken bu konumun doğusuna ve kuzeyine doğru gidildikçe artış eğilimlerinde azalmalar gözlenmiştir. Ayrıca 7 numaralı konumdaki eğilimin, tüm aylar arasındaki en şiddetli ve anlamlılık seviyesi en yüksek artış eğilimi olduğu tespit edilmiştir. 1, 7 ve 8 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleriyle birlikte, fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri ve ortalama fırtına süreleri, 14 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle birlikte fırtınanın ortalama dalga yüksekliği ve maksimum fırtına süresi, 6 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle birlikte ortalama dalga yüksekliği ve 12, 13, 15 ve 18 numaralı konumlardaysa fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleriyle birlikte maksimum fırtına süreleri artış eğilimindedir.
- Şubat ayında fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleri için 95 konum arasından herhangi birinde anlamlı bir değişim eğilimi tespit edilememiştir.
- Mart ayında Karadeniz'in güneydoğusunda bulunan 53 numaralı konum ile kuzeyindeki Kerç Boğazı'nda bulunan 68 numaralı konum arasındaki kıyı şeridinde, en yüksek şiddete sahip artış eğilimi her 10 yılda 12,3 cm ile 65 numaralı konumda bulunurken, bu konumdan kuzeye ve güneye gidildikçe artış eğilimlerinde azalmalar meydana geldiği görülmektedir. Türkiye'nin Batı Karadeniz kıyılarında bulunan 20-25 numaralı konumlar arasındaki bölgede her 10 yılda 8,4-11,4 cm arasında anlamlı artış eğilimleri elde edilmiştir. Batıda bulunan 2 numaralı konumda her 10 yılda 7,4 cm ve 95 numaralı konumda 10,6 cm anlamlı bir artış eğilimi gözlenmiştir. Karadeniz'in kuzeydoğu kıyılarında bulunan 65 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliği ve fırtına süresiyle alakalı tüm

parametrelerde artış eğilimi, 67 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliği, maksimum fırtına süresi ve ortalama fırtına süresinde artış eğilimi, 64 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle birlikte fırtınanın ortalama dalga yüksekliği, fırtına sayısı, ortalama ve toplam fırtına süresinde artış eğilimi, 60, 61 ve 62 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleriyle beraber fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri, fırtına sayıları ve toplam fırtına sürelerinde artış eğilimleri ve 66 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle birlikte toplam fırtına süresi ve fırtına sayısında anlamlı bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Karadeniz'in batısında bulunan 95 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliği de artarken 2 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliği artarken, fırtına sayısının azaldığı gözlenmiştir.

- Nisan ayında Sinop kıyısındaki 28 numaralı konumda her 10 yılda 9,1 cm, Gürcistan kıyılarındaki 59 numaralı konumda her 10 yılda 5,3 cm, Karadeniz'in batısındaki 91 numaralı konumda her 10 yılda 7,3 cm ve bu konumun güneyinde bulunan 94 numaralı konumda her 10 yılda 9 cm'ye yakın anlamlı bir artış eğilimi gözlenmiştir. 28 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliği ve ortalama fırtına süresi artış eğilimindedir. 59 ve 94 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleriyle birlikte fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri de artmaktadır.

- Mayıs ayında sadece Karadeniz'in doğusundaki iki konumda anlamlı azalma eğilimi elde edilmiştir. Bu konumlardan 57 numaralı konumda her 10 yılda 5,8 cm ve hemen kuzeybatısındaki 58 numaralı konumda her 10 yılda 9,4 cm'lik daha şiddetli bir azalma eğilimi gözlenmiştir. 58 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliği ve fırtına süresiyle alakalı tüm parametreler azalma eğilimindeyken, 57 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber maksimum fırtına süresinde azalma eğilimi görülmüştür.

- Haziran ayında Karadeniz'in güneyindeki 25 numaralı konumda her 10 yılda 4,7 cm'lik bir azalma gözlenirken, Sinop kıyısındaki 27 numaralı konumda her 10 yılda 9,7 cm'lik daha büyük şiddete sahip bir azalma eğilimi elde edilmiştir. Kuzeybatı kıyılarda bulunan 85, 86 ve 87 numaralı konumlarda anlamlı azalma eğilimleri dikkati çekerken, bu konumlardan 86 numaralı konum her 10 yılda 8 cm'lik bir anlamlı azalma eğilimiyle bu üç konum arasındaki en şiddetli değere sahiptir. 86 ve 87 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleriyle beraber fırtınaların ortalama dalga

yükseklikleri ve fırtına süreleriyle alakalı tüm parametreler azalma eğilimindeyken, 86 numaralı konumda fırtına sayısı da azalma eğilimindedir. 27 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle birlikte fırtınanın ortalama dalga yüksekliği, ortalama ve toplam fırtına süresi azalırken, 85 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliği, maksimum fırtına süresi ve toplam fırtına süresi azalmıştır.

- Temmuz ayında Karadeniz'in doğusu ve güney kıyılarında anlamlı azalma eğilimleri bulunmuştur. Gürcistan kıyılarındaki konumlardan en şiddetli eğilim olarak, 55 numaralı konum her 10 yılda 9,5 cm değerinde anlamlı bir azalma eğilimine sahiptir. Zonguldak kıyısındaki 17 numaralı konumda her 10 yılda 5,8 cm, Sinop kıyısındaki 31 numaralı konumda her 10 yılda 10,7 cm ve Ordu sahilindeki 44 numaralı konumda her 10 yılda 8,3 cm anlamlı azalma eğilimi elde edilmiştir. Karadeniz'in güneyinde bulunan 31 numaralı konumla, doğusunda bulunan 56 numaralı konumda fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleriyle beraber fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri ve fırtına süreleriyle alakalı tüm parametrelerin azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. 54 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliği, maksimum fırtına süresi ve toplam fırtına süresi, 55 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle birlikte fırtınanın ortalama dalga yüksekliği, maksimum fırtına süresi ve ortalama fırtına süresi azalmaktadır. 17, 44 ve 57 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleriyle beraber fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri de azalmaktadır.

- Ağustos ayında Karadeniz'in batısından güneybatısına doğru uzanan anlamlı artış eğilimleri gözlenmiştir. 7 numaralı konumda her 10 yılda 10,7 cm'lik anlamlı bir artış meydana gelirken, bu konumdan kuzeye ve doğuya gidildikçe artış eğilimi değerlerinde azalmalar görülmüştür. Karadeniz'in batısında bulunan 1, 4, 5, 6, 7, 12, 91, 93, 94 ve 95 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleriyle birlikte fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri ve fırtına süreleriyle alakalı tüm parametreler artış eğiliminde olup bu konumlar arasındaki 1, 4, 5 ve 94 numaralı konumlarda fırtına sayılarının da arttığı görülmüştür. 10 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtına süresiyle alakalı tüm parametreler artış eğiliminde olmuştur.

- Eylül ayında Karadeniz'in batısında anlamlı artış eğilimleri gözlenirken, kuzeyinde anlamlı azalma eğilimleri elde edilmiştir. Batıdaki 1 ve 4 numaralı konumlar arasındaki kıyı şeridi için, 4 numaralı konumda her 10 yılda 10,8 cm anlamlı bir artış eğilimi gözlenirken, bu eğilim değerinin kuzeye doğru gittikçe azaldığı görülmüştür. Yine

batıdaki 93 numaralı konumda her 10 yılda 10,4 cm anlamlı bir artış eğilimi bulunmuştur. Sivastopol kıyısındaki 75 numaralı konumda her 10 yılda 18,3 cm'lik %99 anlamlılıkta bir azalma eğilimi elde edilmiştir. Ayrıca bu eğilim değerinin tüm aylar arasında maksimum miktardaki azalma eğilimi olduğu saptanmıştır. Karadeniz'in batısındaki 1, 2, 3, 4 ve 93 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleriyle birlikte fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri ve fırtına süreleriyle ilgili tüm parametreler artış eğilimindeyken, bu konumlardan 1, 2 ve 4 numaralı konumlarda fırtına sayıları da artmaktadır. Karadeniz'in kuzeyindeki 75 ve 76 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleriyle birlikte fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri de azalma eğilimindedir.

- Ekim ayında Karadeniz'in güney kıyıları boyunca anlamlı artış eğilimleri göze çarpmaktadır. Güney kıyılardaki artış eğilimlerinin 20 numaralı konumda her 10 yılda 12,5 cm'yi bulduğu ve bu konumdan başlayarak artış eğilimlerinin doğuya doğru Ordu kıyılarına kadar gittikçe azaldığı, Ordu kıyılarından sonra doğuya doğru gidildikçe arttığı gözlenmiştir. Kırım Yarımadası'ndaki 75 numaralı konumda her 10 yılda 9 cm anlamlı bir artış eğilimi elde edilmiştir. Kuzeybatıdaki Ukrayna sahillerinde bulunan 85, 86 ve 87 numaralı konumlarda batıya doğru artan ve maksimum her 10 yılda 6,4 cm'yi bulan anlamlı artış eğilimleri tespit edilmiştir. Karadeniz'in kuzeyindeki 75 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle birlikte fırtınanın ortalama dalga yüksekliği ve fırtına süresiyle alakalı tüm parametreler artış eğilimi göstermiştir. 43 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliği de artarken fırtına sayısı azalmaktadır. 85 ve 86 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleriyle birlikte maksimum fırtına süreleri ve ortalama fırtına süreleri artmıştır. 37, 38, 44 ve 55 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleri artarken fırtına sayılarının azaldığı tespit edilmiştir. 20, 21, 22, 26, 36 ve 87 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleriyle birlikte fırtınaların ortalama sürelerinin de arttığı görülmüştür.

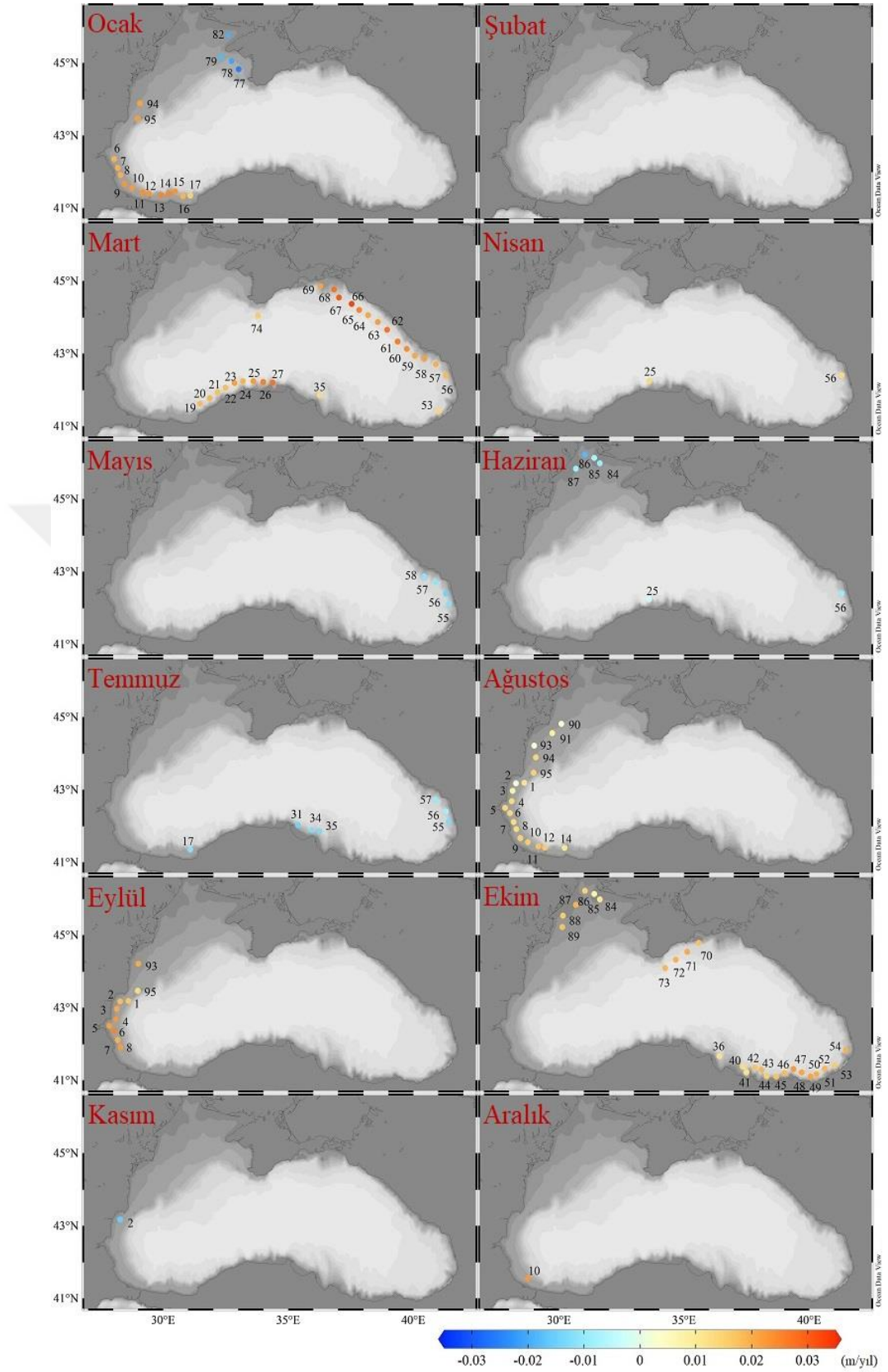
- Kasım ayında Zonguldak kıyısındaki 18 numaralı konumda her 10 yılda 12,3 cm anlamlı bir azalma eğilimi görülürken, Odessa kıyısındaki 87 numaralı konumda her 10 yılda 8,1 cm ve %97 anlamlılık seviyesinde bir artış eğilimi elde edilmiştir. 87 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliği ve ortalama fırtına süresi artarken, fırtına sayısının azaldığı görülmüştür. 18 numaralı konumdaysa fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle birlikte fırtına süreleriyle alakalı tüm parametrelerde anlamlı azalma eğilimi gözlenmiştir.

- Aralık ayında sadece Kerç Boğazı yakınındaki 69 numaralı konumda her 10 yılda 5,8 cm'lik anlamlı bir azalma eğilimi elde edilmiştir. Ayrıca 69 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliği ve fırtına süresiyle ilgili tüm parametrelerin azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.

3.4.3.3 Fırtınaların Maksimum Dalga Yüksekliklerindeki Mevsimsel Değişimler

Fırtınaların maksimum dalga yüksekliklerindeki uzun dönemli mevsimsel değişimleri incelemek amacıyla çalışma alanındaki 95 konum için 41 yıl boyunca aylık maksimum dalga yükseklikleri bulunmuş olup, bu konumlardan analiz sonucu 41 yıllık anlamlı eğilime sahip olanlar ve eğilim değerleri Harita 3.20'de gösterilmiştir. Aynı konumlar için elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık dereceleri Tablo 3.19'da belirtilmiştir.





Harita 3.20 Fırtınaların maksimum dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilimler (m/yıl)

Tablo 3.19 Fırtınaların maksimum dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri

Ocak	Konum Numarası	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	77	78
	Eğilim (m/yıl)	0,020	0,020	0,020	0,023	0,022	0,023	0,023	0,025	0,025	0,023	0,019	0,015	-0,025	-0,021
	Anlamlılık (%)	92	90	90	92	94	98	98	97	97	95	91	91	95	94
	Konum Numarası	79	82	94	95										
	Eğilim (m/yıl)	-0,018	-0,020	0,021	0,022										
	Anlamlılık (%)	94	98	92	94										
Şubat	Konum Numarası														
	Eğilim (m/yıl)														
	Anlamlılık (%)														
Mart	Konum Numarası	19	20	21	22	23	24	25	26	27	35	53	56	57	58
	Eğilim (m/yıl)	0,018	0,019	0,018	0,018	0,021	0,020	0,022	0,026	0,027	0,013	0,014	0,019	0,020	0,022
	Anlamlılık (%)	93	94	94	97	95	96	94	94	92	91	90	97	92	93
	Konum Numarası	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	74		
	Eğilim (m/yıl)	0,021	0,024	0,026	0,027	0,022	0,021	0,025	0,033	0,030	0,027	0,021	0,016		
	Anlamlılık (%)	94	97	97	97	92	91	95	96	98	98	95	92		
Nisan	Konum Numarası	25	56												
	Eğilim (m/yıl)	0,013	0,013												
	Anlamlılık (%)	90	91												
Mayıs	Konum Numarası	55	56	57	58										
	Eğilim (m/yıl)	-0,012	-0,015	-0,011	-0,011										
	Anlamlılık (%)	93	97	93	90										
Haziran	Konum Numarası	25	56	84	85	86	87								
	Eğilim (m/yıl)	-0,003	-0,010	-0,010	-0,007	-0,018	-0,009								
	Anlamlılık (%)	90	92	95	98	99	98								

Tablo 3.19 Fırtınaların maksimum dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık mevsimsel eğilim ve anlamlılık değerleri (devamı)

Temmuz	Konum Numarası	17	31	34	35	55	56	57							
	Eğilim (m/yıl)	-0,012	-0,015	-0,013	-0,013	-0,013	-0,009	-0,010							
	Anlamlılık (%)	90	94	92	93	91	91	92							
Ağustos	Konum Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	90
	Eğilim (m/yıl)	0,012	0,002	0,008	0,013	0,014	0,014	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,016	0,011	0,003
	Anlamlılık (%)	96	93	93	97	99	96	96	94	94	96	96	95	90	90
	Konum Numarası	91	93	94	95										
	Eğilim (m/yıl)	0,009	0,003	0,015	0,015										
	Anlamlılık (%)	97	92	96	95										
Eylül	Konum Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	93	95				
	Eğilim (m/yıl)	0,017	0,018	0,020	0,023	0,022	0,025	0,020	0,022	0,020	0,013				
	Anlamlılık (%)	94	98	99	98	98	97	96	94	93	91				
Ekim	Konum Numarası	36	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
	Eğilim (m/yıl)	0,012	0,013	0,012	0,017	0,019	0,016	0,017	0,018	0,022	0,021	0,021	0,021	0,020	0,019
	Anlamlılık (%)	90	93	93	94	97	97	96	96	95	97	98	98	98	93
	Konum Numarası	53	54	70	71	72	73	84	85	86	87	88	89		
	Eğilim (m/yıl)	0,016	0,020	0,018	0,020	0,019	0,019	0,011	0,008	0,015	0,019	0,016	0,017		
	Anlamlılık (%)	90	93	91	92	90	96	95	90	97	99	93	92		
Kasım	Konum Numarası	2													
	Eğilim (m/yıl)	-0,016													
	Anlamlılık (%)	94													
Aralık	Konum Numarası	10													
	Eğilim (m/yıl)	0,022													
	Anlamlılık (%)	91													

Harita 3.20 ve Tablo 3.19'a göre 41 yıl boyunca fırtınaların maksimum dalga yüksekliklerindeki mevsimsel değişimlere bakıldığında artış eğilimlerinin yoğun olduğu tespit edilmiştir. Yazın son ayı olan ağustos ile sonbaharda bulunan eylül ve ekim ayları için anlamlı artış eğilimleri dikkat çekmektedir. Bu eğilimler ağustos ve eylül ayında sadece Karadeniz'in batı kıyılarında olup, ekim ayındaysa Türkiye'nin kuzeydoğu kıyılarında, Kırım Yarımadası'nın doğusunda ve kuzeybatıdaki Odessa ile Romanya arasındaki kıyı şeridinde gözükmektedir. Ocak ayında anlamlı artış eğilimleri güneybatı ve batı sahillerinde meydana gelirken, mart ayında yine artış eğilimleri yoğunlukta olup bu eğilimler Karadeniz'in kuzeydoğu, doğu ve güneyindeki bölgelerde gözlenmiştir. Azalma eğilimleri ise çoğunlukla mayıs-temmuz dönemindedir. Bulgular her ay için ayrı değerlendirildiğinde:

- Ocak ayında Karadeniz'in batısında ve güneybatısında anlamlı artış eğilimleri gözlenirken, kuzeyinde bulunan Kırım Yarımadası'nın batısındaki konumlarda anlamlı azalma eğilimleri elde edilmiştir. Artış eğilimleri genelde her 10 yıl için 20 cm'yi aşmakta, 13 numaralı konumda 25 cm'yi bulmaktadır. Kuzeydeki 77 numaralı konumda tüm aylar arasındaki en şiddetli azalma olan her 10 yılda 25,5 cm anlamlı bir azalma eğilimi görülürken, bu konumdan kuzeye gidildikçe azalma değerinin 20 cm'nin altına indiği gözlenmiştir. Karadeniz'in güneybatısında bulunan 6, 7, 8 ve 14 numaralı konumlarda fırtınaların dalga yüksekliğiyle alakalı tüm parametreler artış eğilimi göstermiştir. Ayrıca 7 ve 8 numaralı konumlarda ortalama fırtına süreleri, 14 numaralı konumda maksimum fırtına süresi artış eğilimi göstermiştir. 12, 13 ve 15 numaralı konumlardaysa fırtınaların maksimum dalga yükseklikleriyle beraber fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleri ve maksimum fırtına süreleri artış eğilimindedir. 82 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliğiyle beraber maksimum ve toplam fırtına süresi azalmaktadır.
- Şubat ayında fırtınaların maksimum dalga yükseklikleri için 95 konum arasında herhangi bir anlamlı değişim eğilimi tespit edilememiştir. Ayrıca fırtınaların dalga yükseklikleriyle alakalı üç parametre için de şubat ayında herhangi bir değişim eğilimine sahip konum bulunamamıştır.
- Mart ayında Karadeniz'in kuzeydoğusu, doğusu ve güneyinde anlamlı artış eğilimleri gözlenmiştir. 53 ile 69 numaralı konumlar arasındaki kıyı şeridi için en şiddetli artış eğilimi, her 10 yılda 32,7 cm ve %96 anlamlılık ile 66 numaralı konumdur. Ayrıca bu konum tüm aylar arasındaki en şiddetli artış eğilimine sahip konumdur. Karadeniz'in

güneyinde bulunan Zonguldak'tan Sinop'a kadar uzanan bölgede batıdan doğuya doğru artış eğilim değerlerinin giderek arttığı, 27 numaralı konumda her 10 yılda 27,2 cm'yi bulduğu görülmüştür. Samsun kıyısındaki 35 numaralı konumda her 10 yılda 13,2 cm ve Kırım Yarımadası'nın güney ucundaki 74 numaralı konumda her 10 yılda 16,1 cm anlamlı bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Karadeniz'in güneyindeki 20, 21, 22, 23, 24 numaralı konumlarla, doğu ve kuzeydoğu kıyılarda bulunan 57, 60, 61, 62, 64, 65, 67 ve 68 numaralı konumlarda fırtınaların dalga yükseklikleriyle alakalı tüm parametreler artış eğilimi göstermiştir. Bu konumlardan 65 numaralı konumda fırtına süresiyle alakalı tüm parametrelerin de artış eğiliminde olduğu görülmüştür. Ayrıca 67 numaralı konumda maksimum fırtına süresi ve ortalama fırtına süresinin, 64 numaralı konumda fırtına sayısı, ortalama ve toplam fırtına süresinin, 60, 61 ve 62 numaralı konumlarda fırtına sayıları ve toplam fırtına sürelerinin, 63 ve 66 numaralı konumlarda fırtınaların maksimum dalga yükseklikleriyle birlikte fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleri, toplam fırtına süreleri ve fırtına sayılarının, 59 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliğiyle birlikte fırtınanın ortalama dalga yüksekliği, maksimum fırtına süresi, toplam fırtına süresi ve fırtına sayısının, 58 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliğiyle birlikte fırtınanın ortalama dalga yüksekliği ve maksimum fırtına süresinin, 25 ve 53 numaralı konumlarda fırtınaların maksimum dalga yükseklikleriyle birlikte fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliklerinin artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.

- Nisan ayında Karadeniz'in güneyindeki 25 numaralı konumda her 10 yılda 13,4 cm ve doğusundaki 56 numaralı konumda her 10 yılda 13,3 cm anlamlı bir artış eğilimi gözlenmiştir.
- Mayıs ayında sadece Karadeniz'in doğusundaki Gürcistan kıyılarında anlamlı azalma eğilimleri görülmekte olup, bu eğilimler her 10 yılda 11 ile 15 cm arasındadır. Karadeniz'in doğusunda bulunan 58 numaralı konumda fırtınanın dalga yüksekliği ve süresiyle ilgili tüm parametrelerde azalma eğilimi tespit edilmiştir. 55 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliğiyle birlikte maksimum fırtına süresi ve toplam fırtına süresinde, 56 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliğiyle birlikte maksimum fırtına süresinde, 57 numaralı konumdaysa fırtınanın maksimum dalga yüksekliğiyle birlikte fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliği ve maksimum fırtına süresinde azalma eğilimi meydana gelmiştir.
- Haziran ayında Karadeniz'in kuzeybatısındaki azalma eğilimleri dikkat çekmektedir. Ukrayna kıyılarındaki bu konumlarda kuzeye doğru gidildikçe azalma eğilimlerinde artış meydana gelirken, Odessa kıyısındaki 86 numaralı konumda her 10

yılda 18 cm ile en yüksek miktara ulaşmaktadır. Karadeniz'in güneyindeki 25 numaralı konumda her 10 yılda 3,4 cm'lik çok düşük şiddete sahip, doğusundaki 56 numaralı konumdaysa her 10 yılda 9,6 cm anlamlı bir azalma eğilimi meydana gelmiştir. Odessa kıyısındaki 86 numaralı konumda fırtınanın dalga yüksekliği, süresi ve sayısı ile alakalı analiz edilen tüm parametrelerde anlamlı azalma eğilimi görülürken, 87 numaralı konumda fırtınanın dalga yüksekliği ve süresi ile alakalı tüm parametrelerde azalma eğilimi görülmüştür. 85 numaralı konumda fırtınanın dalga yüksekliğindeki tüm parametrelerle birlikte maksimum fırtına süresi ve toplam fırtına süresinde, 84 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliğiyle beraber maksimum fırtına süresi ve toplam fırtına süresinde ve Karadeniz'in güneyindeki 25 numaralı konumda fırtınanın dalga yüksekliği ile alakalı tüm parametrelerde anlamlı azalma eğilimi görülmüştür.

- Temmuz ayında Karadeniz'in güney kıyılarında ve doğusunda anlamlı azalma eğilimleri gözlenmiştir. Bu konumlardan Zonguldak kıyısındaki 17 numaralı konumda her 10 yılda 12,1 cm anlamlı bir azalma meydana gelirken, Sinop-Samsun kıyılarındaki konumlarda her 10 yılda 13-15 cm civarı, Gürcistan kıyılarındaki konumdaysa 8,5-13 cm arasında daha düşük şiddette anlamlı azalma eğilimleri gözlenmiştir. Karadeniz'in güneyinde bulunan 31 numaralı konumla, doğusunda bulunan 56 numaralı konumda fırtınanın dalga yüksekliğiyle beraber fırtına süresi ile alakalı tüm parametrelerin azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. 55 numaralı konumda fırtınanın dalga yüksekliği ile alakalı tüm parametrelerle birlikte maksimum fırtına süresi ve ortalama fırtına süresi azalmaktadır. 17 ve 57 numaralı konumlarda fırtınaların dalga yükseklikleriyle ilgili tüm parametrelerde eğilim azalma yönündedir. 34 ve 35 numaralı konumlarda fırtınaların maksimum dalga yükseklikleriyle birlikte ortalama fırtına süreleri de azalma eğilimi göstermiştir.

- Ağustos ayında Karadeniz'in batısında ve güneybatısında anlamlı artış eğilimleri gözlenmiştir. Düşük şiddete sahip bu artışlar güneybatıda yoğunlaşıp 11 numaralı konumda her 10 yılda 17,2 cm'ye ulaşmaktadır. Karadeniz'in batısında bulunan 1, 4, 5, 6, 7, 12, 91, 93, 94 ve 95 numaralı konumlarda fırtınaların dalga yükseklikleri ve süreleriyle alakalı tüm parametreler artış eğiliminde olup, bu konumlar arasındaki 1, 4, 5 ve 94 numaralı konumlarda fırtına sayılarının da arttığı görülmüştür. 10 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliği, fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliği ve fırtına süresi ile alakalı tüm parametrelerde artış eğilimi, 3 ve 11 numaralı konumlarda fırtınaların maksimum dalga yükseklikleriyle beraber fırtına sayıları ve fırtına süreleriyle ilgili tüm parametrelerde artış eğilimleri, 8 ve 14 numaralı konumlarda fırtınaların

maksimum dalga yükseklikleriyle beraber fırtına süreleriyle ilgili tüm parametrelerde artış eğilimleri, 2 ve 90 numaralı konumlarda fırtınaların maksimum dalga yükseklikleriyle birlikte maksimum fırtına süresi ve toplam fırtına sürelerinde artış eğilimi ve 9 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliğinin yanında fırtına sayısı, maksimum fırtına süresi ve toplam fırtına süresinde artış eğilimi tespit edilmiştir.

- Eylül ayında bir önceki aya benzer olarak Karadeniz'in batı kıyılarında artış eğilimleri görülürken, bir önceki aydan farklı olarak eğilimler daha dar bir bölgede, daha büyük şiddete sahip olduğu gözlenmiştir. Burgaz kıyısındaki 6 numaralı konumda her 10 yılda 25,1 cm anlamlı bir artış eğilimi gözlenirken bu konumdan kuzeye ve güneye gittikçe eğilim değerlerindeki artış miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca 3 numaralı konumda gözlenen her 10 yıldaki 20,4 cm'lik artışın, %99 ile anlamlılık değeri en yüksek eğilim olduğu saptanmıştır. Karadeniz'in batısındaki 1, 2, 3, 4 ve 93 numaralı konumlarda fırtınaların dalga yükseklikleri ve süreleriyle ilgili tüm parametreler artış eğilimindedir. Ayrıca bu konumlardan 1, 2 ve 4 numaralı konumlarda fırtına sayıları da artmaktadır. 6 ve 95 numaralı konumlarda fırtınaların maksimum dalga yükseklikleriyle birlikte fırtına süreleriyle ilgili tüm parametreler artış eğilimi göstermiştir. 5, 6 ve 8 numaralı konumlardaysa fırtınaların maksimum dalga yükseklikleriyle beraber fırtına sayıları, maksimum fırtına süreleri ve toplam fırtına süreleri artmıştır.

- Ekim ayında Karadeniz'in güneydoğusunda, kuzeybatısında ve Kırım Yarımadası'nın doğusunda yoğunlaşan artış eğilimleri gözlenmiştir. Samsun-Batum arasını kapsayan kıyı şeridinde bulunan 47 numaralı konumda her 10 yılda 22,4 cm anlamlı bir artış eğilimi gözlenirken, bu konumdan batıya ve doğuya doğru gittikçe artış eğilimlerinin azaldığı belirlenmiştir. Kırım Yarımadası'nın doğu sahillerindeki konumlarda her 10 yılda 17,5 ile 20 cm arası anlamlı artışlar elde edilirken, kuzeybatı kıyılarında eğilim değerleri, her 10 yılda 7,5cm ile 19,3 cm arasında değişmektedir. 43 numaralı konumda fırtınanın dalga yüksekliğiyle alakalı tüm parametreler artarken fırtına sayısı azalmaktadır. 85 ve 86 numaralı konumlarda fırtınaların maksimum dalga yükseklikleriyle birlikte fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleri, maksimum fırtına süreleri ve ortalama fırtına süreleri artmıştır. 44 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliği de artarken, fırtına sayısının azaldığı tespit edilmiştir. 36 ve 87 numaralı konumlarda fırtınaların maksimum dalga yükseklikleriyle beraber fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleri ve ortalama fırtına sürelerinin arttığı görülmüştür. 45 ve 52 numaralı konumlarda fırtınaların maksimum dalga yükseklikleriyle beraber fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleri de

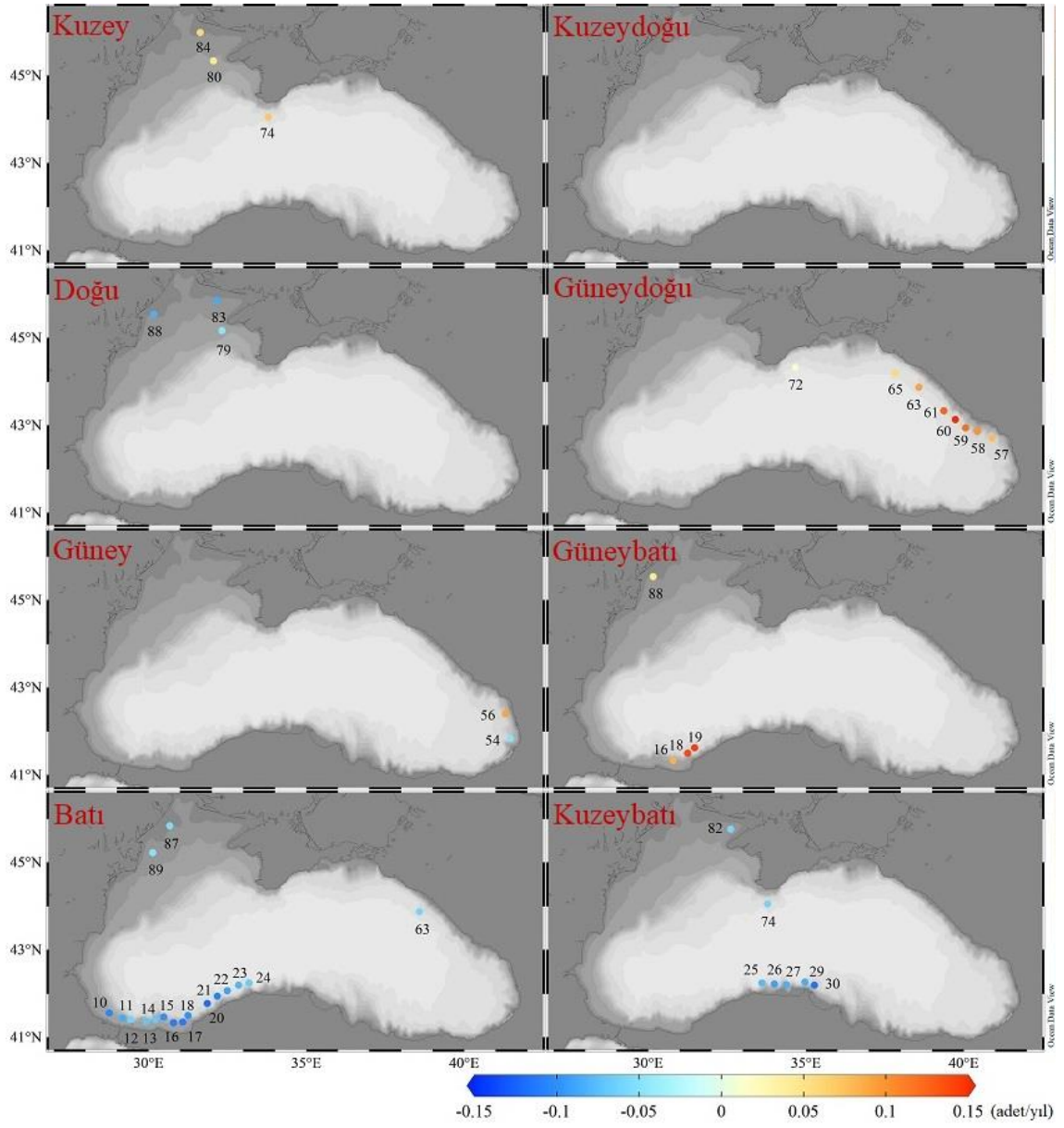
artmıştır. 70 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliğiyle beraber fırtına süresiyle alakalı tüm parametrelerde artış eğilimi görülmüştür. 71, 72 ve 73 numaralı konumlarda fırtınaların maksimum dalga yükseklikleriyle beraber toplam fırtına süreleri de artarken, bu konumlardan 73 numaralı konumda fırtına sayısı da artmıştır. 84 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliğiyle beraber maksimum fırtına süresi de artarken, 46 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliği artarken, fırtına sayısı azalmıştır.

- Kasım ayında sadece Karadeniz'in batısındaki 2 numaralı konumda her 10 yılda 15,6 cm anlamlı bir azalma eğilimi gözlenmiştir. Ayrıca bu konumda fırtına sayısının da azaldığı görülmüştür.
- Aralık ayında sadece Karadeniz'in güneybatısındaki 10 numaralı konumda her 10 yılda 22,4 cm'lik anlamlı ve şiddetli bir artış eğilimi elde edilmiştir.

3.5 Fırtınaların Yönsel Analizi

3.5.1 Fırtına Sayılarındaki Yönsel Değişimler

Yönsel bazda uzun dönemli değişimleri incelemek amacıyla fırtınaları, pik dalga yüksekliklerinin geliş açılarına göre sekiz farklı yöne ayırdıktan sonra, ilk olarak her yön için 41 yıl boyunca yıllık toplam fırtına sayıları bulunmuş ve analiz edilmiştir. Analiz sonrası 95 konumdan anlamlı eğilime sahip olanlar ve eğilim değerleri Harita 3.21'de gösterilirken, bu konumlar için elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık dereceleri Tablo 3.20'de belirtilmiştir.



Harita 3.21 Toplam fırtına sayılarındaki 41 yıllık yönsel eğilimler (adet/yıl)

Tablo 3.20 Toplam fırtına sayılarındaki 41 yıllık yönsel eğilim ve anlamlılık değerleri

Kuzey	Konum Numarası	74	80	84						
	Eğilim (adet/yıl)	0,07	0,05	0,06						
	Anlamlılık (%)	97	98	97						
Kuzeydoğu	Konum Numarası									
	Eğilim (adet/yıl)									
	Anlamlılık (%)									
Doğu	Konum Numarası	79	83	88						
	Eğilim (adet/yıl)	-0,05	-0,09	-0,08						
	Anlamlılık (%)	92	98	94						
Güneydoğu	Konum Numarası	57	58	59	60	61	63	65	72	
	Eğilim (adet/yıl)	0,08	0,10	0,12	0,15	0,13	0,09	0,06	0,01	
	Anlamlılık (%)	92	94	93	98	94	92	90	96	
Güney	Konum Numarası	54	56							
	Eğilim (adet/yıl)	-0,05	0,09							
	Anlamlılık (%)	94	95							
Güneybatı	Konum Numarası	16	18	19	88					
	Eğilim (adet/yıl)	0,08	0,14	0,14	0,05					
	Anlamlılık (%)	93	98	99	92					

Tablo 3.20 Toplam fırtına sayılarındaki 41 yıllık yönsel eğilim ve anlamlılık değerleri (devamı)

Batı	Konum Numarası	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22	23	24	63
	Eğilim (adet/yıl)	-0,11	-0,09	-0,06	-0,07	-0,07	-0,10	-0,11	-0,11	-0,10	-0,12	-0,11	-0,09	-0,08	-0,07	-0,06
	Anlamlılık (%)	99	97	92	94	90	96	97	97	95	99	99,5	99,5	97	98	90
	Konum Numarası	87	89													
	Eğilim (adet/yıl)	-0,06	-0,05													
	Anlamlılık (%)	97	91													
Kuzeybatı	Konum Numarası	25	26	27	29	30	74	82								
	Eğilim (adet/yıl)	-0,08	-0,09	-0,08	-0,09	-0,12	-0,06	-0,06								
	Anlamlılık (%)	90	94	90	91	92	90	98								

Harita 3.21 ve Tablo 3.20'ye göre:

- Kuzey yönlü fırtınalar incelendiğinde, Karadeniz'in kuzeyinde %97-98 arası anlamlılık değerlerine sahip artış eğilimleri gözlenmiştir. Kırım Yarımadası'nın güneyindeki 74 numaralı konumda her 14 yılda 1 adedi bulan, Kırım Yarımadası'nın batısındaki 80 numaralı konumda her 22 yılda 1 adede ulaşan, daha kuzeydeki 84 numaralı konumdaysa her 17 yılda 1 adetlik anlamlı bir artış eğilimi elde edilmiştir.
- Kuzeydoğu yönlü fırtınalara bakıldığında 41 yıl boyunca fırtına sayıları için 95 konum arasında herhangi bir değişim eğilimi bulunamamıştır.
- Doğu yönlü fırtınalar incelendiğinde, Karadeniz'in kuzeyindeki 79 ve 83 numaralı konumlarla kuzeybatısındaki 88 numaralı konumda anlamlı azalma eğilimleri gözlenmiştir. 79 numaralı konumdaki azalma eğilimi her 21 yılda 1 adet iken, 83 ve 88 numaralı konumlardaki azalma eğilimi yaklaşık her 11 yılda 1 adettir.
- Güneydoğu yönlü fırtınalar incelendiğinde, Karadeniz'in kuzeydoğu sahillerindeki artış eğilimleri dikkat çekmektedir. 60 numaralı konumda tüm yönler arasındaki en şiddetli artış eğilimi olarak her 7 yılda 1 adede ulaşan %98 anlamlılık derecesinde bir artış eğilimi gözlenirken, bu konumdan kuzeye ve güneye gidildikçe artıştaki eğilim ve anlamlılık miktarlarının azaldığı görülmüştür. Kırım Yarımadası'ndaki 72 numaralı konumdaysa her 74 yılda 1 adetlik çok düşük şiddette anlamlı bir artış eğilimi meydana gelmiştir.
- Güney yönlü fırtınalara bakıldığında, Karadeniz'in doğusundaki 54 numaralı konumda her 20 yılda 1 adetlik anlamlı bir azalma eğilimi gözlenirken, bu konumun biraz kuzeyindeki 56 numaralı konumda her 11 yılda 1 adede ulaşan anlamlı bir artış eğilimi tespit edilmiştir.
- Güneybatı yönlü fırtınalar incelendiğinde, Türkiye'nin Batı Karadeniz kıyılarındaki üç konumda %98-99 gibi anlamlılık değeri yüksek artış eğilimleri görülmekte olup, bu konumlar arasından en yüksek artış şiddeti, her 7 yılda 1 adede ulaşan 19 numaralı konumda bulunmaktadır. Ayrıca kuzeybatıdaki 88 numaralı konumda her 22 yılda 1 adetlik anlamlı bir artış eğilimi saptanmıştır.
- Batı yönlü fırtınalara bakıldığında Karadeniz'in güneybatısındaki 10 numaralı konumdan, güneyindeki 24 numaralı konumlar arasında bulunan kıyı şeridindeki anlamlılık değerleri yüksek azalma eğilimleri dikkat çekmektedir. Bu bölgedeki 20 numaralı konumda her 8 yılda 1 adede ulaşan %99 anlamlılıkta bir azalma eğilimi gözlenirken, bu konumdan doğuya ve batıya doğru gidildikçe azalma eğilimlerinde

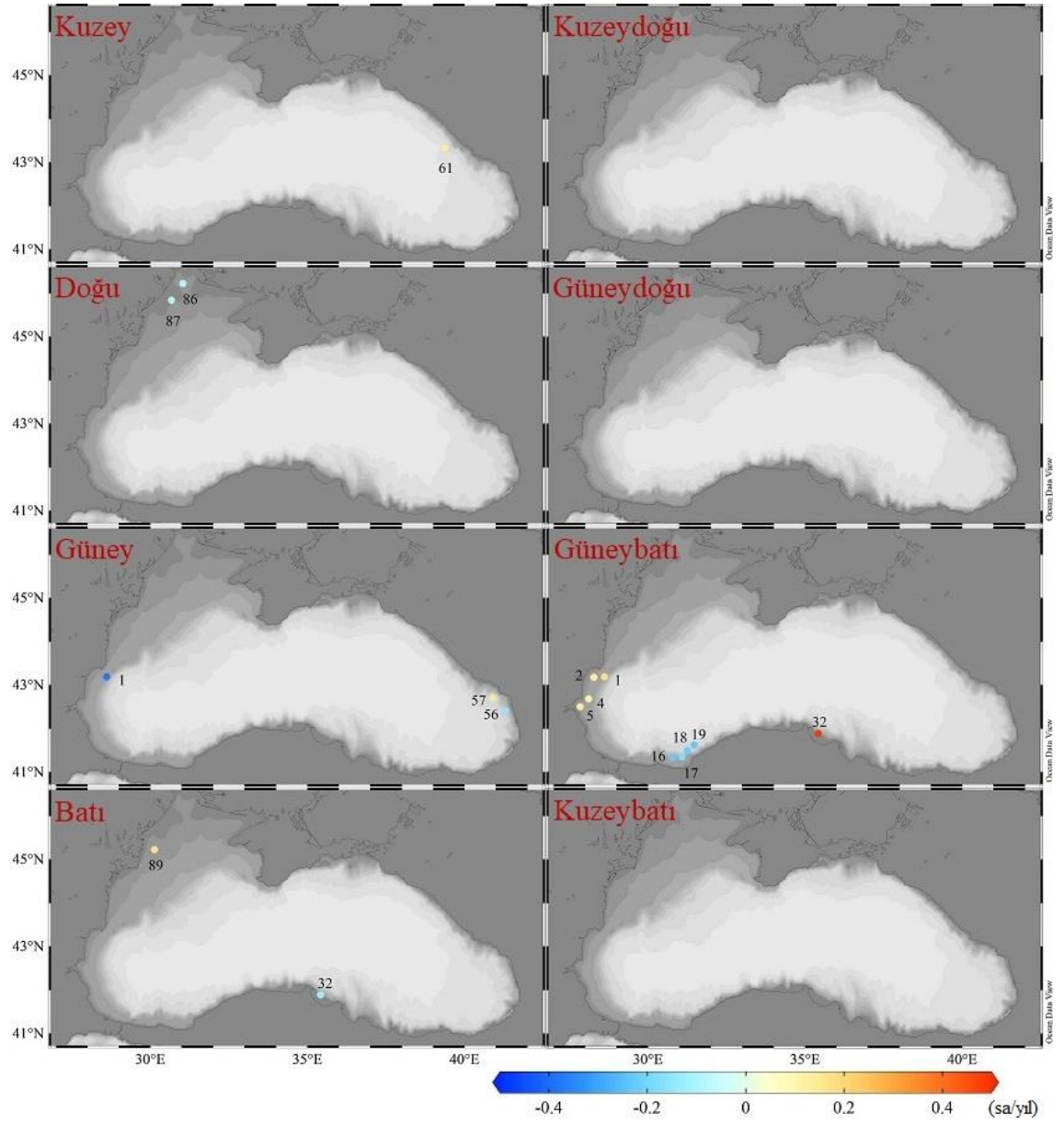
azalmalar görülmektedir. Ayrıca 20 numaralı konumdaki eğilim, tüm aylar arasındaki en şiddetli azalma eğilimi iken, 21 numaralı konumdaki azalma eğiliminin %99,5 ile anlamlılık değeri en yüksek eğilim olduğu saptanmıştır. Bu bölge dışında kuzeybatıdaki 63 numaralı konumda her 17 yılda 1 adet anlamlı bir azalma eğilimi gözlenirken, kuzeybatısındaki 87 ve 89 numaralı konumlarda her 20 yılda 1 adetlik anlamlı bir azalma eğilimi elde edilmiştir.

- Kuzeybatı yönlü fırtınalara bakıldığında Türkiye'nin Orta Karadeniz kıyılarında yoğunlaşan anlamlı azalma eğilimleri dikkat çekmektedir. Bu konumlardaki anlamlı azalma eğilimleri doğuya doğru gidildikçe artmakta, Sinop kıyısındaki 30 numaralı konumda her 9 yılda 1 adede ulaşmaktadır. Ayrıca Kırım Yarımadası'ndaki 74 ve 82 numaralı konumlarda her 17 yılda 1 adet anlamlı azalma eğilimi gözlenmiştir.

3.5.2 Fırtına Sürelerindeki Yönsel Değişimler

3.5.2.1 Ortalama Fırtına Sürelerindeki Yönsel Değişimler

Fırtına sürelerindeki uzun dönemli yönsel değişimleri tespit etmek amacıyla ilk olarak çalışma alanındaki 95 konum için, her yönde 41 yıl boyunca oluşan fırtınaların yıllık ortalama süreleri analiz edilmiş olup, bu konumlardan 41 yıllık anlamlı eğilime sahip olanlar ve eğilim değeri Harita 3.22'de belirtilmiştir. Aynı konumlar için elde edilen eğilim değeri ve anlamlılık dereceleri Tablo 3.21'de sunulmuştur.



Harita 3.22 Ortalama fırtına sürelerindeki 41 yıllık yönsel eğilimler (sa/yıl)

Tablo 3.21 Ortalama fırtına sürelerindeki 41 yıllık yönsel eğilim ve anlamlılık değerleri

Kuzey	Konum Numarası	61								
	Eğilim (sa/yıl)	0,14								
	Anlamlılık (%)	90								
Kuzeydoğu	Konum Numarası									
	Eğilim (sa/yıl)									
	Anlamlılık (%)									
Doğu	Konum Numarası	86	87							
	Eğilim (sa/yıl)	-0,09	-0,10							
	Anlamlılık (%)	95	97							
Güneydoğu	Konum Numarası									
	Eğilim (sa/yıl)									
	Anlamlılık (%)									
Güney	Konum Numarası	1	56	57						
	Eğilim (sa/yıl)	-0,37	-0,16	0,15						
	Anlamlılık (%)	97	95	93						
Güneybatı	Konum Numarası	1	2	4	5	16	17	18	19	32
	Eğilim (sa/yıl)	0,17	0,13	0,12	0,15	-0,22	-0,18	-0,22	-0,24	0,49
	Anlamlılık (%)	97	95	94	94	93	95	96	96	98
Batı	Konum Numarası	32	89							
	Eğilim (sa/yıl)	-0,12	0,17							
	Anlamlılık (%)	94	94							
Kuzeybatı	Konum Numarası									
	Eğilim (sa/yıl)									
	Anlamlılık (%)									

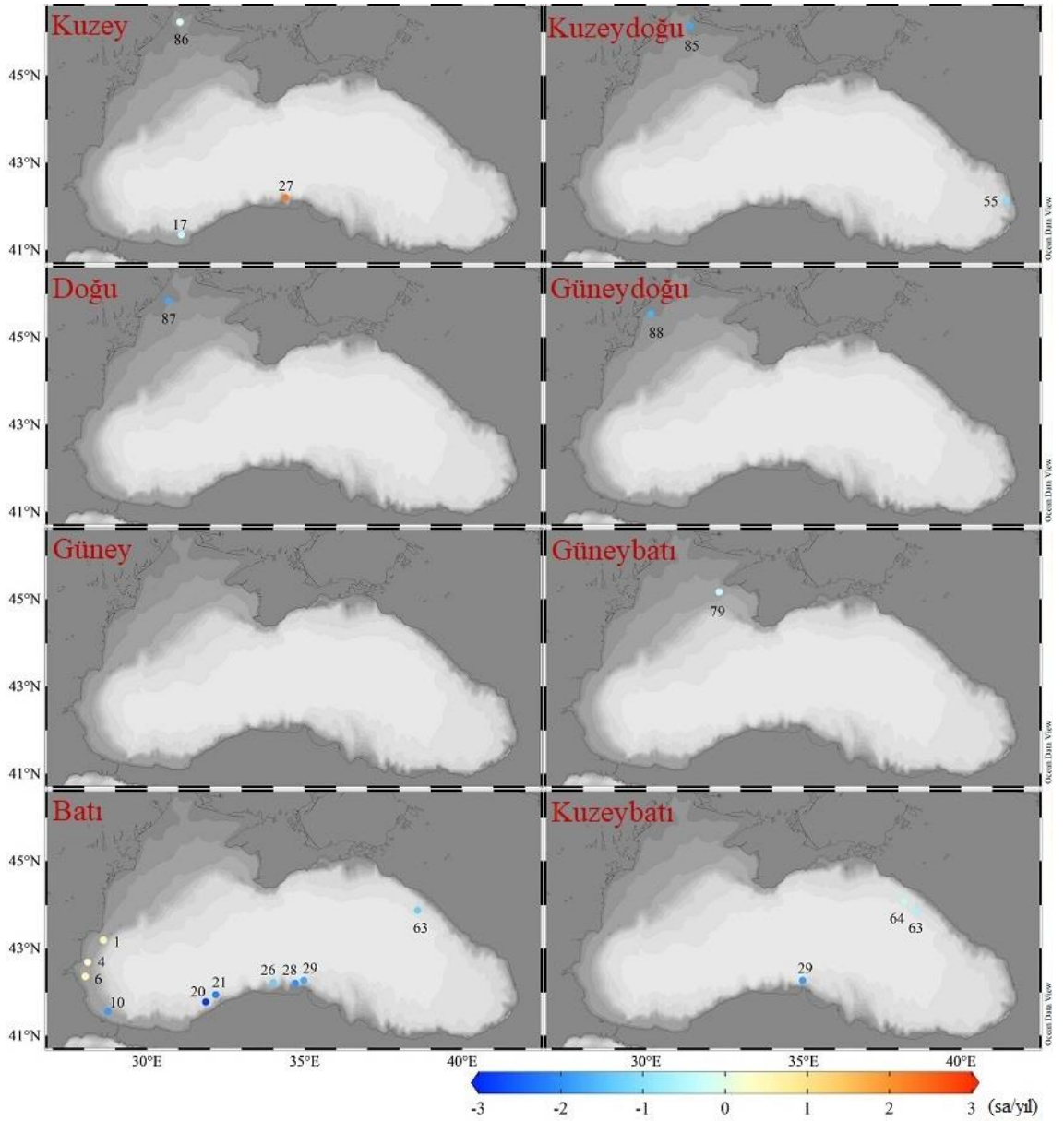
Harita 3.22 ve Tablo 3.21'e göre:

- Kuzey yönlü fırtınalara bakıldığında, sadece Karadeniz'in kuzeydoğusunda bulunan Soçi kıyısındaki 61 numaralı konumda her 10 yılda 1,5 sa'ya yakın anlamlı bir artış eğilimi gözlenmiştir.
- Kuzeydoğu yönlü fırtınalara bakıldığında, fırtına sayılarında olduğu gibi, ortalama fırtına sürelerinde de 95 konum için anlamlı bir değişim eğilimi bulunamamıştır.
- Doğu yönlü fırtınalar için, Karadeniz'in kuzeybatısında bulunan Odessa kıyısındaki 86 ve 87 numaralı konumlarda her 10 yılda 1 sa'lık anlamlı azalma eğilimleri elde edilmiştir.
- Güneydoğu yönlü fırtınalar incelendiğinde ortalama fırtına süreleri için 95 konumdan hiçbirinin anlamlı bir değişim eğilimine sahip olmadığı görülmüştür.
- Güney yönlü fırtınalara bakıldığında, Karadeniz'in doğusundaki 56 numaralı konumda her 10 yılda 1,5 sa'lık anlamlı bir azalma eğilimi görülürken, hemen kuzeyindeki 57 numaralı konumda her 10 yılda 1,5 sa'lık aynı şiddete sahip anlamlı bir artış eğilimi dikkat çekmiştir. Ayrıca batıdaki 1 numaralı konumda her 10 yılda 4 sa'ya yakın %97 anlamlılık derecesinde bir azalma meydana gelmiş olup, bu azalma değerinin tüm yönler arasındaki maksimum azalma değeri olduğu saptanmıştır. 56 numaralı konum için ortalama fırtına süresi azalırken, fırtına sayısının arttığı tespit edilmiştir.
- Güneybatı yönlü fırtınalar incelendiğinde Karadeniz'in batısındaki Bulgaristan kıyılarında anlamlı artış eğilimleri gözlenmiş olup, bu konumlardaki artış eğilimleri her 10 yılda yaklaşık 1,5 sa'dır. Karadeniz'in güneybatısında bulunan Zonguldak-Düzce sahillerindeki konumlardaysa her 10 yılda ortalama 2 sa'lık anlamlı azalma eğilimleri elde edilmiştir. Ayrıca Sinop kıyısındaki 32 numaralı konumda her 10 yılda 5 sa'ya yakın %98 anlamlılıkta bir artış eğilimi görülmüş olup, bu değerin tüm yönler içerisindeki en şiddetli ve anlamlılık değeri en yüksek artış eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Zonguldak kıyısında bulunan 18 ve 19 numaralı konumlarda ortalama fırtına süresi azalırken, fırtına sayısının arttığı gözlenmiştir.
- Batı yönlü fırtınalar incelendiğinde Sinop kıyısındaki 32 numaralı konumda her 10 yılda 1 sa'yı aşan anlamlı bir azalma eğilimi elde edilirken, Karadeniz'in kuzeybatısındaki 89 numaralı konumda her 10 yılda 1,5 sa'ya ulaşan anlamlı bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Ayrıca 89 numaralı konumda ortalama fırtına süresi artarken, fırtına sayısının azaldığı görülmektedir.

- Kuzeybatı yönlü fırtınalardan çalışma alanında ortalama fırtına süreleri için anlamlı bir değişim eğilimi bulunamamıştır.

3.5.2.2 Toplam Fırtına Sürelerindeki Yönsel Değişimler

Toplam fırtına sürelerindeki uzun dönemli yönsel değişimleri incelemek amacıyla çalışma alanında bulunan 95 konum için, 41 yıl boyunca oluşan fırtınaların yıllık toplam süreleri sekiz yön için ayrı ayrı belirlenmiştir. Analiz sonrası, bu konumlardan 41 yıllık anlamlı eğilime sahip olanlar ve eğilim miktarları Harita 3.23'te gösterilirken, konumlar için elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık dereceleri Tablo 3.22'de belirtilmiştir.



Harita 3.23 Toplam fırtına sürelerindeki 41 yıllık yönsel eğilimler (sa/yıl)

Tablo 3.22 Toplam fırtına sürelerindeki 41 yıllık yönsel eğilim ve anlamlılık değerleri

Kuzey	Konum Numarası	17	27	86								
	Eğilim (sa/yıl)	-0,43	2,26	-0,25								
	Anlamlılık (%)	97	93	98								
Kuzeydoğu	Konum Numarası	55	85									
	Eğilim (sa/yıl)	-1,01	-1,78									
	Anlamlılık (%)	90	91									
Doğu	Konum Numarası	87										
	Eğilim (sa/yıl)	-1,76										
	Anlamlılık (%)	92										
Güneydoğu	Konum Numarası	88										
	Eğilim (sa/yıl)	-1,65										
	Anlamlılık (%)	91										
Güney	Konum Numarası											
	Eğilim (sa/yıl)											
	Anlamlılık (%)											
Güneybatı	Konum Numarası	79										
	Eğilim (sa/yıl)	-0,37										
	Anlamlılık (%)	90										
Batı	Konum Numarası	1	4	6	10	20	21	26	28	29	63	
	Eğilim (sa/yıl)	0,53	0,26	0,55	-1,90	-2,91	-2,17	-1,31	-2,00	-1,74	-1,32	
	Anlamlılık (%)	93	90	93	91	98	96	91	92	90	90	
Kuzeybatı	Konum Numarası	29	63	64								
	Eğilim (sa/yıl)	-1,85	-0,65	-0,40								
	Anlamlılık (%)	93	97	93								

Harita 3.23 ve Tablo 3.22'ye göre:

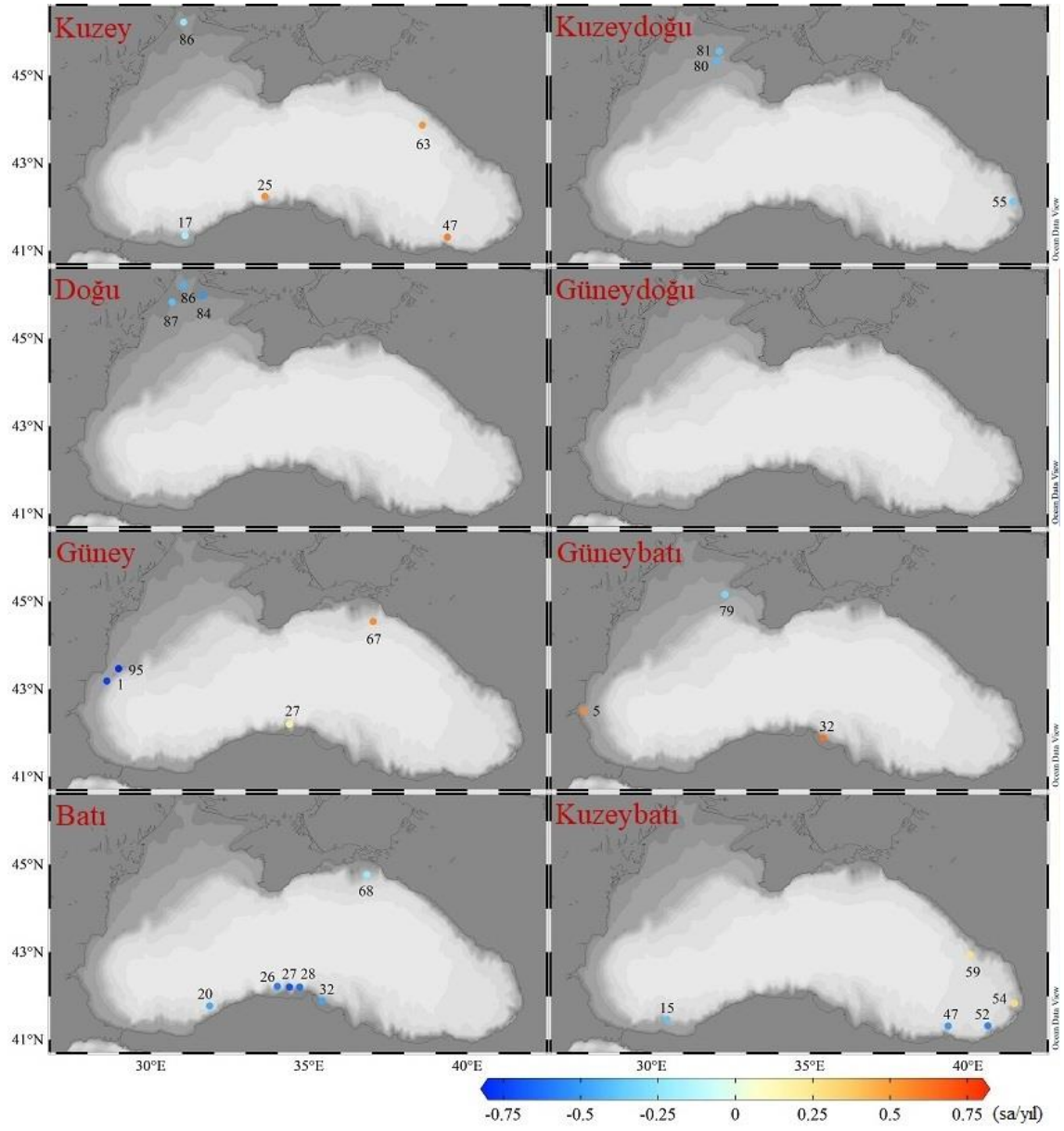
- Kuzey yönlü fırtınalar incelendiğinde, Karadeniz'in güneybatısında bulunan Zonguldak kıyısındaki 17 numaralı konumda her 10 yılda 4 sa'yı aşan, kuzeybatısında bulunan Odessa kıyısındaki 86 numaralı konumda her 10 yılda 2,5 sa'lık anlamlı bir azalma eğilimi gözlenirken, güneyinde bulunan Sinop kıyısındaki 27 numaralı konumda her 10 yılda 22,5 sa'lık %93 anlamlılığa sahip bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Ayrıca bu eğilim, tüm yönler arasındaki en şiddetli artış eğilimi olmuştur.
- Kuzeydoğu yönlü fırtınalara bakıldığında, Karadeniz'in doğusunda bulunan 55 numaralı konumda her 10 yılda 10 sa, kuzeyindeki 85 numaralı konumda ise her 10 yılda 18 sa'ya yakın anlamlı bir azalma eğilimi tespit edilmiştir.
- Doğu yönlü fırtınalara bakıldığında, sadece Karadeniz'in kuzeybatısındaki 87 numaralı konumda her 10 yılda 17,5 sa'ya ulaşan anlamlı bir azalma eğilimi gözlenmiştir.
- Güneydoğu yönlü fırtınalar incelendiğinde, sadece Karadeniz'in kuzeybatısında bulunan 88 numaralı konumda her 10 yılda 16,5 sa'lık anlamlı bir azalma eğilimi elde edilmiştir.
- Güney yönlü fırtınalarda toplam fırtına süresi için, 95 konum arasından anlamlı değişim eğilimine sahip bir konum bulunamamıştır.
- Güneybatı yönlü fırtınalar incelendiğinde, sadece Karadeniz'in kuzeyinde bulunan Kırım Yarımadası'nın batı ucundaki 79 numaralı konumda her 10 yılda 3,5 sa'yı aşan düşük şiddete sahip anlamlı bir azalma eğilimi gözlenmiştir.
- Batı yönlü fırtınalara bakıldığında, Karadeniz'in batısındaki Bulgaristan kıyılarında bulunan 1, 4 ve 6 numaralı konumlarda her 10 yılda 2,5-5,5 sa arası anlamlı artışlar gözlenmiştir. Karadeniz'in güneyindeki konumlarda şiddetli azalma eğilimleri tespit edilirken, bu bölgedeki konumlardan 20 numaralı konumda her 10 yılda 29 sa'ya ulaşan %98 anlamlılığa sahip bir azalma eğilimi elde edilmiştir. Ayrıca bu azalma eğiliminin tüm yönler arasındaki en şiddetli ve anlamlılığı en yüksek azalma eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Bu konumlar dışında kuzeydoğuda bulunan 63 numaralı konumda her 10 yılda 13 sa'yı bulan anlamlı bir azalma eğilimi görülmüştür. Karadeniz'in güneybatısındaki 10, güneyindeki 20 ve 21 ile kuzeydoğusundaki 63 numaralı konumlarda toplam fırtına süreleriyle beraber fırtına sayılarının da azaldığı tespit edilmiştir.
- Kuzeybatı yönlü fırtınalara bakıldığında, Sinop sahilinde bulunan 29 numaralı konumda her 10 yılda 18,5 sa'lık anlamlı bir azalma eğilimi gözlenirken, kuzeydoğuda

bulunan 63 numaralı konum ve bu konumla beraber hemen yanındaki 64 numaralı konumlarda sırasıyla her 10 yılda 6,5 ve 4 sa'lık anlamlı azalma eğilimleri elde edilmiştir. 29 numaralı konumda toplam fırtına süresiyle beraber fırtına sayısının da azaldığı tespit edilmiştir.

3.5.2.3 Maksimum Fırtına Sürelerindeki Yönsel Değişimler

Çalışma alanındaki 95 konum için maksimum fırtına sürelerindeki uzun dönemli yönsel değişimleri belirleme adına, her yön için 41 yıl boyunca oluşan fırtınaların yıllık maksimum süreleri ayrı ayrı bulunmuş ve analiz edilmiştir. Analiz sonrası, 41 yıllık anlamlı eğilime sahip konumlar ve eğilim değerleri Harita 3.24'te, elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık seviyeleri Tablo 3.23'te sunulmuştur.





Harita 3.24 Maksimum fırtına sürelerindeki 41 yıllık yönsel eğilimler (sa/yıl)

Tablo 3.23 Maksimum fırtına sürelerindeki 41 yıllık yönsel eğilim ve anlamlılık değerleri

Kuzey	Konum Numarası	17	25	47	63	86	
	Eğilim (sa/yıl)	-0,19	0,55	0,59	0,53	-0,25	
	Anlamlılık (%)	91	92	97	91	99	
Kuzeydoğu	Konum Numarası	55	80	81			
	Eğilim (sa/yıl)	-0,36	-0,41	-0,39			
	Anlamlılık (%)	96	91	90			
Doğu	Konum Numarası	84	86	87			
	Eğilim (sa/yıl)	-0,51	-0,44	-0,40			
	Anlamlılık (%)	93	90	92			
Güneydoğu	Konum Numarası						
	Eğilim (sa/yıl)						
	Anlamlılık (%)						
Güney	Konum Numarası	1	27	67	95		
	Eğilim (sa/yıl)	-0,76	0,20	0,55	-0,81		
	Anlamlılık (%)	96	95	91	96		
Güneybatı	Konum Numarası	5	32	79			
	Eğilim (sa/yıl)	0,57	0,64	-0,31			
	Anlamlılık (%)	90	93	94			
Batı	Konum Numarası	20	26	27	28	32	68
	Eğilim (sa/yıl)	-0,46	-0,58	-0,71	-0,63	-0,48	-0,23
	Anlamlılık (%)	92	92	96	95	91	92
Kuzeybatı	Konum Numarası	15	47	52	54	59	
	Eğilim (sa/yıl)	-0,38	-0,50	-0,56	0,31	0,27	
	Anlamlılık (%)	91	92	97	93	90	

Harita 3.24 ve Tablo 3.23'e göre:

- Kuzey yönlü fırtınalara bakıldığında, Karadeniz'in güneybatısında bulunan Zonguldak kıyısındaki 17 numaralı konumda her 10 yılda 2 sa ve kuzeybatısında yer alan Odessa kıyısındaki 86 numaralı konumda her 10 yılda 2,5 sa anlamlı bir azalma eğilimi gözlenirken, güneyindeki 25 numaralı konumda her 10 yılda 5,5 sa, güneydoğusunda bulunan Trabzon kıyısındaki 47 numaralı konumda her 10 yılda yaklaşık 6 sa ve kuzeydoğusundaki 63 numaralı konumda her 10 yılda 5 sa'yı aşan anlamlı bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Ayrıca Odessa kıyısındaki 86 numaralı konumdaki eğilimin %99 seviyesiyle anlamlılık değeri en yüksek eğilim olduğu saptanmıştır. 17 ve 86 numaralı konumlarda maksimum fırtına süreleriyle beraber toplam fırtına sürelerinin de azaldığı görülmüştür.
- Kuzeydoğu yönlü fırtınalar incelendiğinde, Karadeniz'in doğusundaki 55 numaralı konumda her 10 yılda 3,5 sa ve kuzeyinde bulunan 80 ve 81 numaralı

konumlarda her 10 yılda yaklaşık 4 sa'lık anlamlı azalma eğilimleri tespit edilmiştir. 55 numaralı konumda maksimum fırtına süresiyle beraber toplam fırtına süresi de azalmıştır.

- Doğu yönlü fırtınalara bakıldığında, Karadeniz'in kuzeybatısındaki anlamlı azalma eğilimleri dikkat çekmiştir. Bu bölgedeki konumlardan, 84 numaralı konumda her 10 yılda 5 sa'lık anlamlı bir azalma eğilimi gözlenirken, batıya doğru gittikçe azalma eğilimlerinin de azaldığı görülmüştür. 86 numaralı konumda maksimum fırtına süresiyle beraber ortalama fırtına süresi de azalırken, 87 numaralı konumda fırtına süresiyle alakalı üç parametrede de anlamlı azalma eğilimi gözlenmiştir.

- Güneydoğu yönlü fırtınalar için 95 konum arasından herhangi bir konumda anlamlı bir değişim eğilimine rastlanamamıştır.

- Güney yönlü fırtınalar incelendiğinde, Karadeniz'in batısında şiddetli azalma eğilimleri göze çarpmaktadır. Bu bölgedeki 1 ve 95 numaralı konumlarda sırasıyla her 10 yılda 7,5 ve 8 sa'lık %96 anlamlılıkta azalmalar tespit edilirken, 95 numaralı konumdaki azalma eğiliminin, tüm yönler arasındaki en şiddetli azalma eğilimi olduğu saptanmıştır. Karadeniz'in güneyinde yer alan Sinop kıyısındaki 27 numaralı konumda her 10 yılda 2 sa, kuzeyindeki 67 numaralı konumda her 10 yılda 5,5 sa anlamlı bir artış eğilimi elde edilmiştir. 1 numaralı konumda maksimum fırtına süresiyle beraber ortalama fırtına süresinin de azaldığı görülmüştür.

- Güneybatı yönlü fırtınalara bakıldığında, Karadeniz'in batısında bulunan Burgaz kıyısındaki 5 numaralı konumda her 10 yılda 5,5 sa ve güneyinde yer alan Sinop kıyısındaki 32 numaralı konumda her 10 yılda 6 sa'yı aşan anlamlı bir artış eğilimi gözlenirken, kuzeyinde bulunan Kırım Yarımadası'nın batı ucundaki 79 numaralı konumda her 10 yılda 3 sa'lık anlamlı bir azalma eğilimi bulunmuştur. Ayrıca 32 numaralı konumdaki eğilimin, tüm yönler arasındaki en şiddetli artış eğilimi olduğu saptanmıştır. 79 numaralı konumda maksimum fırtına süresiyle beraber toplam fırtına süresinin de azaldığı, 5 ve 32 numaralı konumlardaysa maksimum fırtına sürelerindeki artışla beraber ortalama fırtına sürelerinin de arttığı tespit edilmiştir.

- Batı yönlü fırtınalar incelendiğinde, Karadeniz'in güneyindeki anlamlı azalma eğilimleri dikkat çekmektedir. Bu konumlardan Sinop kıyısındaki 27 numaralı konumda her 10 yılda 7 sa anlamlı bir azalma meydana gelirken, aynı konumdan batıya ve doğuya doğru gidildikçe azalma şiddetinde azalmalar görülmüştür. Ayrıca Karadeniz'in kuzeyinde yer alan Kerç Boğazı'nın doğusundaki 68 numaralı konumda her 10 yılda 2 sa'yı aşan düşük şiddetli bir azalma eğilimi gözlenmiştir. 32 numaralı konumda

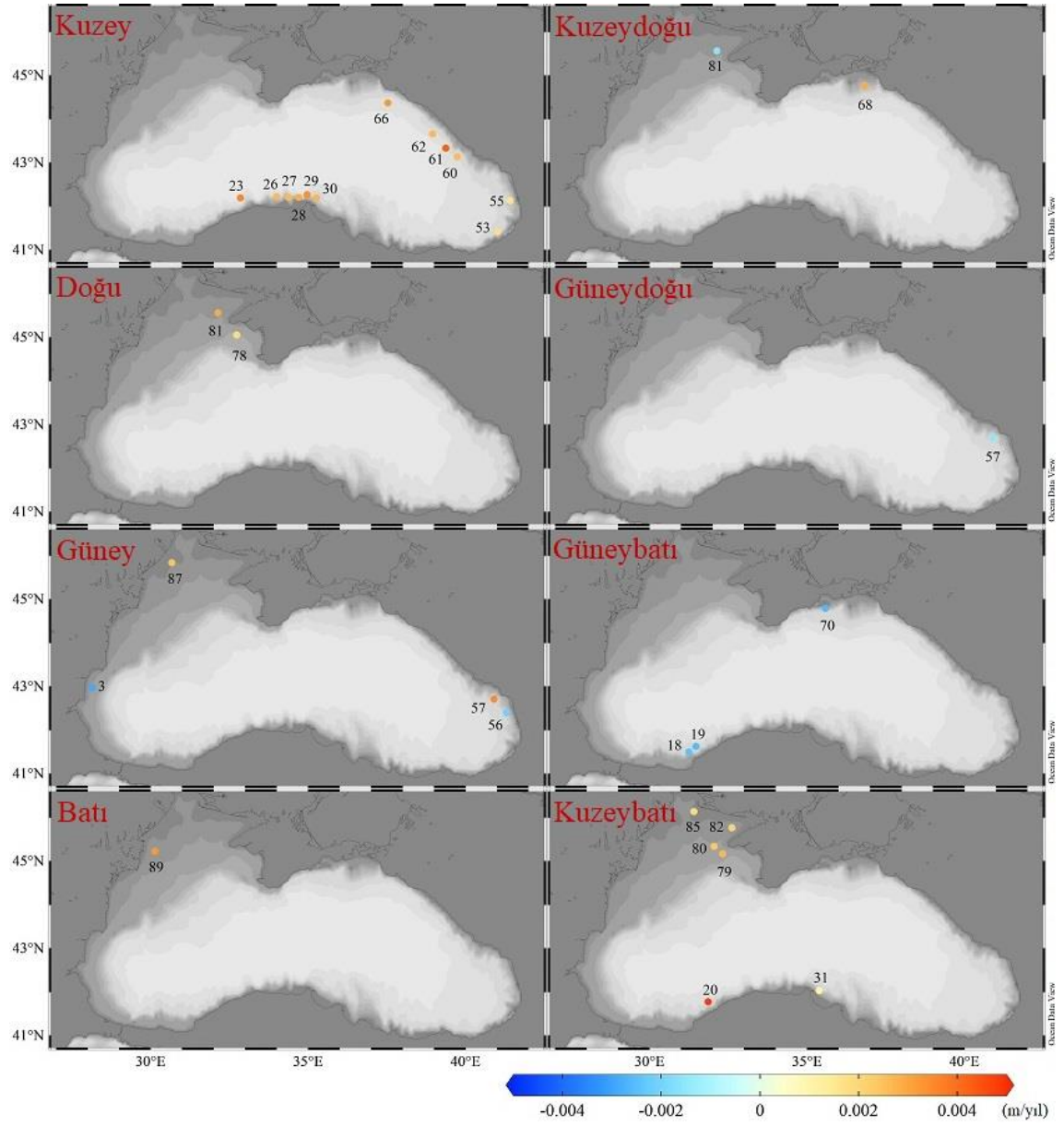
maksimum fırtına süresiyle beraber ortalama fırtına süresi de azalma eğilimindedir. 20, 26 ve 28 numaralı konumlarda maksimum fırtına süreleriyle beraber toplam fırtına süreleri de azalırken, 20 numaralı konumda bunlara ek olarak fırtına sayısında da düşüş meydana gelmiştir.

- Kuzeybatı yönlü fırtınalara bakıldığında, Karadeniz'in güneybatısındaki 15 numaralı konumda her 10 yılda 4 sa'ya yakın, güneydoğusundaki Trabzon ve Rize kıyılarında bulunan 47 ve 52 numaralı konumlarda her 10 yılda sırasıyla 5 ve 5,5 sa'lık anlamlı azalma eğilimleri gözlenirken, yine güneydoğusunda bulunan Batum kıyısındaki 54 numaralı konumda her 10 yılda 3 sa ve doğusundaki 59 numaralı konumda her 10 yılda 2,5 sa'lık anlamlı bir artış eğilimi tespit edilmiştir.

3.5.3 Fırtınaların Dalga Yüksekliklerindeki Yönsel Değişimler

3.5.3.1 Fırtınaların Ortalama Dalga Yüksekliklerindeki Yönsel Değişimler

Fırtınaların dalga yüksekliklerindeki uzun dönemli yönsel değişimleri belirlemek amacıyla ilk olarak çalışma alanında bulunan 95 konum için, sekiz yöne ait 41 yıl boyunca oluşan fırtınaların yıllık ortalama dalga yükseklikleri analiz edilmiş olup, 41 yıllık anlamlı eğilime sahip olan konumlar ve eğilim değerleri Harita 3.25'te belirtilmiştir. Aynı konumlar için elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık seviyeleri Tablo 3.24'te sunulmuştur.



Harita 3.25 Fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık yönsel eğilimler (m/yıl)

Tablo 3.24 Fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık yönsel eğilim ve anlamlılık değerleri

Kuzey	Konum Numarası	23	26	27	28	29	30	53	55	60	61	62	66
	Eğilim (m/yıl)	0,004	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,002	0,002	0,003	0,005	0,003	0,004
	Anlamlılık (%)	95	95	94	93	95	91	93	98	95	99,5	93	93
Kuzeydoğu	Konum Numarası	68	81										
	Eğilim (m/yıl)	0,003	-0,002										
	Anlamlılık (%)	92	91										
Doğu	Konum Numarası	78	81										
	Eğilim (m/yıl)	0,002	0,003										
	Anlamlılık (%)	91	95										
Güneydoğu	Konum Numarası	57											
	Eğilim (m/yıl)	-0,002											
	Anlamlılık (%)	91											
Güney	Konum Numarası	3	56	57	87								
	Eğilim (m/yıl)	-0,003	-0,002	0,004	0,003								
	Anlamlılık (%)	91	93	98	90								
Güneybatı	Konum Numarası	18	19	70									
	Eğilim (m/yıl)	-0,003	-0,003	-0,003									
	Anlamlılık (%)	98	96	95									
Batı	Konum Numarası	89											
	Eğilim (m/yıl)	0,004											
	Anlamlılık (%)	90											
Kuzeybatı	Konum Numarası	20	31	79	80	82	85						
	Eğilim (m/yıl)	0,005	0,001	0,003	0,003	0,002	0,002						
	Anlamlılık (%)	93	90	96	91	96	91						

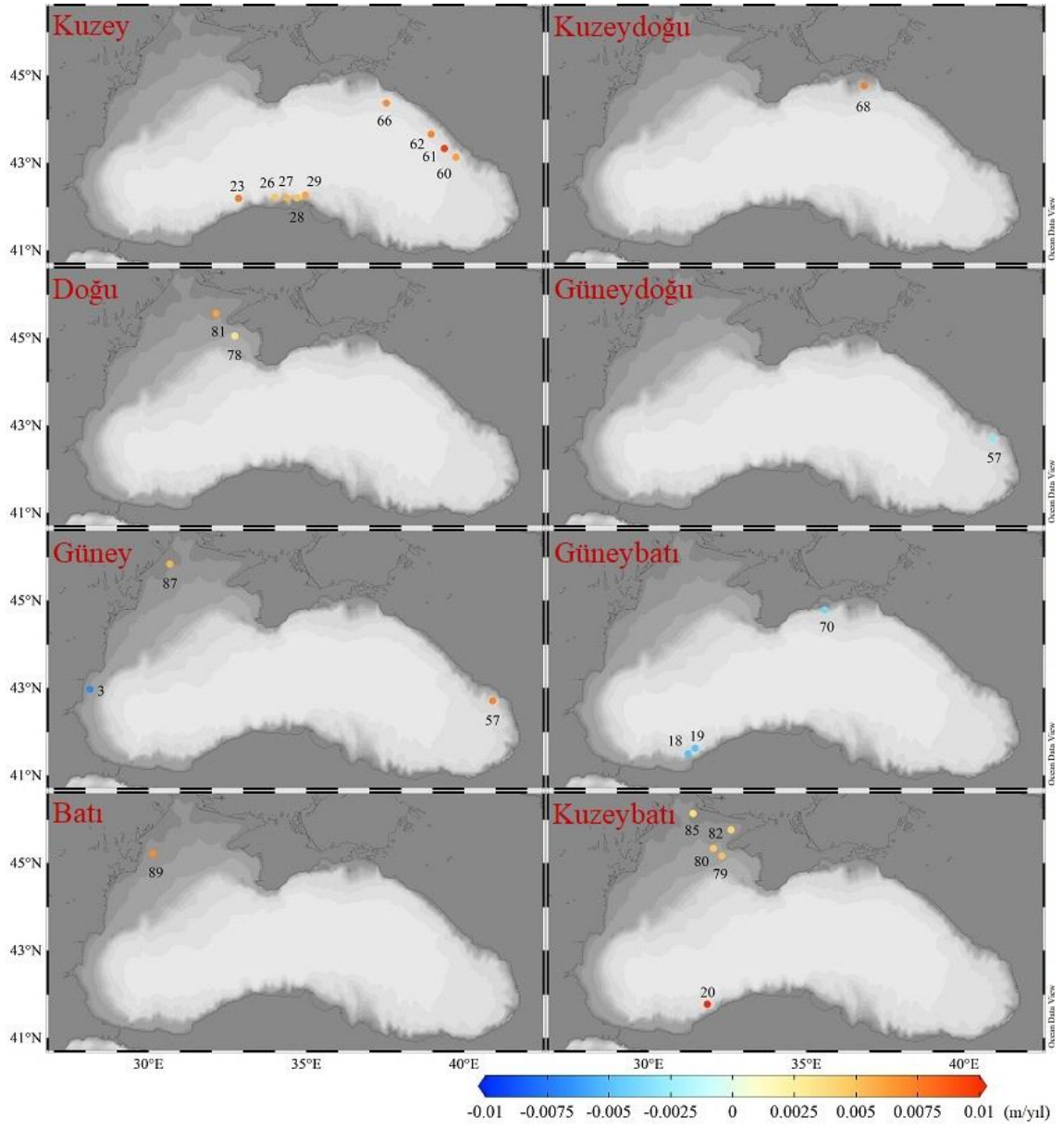
Harita 3.25 ve Tablo 3.24'e göre:

- Kuzey yönlü fırtınalar incelendiğinde, tüm yönler arasında en fazla sayıda eğilime sahip konum kuzey yönlü fırtınalarda olup, eğilimler Karadeniz'in güneyinde, doğusunda ve kuzeydoğusunda gözlenmiştir. Sinop kıyısında yoğunluk gösteren konumlarda her 10 yılda 3-4 cm arası anlamlı artışlar görülmektedir. Kuzeydoğudaki dört konum arasında en yüksek şiddetli eğilim, her 10 yılda 4,6 cm ve %99,5 anlamlılığa sahip artışla Soçi kıyısındaki 61 numaralı konumda olurken, doğudaki 53 ve 55 numaralı konumlarda 2 cm'ye yakın anlamlı artışlar bulunmaktadır. 27 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle beraber toplam fırtına süresinin, 61 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle beraber ortalama fırtına süresinin arttığı görülmektedir.
- Kuzeydoğu yönlü fırtınalar incelendiğinde, Karadeniz'in kuzeyinde bulunan Kırım Yarımadası'nın doğusundaki 68 numaralı konumda her 10 yılda 3,1 cm anlamlı bir artış eğilimi görülürken, yarımadanın batı sahilindeki 81 numaralı konumda her 10 yılda 1,8 cm anlamlı bir azalma eğilimi tespit edilmiştir. 81 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle beraber maksimum fırtına süresinde de azalma meydana geldiği gözlenmiştir.
- Doğu yönlü fırtınalara bakıldığında, Karadeniz'in kuzeyinde bulunan Kırım Yarımadası'nın batı kıyılarındaki 78 numaralı konumda her 10 yılda 2 cm, 81 numaralı konumda her 10 yılda 3,2 cm anlamlı bir artış eğilimi meydana gelmiştir.
- Güneydoğu yönlü fırtınalara bakıldığında, sadece Karadeniz'in doğusundaki 57 numaralı konumda her 10 yılda 1,7 cm'lik anlamlı bir azalma eğilimi gözlenirken, bu konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliği azalırken, fırtına sayısının arttığı tespit edilmiştir.
- Güney yönlü fırtınalar incelendiğinde, Karadeniz'in batısındaki 3 numaralı konum ile doğusundaki 56 numaralı konumda her 10 yılda sırası ile 3,2 cm ve 2,3 cm'lik anlamlı azalma eğilimleri görülürken, 56 numaralı konumun hemen kuzeyindeki 57 numaralı konum ile Karadeniz'in kuzeybatısındaki 87 numaralı konumda her 10 yılda sırası ile 3,8 cm ve 2,7 cm'lik anlamlı artış eğilimleri bulunmuştur. Ayrıca 3 numaralı konumdaki eğilimin, tüm yönler arasındaki en şiddetli azalma eğilimi olduğu saptanmıştır. 56 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle beraber ortalama fırtına süresi de azalırken, fırtına sayısının arttığı gözlenmiştir. 57 numaralı konumdaysa fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle beraber ortalama fırtına süresinin de arttığı görülmektedir.

- Güneybatı yönlü fırtınalara bakıldığında, Karadeniz'in güneybatısındaki Zonguldak kıyılarında bulunan 18 ve 19 numaralı konumlarda ve kuzeydeki 70 numaralı konumda her 10 yılda 3 cm'ye yakın anlamlı azalma eğilimleri elde edilmiştir. Buna ek olarak 18 numaralı konumda elde edilen %98 anlamlılık seviyesindeki eğilimin tüm yönler arasındaki anlamlılık değeri en yüksek eğilim olduğu bulunmuştur. 18 ve 19 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama dalga yükseklikleriyle beraber, ortalama fırtına sürelerinde de anlamlı azalma eğilimi görülürken, fırtına sayılarının arttığı gözlenmiştir.
- Batı yönlü fırtınalar incelendiğinde, sadece Karadeniz'in kuzeybatısındaki 89 numaralı konumda her 10 yılda 3,5 cm'lik anlamlı bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Bu konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğinin yanında ortalama fırtına süresi de artarken, fırtına sayısının azaldığı görülmüştür.
- Kuzeybatı yönlü fırtınalar incelendiğinde, Karadeniz'in kuzeyinde bulunan Kırım Yarımadası'nın batı sahillerindeki anlamlı artışlar dikkat çekmektedir. Bu bölgedeki konumlardan 79 numaralı konumda her 10 yılda 2,9 cm'lik anlamlı bir artış eğilimi gözlenirken, bu konumdan kuzeye gidildikçe eğilimdeki artış şiddetinin azaldığı görülmüştür. Güney sahillerde anlamlı eğilim bulunan iki konumdan Sinop kıyısındaki 31 numaralı konumda her 10 yılda 1,2 cm'lik düşük şiddetli bir artış eğilimi gözlenirken, Zonguldak kıyısındaki 20 numaralı konumda her 10 yılda 5,3 cm'lik bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Ayrıca bu eğilim değerinin tüm yönler arasındaki en yüksek artış eğilimi olduğu saptanmıştır. 82 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliği artarken, fırtına sayısının azaldığı görülmektedir.

3.5.3.2 Fırtınaların Ortalama Pik Dalga Yüksekliklerindeki Yönsel Değişimler

Uzun dönemli yönsel değişimlerini incelemek için çalışma alanında bulunan 95 konumda sekiz yöne ait 41 yıl boyunca oluşan fırtınaların yıllık ortalama pik dalga yükseklikleri bulunmuş ve analiz edilmiştir. Analiz sonrası konumlar arasından 41 yıllık anlamlı eğilime sahip olanlar ve eğilim değerleri Harita 3.26'da, bu konumlar için elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık seviyeleri Tablo 3.25'te sunulmuştur.



Harita 3.26 Fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık yönsel eğilimler (m/yıl)

Tablo 3.25 Fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık yönsel eğilim ve anlamlılık değerleri

Kuzey	Konum Numarası	23	26	27	28	29	60	61	62	66
	Eğilim (m/yıl)	0,008	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,010	0,007	0,007
	Anlamlılık (%)	95	94	95	92	91	98	99,9	93	90
Kuzeydoğu	Konum Numarası	68								
	Eğilim (m/yıl)	0,007								
	Anlamlılık (%)	95								
Doğu	Konum Numarası	78	81							
	Eğilim (m/yıl)	0,003	0,006							
	Anlamlılık (%)	92	94							
Güneydoğu	Konum Numarası	57								
	Eğilim (m/yıl)	-0,003								
	Anlamlılık (%)	95								
Güney	Konum Numarası	3	57	87						
	Eğilim (m/yıl)	-0,007	0,007	0,005						
	Anlamlılık (%)	91	98	93						
Güneybatı	Konum Numarası	18	19	70						
	Eğilim (m/yıl)	-0,005	-0,005	-0,004						
	Anlamlılık (%)	98	97	91						
Batı	Konum Numarası	89								
	Eğilim (m/yıl)	0,007								
	Anlamlılık (%)	95								
Kuzeybatı	Konum Numarası	20	79	80	82	85				
	Eğilim (m/yıl)	0,010	0,005	0,005	0,004	0,004				
	Anlamlılık (%)	96	95	92	95	92				

Harita 3.26 ve Tablo 3.25'e göre:

- Kuzey yönlü fırtınalara bakıldığında, Karadeniz'in güneyinde ve kuzeydoğusunda bulunan anlamlı artış eğilimleri dikkat çekmektedir. Güney kıyılarda bulunan konumlardaki artış eğilimlerinden en şiddetlisi her 10 yılda 7,6 cm anlamlı bir artış eğilimiyle 23 numaralı konumda olup, kuzeydoğudaki en şiddetli artış eğilimine sahip konumsa her 10 yılda 9,6 cm ile Soçi kıyısındaki 61 numaralı konum olmuştur. Ayrıca 61 numaralı konumdaki eğilimin, %99,9 seviyesi ile tüm yönler arasındaki en yüksek anlamlılık değeri olduğu saptanmıştır. Güneydeki 23, 26 ve 29 numaralı konumlarla, kuzeydoğudaki 60, 62 ve 66 numaralı konumlarda oluşan fırtınaların, ortalama pik dalga yükseklikleriyle beraber ortalama dalga yükseklikleri de artmıştır. 27 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber, fırtınanın ortalama dalga yüksekliği ve toplam fırtına süresinin, 61 numaralı konumda fırtınanın ortalama dalga yüksekliğiyle beraber ortalama fırtına süresinin arttığı görülmektedir.
- Kuzeydoğu yönlü fırtınalar incelendiğinde, sadece Karadeniz'in kuzeyinde bulunan Kerç Boğazı'nın doğusundaki 68 numaralı konumda her 10 yılda 7,4 cm'lik anlamlı bir artış eğilimi gözlenirken, bu konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliği de artmıştır.
- Doğu yönlü fırtınalar için, Karadeniz'in kuzeyinde bulunan Kırım Yarımadası'nın batı kıyılarındaki 78 numaralı konumda her 10 yılda 3,4 cm ve 81 numaralı konumda her 10 yılda 6,1 cm anlamlı bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Ayrıca bu konumlardaki fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerinin de arttığı gözlenmiştir.
- Güneydoğu yönlü fırtınalara bakıldığında, sadece Karadeniz'in doğusundaki 57 numaralı konumda her 10 yılda 3,1 cm anlamlı bir azalma eğilimi elde edilmiş olup, bu konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliği de azalırken, fırtına sayısının arttığı tespit edilmiştir.
- Güney yönlü fırtınalar incelendiğinde, Karadeniz'in batısında bulunan Varna kıyısındaki 3 numaralı konumda her 10 yılda 7 cm'lik anlamlı bir azalma eğilimi gözlenmiş olup, bu eğilimin, tüm yönler arasındaki en şiddetli azalma eğilimi olduğu saptanmıştır. Artış eğilimlerine bakıldığında, Karadeniz'in doğusundaki 57 numaralı konumda her 10 yılda 7,1 cm, kuzeybatısındaki 87 numaralı konumda her 10 yılda 5,4 cm anlamlı bir artış eğilimi tespit edilmiştir. 57 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber, fırtınanın ortalama dalga yüksekliğinin ve ortalama fırtına süresinin arttığı görülmektedir. 3 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik ve ortalama

dalga yüksekliğinin azaldığı, 87 numaralı konumdaysa fırtınanın ortalama pik ve ortalama dalga yüksekliğinin arttığı gözlenmiştir.

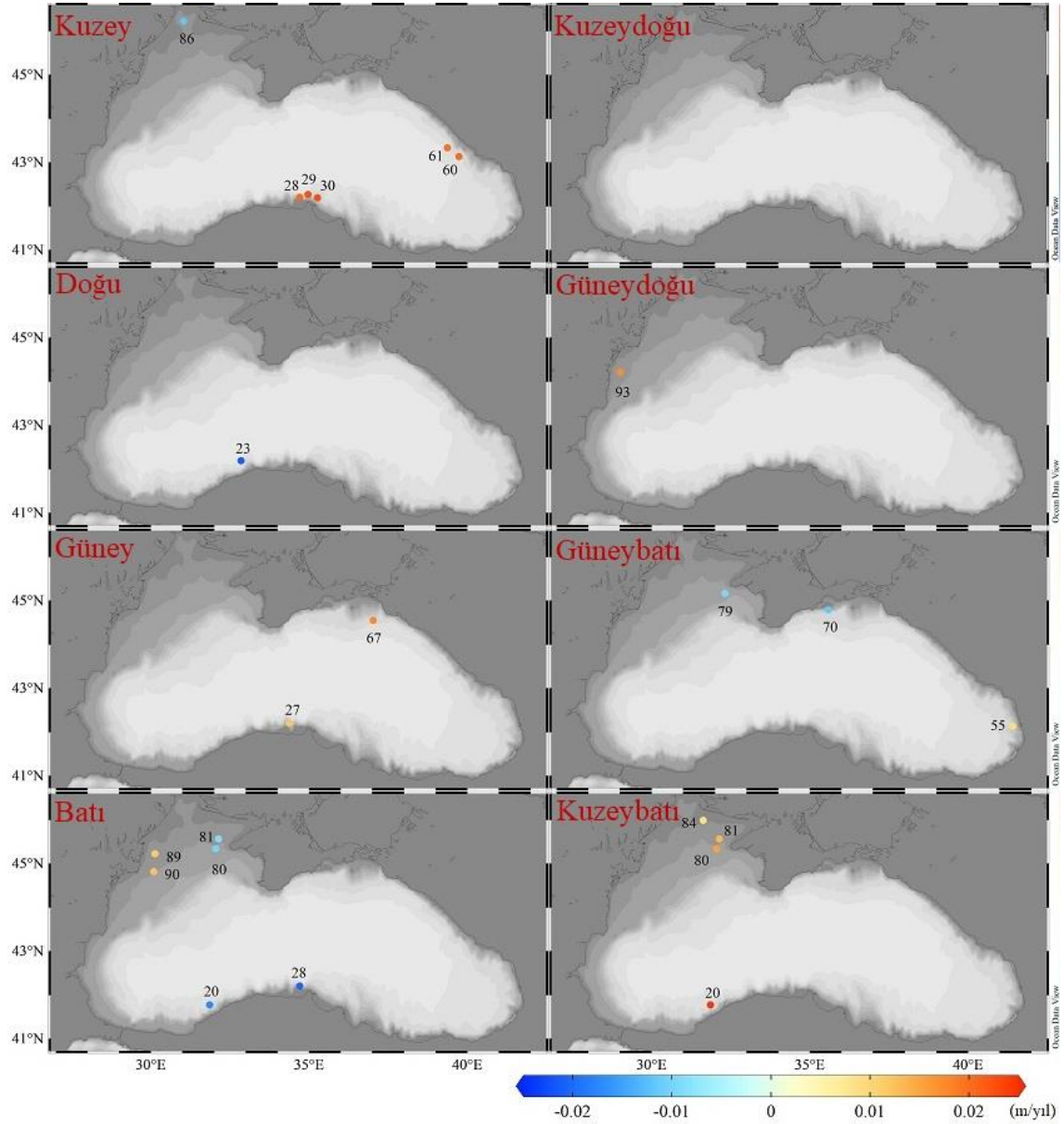
- Güneybatı yönlü fırtınalara bakıldığında, Karadeniz'in güneybatısındaki Zonguldak kıyılarında her 10 yılda 5 cm'lik anlamlı azalma eğilimleri ve kuzeyindeki 70 numaralı konumda her 10 yılda 4 cm anlamlı bir azalma eğilimi elde edilmiştir. 18 ve 19 numaralı konumlarda fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleriyle beraber, fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri ve ortalama fırtına sürelerinde anlamlı azalma eğilimi görülürken, fırtına sayılarının arttığı gözlenmiştir. 70 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliğinin de azaldığı görülmektedir.

- Batı yönlü fırtınalara bakıldığında, sadece Karadeniz'in kuzeybatısındaki 89 numaralı konumda her 10 yılda 6,9 cm'lik anlamlı bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Aynı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliği ve ortalama fırtına süresi artarken, fırtına sayısının azaldığı görülmüştür.

- Kuzeybatı yönlü fırtınalar incelendiğinde, Karadeniz'in kuzeyinde bulunan Kırım Yarımadası'nın batı sahillerindeki konumlarda oluşan anlamlı artışlar dikkat çekmektedir. Bu konumlardan 79 numaralı konumda her 10 yılda 5,1 cm anlamlı bir artış eğilimi görülürken, kuzeye doğru gidildikçe artış eğilimlerinin azaldığı gözlenmiştir. Karadeniz'in güneyinde bulunan 20 numaralı konumda tüm yönler arasındaki en yüksek artış eğilimi olan her 10 yılda 10,5 cm'lik anlamlı bir artış bulunmuştur. 82 numaralı konumda fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliği de artarken, fırtına sayısının azaldığı görülmektedir. 20, 79, 80 ve 85 numaralı konumlarda oluşan fırtınaların, ortalama pik dalga yükseklikleriyle beraber ortalama dalga yüksekliklerinin de arttığı saptanmıştır.

3.5.3.3 Fırtınaların Maksimum Dalga Yüksekliklerindeki Yönsel Değişimler

Fırtınaların maksimum dalga yüksekliklerindeki uzun dönemli yönsel değişimleri belirlemek amacıyla çalışma alanındaki 95 konumda her yön için 41 yıl boyunca oluşan fırtınaların yıllık maksimum dalga yükseklikleri bulunmuştur. Analiz sonrası 41 yıllık anlamlı eğilime sahip konumlar ve eğilim değerleri Harita 3.27’de, elde edilen eğilim değerleri ve anlamlılık dereceleri Tablo 3.26’da verilmiştir.



Harita 3.27 Fırtınaların maksimum dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık yönsel eğilimler (m/yıl)

Tablo 3.26 Fırtınaların maksimum dalga yüksekliklerindeki 41 yıllık yönsel eğilim ve anlamlılık değerleri

Kuzey	Konum Numarası	28	29	30	60	61	86
	Eğilim (m/yıl)	0,020	0,022	0,022	0,020	0,020	-0,012
	Anlamlılık (%)	94	96	94	94	94	98
Kuzeydoğu	Konum Numarası						
	Eğilim (m/yıl)						
	Anlamlılık (%)						
Doğu	Konum Numarası	23					
	Eğilim (m/yıl)	-0,021					
	Anlamlılık (%)	90					
Güneydoğu	Konum Numarası	93					
	Eğilim (m/yıl)	0,017					
	Anlamlılık (%)	97					
Güney	Konum Numarası	27	67				
	Eğilim (m/yıl)	0,012	0,017				
	Anlamlılık (%)	94	91				
Güneybatı	Konum Numarası	55	70	79			
	Eğilim (m/yıl)	0,009	-0,012	-0,010			
	Anlamlılık (%)	92	96	93			
Batı	Konum Numarası	20	28	80	81	89	90
	Eğilim (m/yıl)	-0,017	-0,021	-0,010	-0,009	0,011	0,012
	Anlamlılık (%)	90	90	90	95	93	96
Kuzeybatı	Konum Numarası	20	80	81	84		
	Eğilim (m/yıl)	0,024	0,015	0,013	0,009		
	Anlamlılık (%)	96	92	90	92		

Harita 3.27 ve Tablo 3.26'ya göre:

- Kuzey yönlü fırtınalara bakıldığında, Karadeniz'in güneyindeki Sinop kıyılarında bulunan üç konumda ve kuzeydoğu sahillerinde bulunan iki konumda her 10 yılda 20 cm'lik anlamlı artış eğilimleri gözlenirken, kuzeybatıdaki Odessa kıyısında bulunan 86 numaralı konumda her 10 yılda 12 cm anlamlı bir azalma eğilimi tespit edilmiş ve ayrıca 86 numaralı konumdaki eğilimin, %98 ile tüm yönler arasındaki anlamlılık seviyesi en yüksek eğilim değeri olduğu saptanmıştır. Karadeniz'in güneyindeki Sinop kıyılarında bulunan 28 ve 29 numaralı konumlarla, kuzeydoğusunda bulunan 60 ve 61 numaralı konumlarda, fırtınaların dalga yükseklikleriyle alakalı tüm parametrelerde artış gözlenmiş olup bu konumlardan Soçi kıyısındaki 61 numaralı konumda ortalama fırtına süresinin de arttığı görülmüştür. 30 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliğiyle beraber fırtınanın ortalama dalga yüksekliği de artmıştır. Karadeniz'in kuzeybatısındaki 86 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliğiyle

beraber, maksimum fırtına süresi ve toplam fırtına süresinde azalma eğilimi elde edilmiştir.

- Kuzeydoğu yönlü fırtınalara bakıldığında, fırtınaların maksimum dalga yüksekliği için çalışma alanı içinde istatistiksel olarak anlamlı herhangi bir değişim tespit edilememiştir.
- Doğu yönlü fırtınalar incelendiğinde, sadece Karadeniz'in güneyinde bulunan 23 numaralı konumda her 10 yılda 21 cm'ye ulaşan anlamlı bir azalma eğilimi elde edilmiştir. Bu eğilim değerinin tüm konumlar arasındaki en şiddetli azalma eğilimi olduğu da saptanmıştır.
- Güneydoğu yönlü fırtınalar incelendiğinde, Karadeniz'in batısındaki 93 numaralı konumda her 10 yılda 17 cm'lik anlamlı bir artış eğilimi tespit edilmiştir.
- Güney yönlü fırtınalara bakıldığında, Karadeniz'in güneyindeki 27 numaralı konumda her 10 yılda 12 cm ve kuzeydoğusunda bulunan 67 numaralı konumda her 10 yılda 17,4 cm anlamlı bir artış eğilimi gözlenmiştir. Ayrıca 27 ve 67 numaralı konumlarda fırtınaların maksimum dalga yükseklikleriyle beraber maksimum fırtına sürelerinin de arttığı görülmüştür.
- Güneybatı yönlü fırtınalar incelendiğinde, Karadeniz'in doğusundaki 55 numaralı konumda her 10 yılda 9,1 cm anlamlı bir artış eğilimi görülürken, kuzeyinde bulunan 70 ve 79 numaralı konumlarda her 10 yılda sırası ile 11,6 cm ve 9,6 cm'lik anlamlı azalma eğilimleri tespit edilmiştir. Karadeniz'in kuzeyinde bulunan 70 numaralı konumda, fırtınanın dalga yüksekliğiyle alakalı tüm parametrelerde anlamlı azalma eğilimi görülmüştür. 79 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliğiyle beraber maksimum fırtına süresi ve toplam fırtına süresinin azaldığı gözlenmiştir.
- Batı yönlü fırtınalara bakıldığında, Karadeniz'in kuzeybatısındaki 89 ve 90 numaralı konumlarda her 10 yılda yaklaşık 12 cm'lik anlamlı artış eğilimleri görülürken, bu konumların doğusunda bulunan Kırım Yarımadası'nın batı kıyılarındaki 80 ve 81 numaralı konumlarda her 10 yılda yaklaşık 10 cm'lik anlamlı azalma eğilimleri gözlenmiştir. Karadeniz'in güneyinde bulunan iki konumdan Zonguldak kıyısındaki 20 numaralı konumda her 10 yılda 17 cm ve Sinop kıyısında bulunan 28 numaralı konumda her 10 yılda 20,6 cm'lik anlamlı bir azalma eğilimi elde edilmiştir. Karadeniz'in kuzeybatısında bulunan 89 numaralı konumda fırtınanın dalga yüksekliğiyle alakalı tüm parametreler artış eğilimi göstermiştir. Yine 89 numaralı konumda ortalama fırtına süresinin arttığı, fırtına sayısının azaldığı tespit edilmiştir. 20 numaralı konumda

fırtınanın maksimum dalga yüksekliğiyle beraber fırtına sayısının, maksimum fırtına süresinin ve toplam fırtına süresinin azaldığı görülmüştür. 28 numaralı konumda fırtınanın maksimum dalga yüksekliğiyle beraber maksimum fırtına süresi ve toplam fırtına süresinin azaldığı gözlenmiştir.

- Kuzeybatı yönlü fırtınalar incelendiğinde, Karadeniz'in kuzeyinde bulunan üç konumdan 80 numaralı konumda her 10 yılda 15 cm'lik anlamlı bir artış görülürken, bu konumdan kuzeye doğru gidildikçe artış eğilimlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Karadeniz'in güneyinde bulunan 20 numaralı konumda her 10 yılda 24,5 cm ve %96 anlamlılık seviyesinde bir artış eğilimi gözlenirken, bu artış eğiliminin tüm yönler arasındaki en şiddetli artış eğilimi olduğu saptanmıştır. Karadeniz'in kuzeyindeki 80 ve güneyindeki 20 numaralı konumlarda fırtınaların dalga yükseklikleriyle alakalı tüm parametreler artış eğilimindedir.

3.6 Karadeniz'in Fırtınalılığının İklim Uzun Dönem Salınım İndeksleri ile İlişkisi

Karadeniz'in fırtınalılığının iklim uzun dönem salınım indeksleri ile ilişkisini incelemek amacıyla analizler sonucu 1979-2019 arasındaki 41 yıllık süre boyunca anlamlı değişim eğilimi belirlenen konumlarda yine bu 41 yıllık dönem için her yıl oluşan fırtınaların sayılarına, maksimum fırtına sürelerine, fırtınaların ortalama dalga yüksekliklerine, fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliklerine ve fırtınaların maksimum dalga yüksekliklerine bakılmış olup, bu parametrelerin uzun dönem salınım indeksleriyle olan korelasyon sonuçları Tablo 3.27'de sunulmuştur.

Tablo 3.27 Karadeniz fırtınalılığının iklim uzun dönemli salınım indeksleriyle ilişkisi, r

Fırtına Parametresi	Konum Numarası	NAO	EA	EA/WR	AMO	PNA
Yıllık fırtına sayısı	14	-0,110	-0,200	0,272	-0,197	0,112
	21	0,228	-0,005	0,426	-0,223	0,164
	22	0,136	0,049	0,255	-0,181	0,326
	23	0,113	-0,025	0,304	-0,194	0,277
	24	0,180	0,035	0,296	-0,136	0,265
	69	-0,127	0,323	-0,144	0,343	0,357
	72	-0,269	0,331	-0,139	0,392	0,466
	79	-0,093	0,139	0,013	-0,028	0,400
	86	-0,289	-0,081	-0,241	-0,003	0,324
	87	-0,307	-0,070	-0,239	-0,081	0,320
Yıllık maksimum fırtına süresi	30	0,108	-0,201	-0,022	-0,153	-0,067
	83	0,008	-0,102	-0,031	-0,180	0,087
	84	-0,086	-0,192	0,023	-0,220	0,086
Yıllık fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri	27	0,181	0,302	-0,241	0,154	0,095
	28	0,187	0,233	-0,112	0,077	0,061
	29	0,150	0,208	-0,133	0,149	0,043
	54	-0,121	0,163	-0,211	0,267	0,139
	63	0,095	0,295	-0,151	0,270	0,042
	78	-0,175	0,042	-0,326	0,418	0,180
	87	-0,185	0,018	-0,409	0,267	0,141
Yıllık fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleri	63	0,121	0,271	-0,160	0,278	0,022
	87	-0,187	0,036	-0,434	0,309	0,153
Yıllık fırtınaların maksimum dalga yükseklikleri	28	0,211	0,052	-0,152	0,143	0,165
	29	0,218	0,045	-0,156	0,131	0,145
	60	0,195	0,279	-0,301	0,283	0,178
	61	0,144	0,275	-0,304	0,308	0,231
	62	0,086	0,246	-0,330	0,281	0,274
	63	0,058	0,213	-0,314	0,303	0,326
	64	0,049	0,156	-0,277	0,292	0,349
	65	0,058	0,142	-0,203	0,238	0,342

Tablo 3.27'ye göre fırtına sayıları için Karadeniz'in kuzeyinde anlamlı değişim eğilimi tespit edilen konumlarda (69, 72, 79, 86, 87) ve güneyinde bulunan 22 numaralı konumda 41 yıl süresince oluşan fırtına sayıları, PNA ile %95 anlamlılık seviyesinde pozitif korelasyon göstermiştir. Kırım Yarımadası'nın doğusunda bulunan ve artış eğilimine sahip 69 ve 72 numaralı konumlardaki fırtına sayıları EA ve AMO ile, Karadeniz'in güneyinde bulunan 21 ve 23 numaralı konumlardaki fırtına sayıları EA/WR ile pozitif bir

ilişki gösterirken, kuzeybatısında bulunan 87 numaralı konumdaki fırtına sayıları ise NAO ile negatif korelasyon sergilemiştir. Sonuçlar fırtına sayılarının en çok PNA indeksi ile etkileşim içinde olduğunu göstermektedir. Bu etkileşim kendisini 0,47'ye varan pozitif korelasyon katsayıları ile ortaya koymaktadır. EA/WR dışındaki diğer indekslerle fırtına sayıları arasındaki korelasyonların benzerleri Aydoğan ve Ayat (2018)'de uzun dönem salınım indeksleri ile H_s 'ler arasında görülmüştür.

Maksimum fırtına süreleri için anlamlı değişim eğilimi tespit edilen konumların hiçbirinde uzun dönemli salınım indeksleriyle anlamlı ilişki gözlenememiştir.

Fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri incelendiğinde, Kırım Yarımadası'nın batısında bulunan 78 numaralı konumda 41 yıl boyunca oluşan fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri ile EA/WR indeksi arasında negatif, AMO indeksi ile arasındaysa pozitif korelasyon gözlenmiştir. Odessa kıyısında bulunan 87 numaralı konumdaki fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri EA/WR ile negatif, Sinop kıyısında bulunan 27 numaralı konumdaki fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri ise EA ile pozitif bir ilişki göstermiştir.

Fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleri için, Karadeniz'in kuzeybatısındaki Odessa kıyısında bulunan 87 numaralı konumda oluşan fırtınaların ortalama pik dalga yükseklikleri EA/WR ile 0,43 korelasyon katsayısıyla negatif, AMO ile 0,31 korelasyon katsayısıyla pozitif bir ilişki ortaya koymuştur.

Fırtınaların maksimum dalga yüksekliklerine bakıldığında, Sinop kıyılarındaki (28, 29) fırtınaların maksimum dalga yükseklikleri, uzun dönem salınım indeksleriyle herhangi bir korelasyon göstermezken, Karadeniz'in kuzeydoğusunda bulunan anlamlı değişim eğilimine sahip konumlardaki fırtınaların maksimum dalga yükseklikleriyle EA/WR ile negatif, AMO ve PNA ile pozitif ilişkiler görülmüştür. Karadeniz'in kuzeydoğusunda bulunan konumlardan 63 numaralı konumdaki fırtınaların maksimum dalga yükseklikleri EA/WR ile negatif, AMO ve PNA ile pozitif, 61 numaralı konumdaki fırtınaların maksimum dalga yükseklikleri EA/WR ile negatif ve AMO ile pozitif, 60 ve 62 numaralı konumlardaki fırtınaların maksimum dalga yükseklikleri EA/WR ile negatif, 64 ve 65 numaralı konumlardaki fırtınaların maksimum dalga yükseklikleri ise PNA ile pozitif olmak üzere %95 anlamlılıkta korelasyon göstermiştir.

Genel olarak bakıldığında uzun dönem salınım indeksleriyle Karadeniz'in kuzeyinde anlamlı değişim eğilimi tespit edilen konumlardaki fırtınalar arasında uyum mevcuttur.

Fırtınaların dalga yükseklikleri Karadeniz'in kuzeyinde PNA ve AMO ile pozitif, EA/WR ile negatif korelasyonlar sergilemiştir. Çarpar vd. (2019), PNA'nın Karadeniz için en etkili indeks olduğunu belirtirken, bu çalışmada da konumlardaki parametreler ile en fazla sayıda anlamlı korelasyon EA/WR ve PNA arasında tespit edilmiş olup, maksimum fırtına süresi hariç diğer parametrelerin tümünde EA/WR ve AMO indeksleriyle korelasyon görülmüştür. En yüksek pozitif korelasyon katsayısı 0,47 ile fırtına sayısı için Karadeniz'in kuzeyinde yer alan 72 numaralı konum ile PNA arasında, en yüksek negatif korelasyon katsayısı ise fırtınaların ortalama pik dalga yüksekliği için Karadeniz'in kuzeybatı kıyılarında yer alan 87 numaralı konum ile EA/WR arasında gözlenmiştir.



Fırtınalar kıyılarda erozyona neden olduğu gibi kıyı çizgisini değiştirmekte, kıyı yapılarını ve denizcilik faaliyetlerini olumsuz biçimde etkilemektedir. Çevreye vereceği zararları en aza indirmek için fırtınaların geleceğe yönelik tahminini yapabilmek çok önemlidir. Bu çalışmada küresel iklim değişikliğinin Karadeniz’de oluşan fırtınalardaki etkilerini görmek ve geleceğe dair tahminlerde bulunmak amacıyla Karadeniz’in 1979-2019 yılları arasındaki fırtınalılığı incelenmiştir.

Çalışmada daha önce doğrulanmış bir sayısal model verileri kullanılarak elde edilen dalga verileri yardımıyla 1979-2019 yılları arasındaki 41 yıllık dönem boyunca 95 konumda oluşan tekil fırtınalar belirlenmiş ve bu fırtınaların, 41 yıl, 12 ay ve sekiz yön için, fırtına sayısı, ortalama fırtına süresi, toplam fırtına süresi, maksimum fırtına süresi, fırtınanın ortalama dalga yüksekliği, fırtınanın ortalama pik dalga yüksekliği ve fırtınanın maksimum dalga yüksekliği tespit edilmiştir. Tespit edilen parametrelerin uzun dönemli değişim miktarları Theil-Sen yöntemiyle, elde edilen eğilim değerlerinin anlamlılık seviyeleri Mann-Kendall testiyle bulunmuştur. Çalışmada uzamsal ve zamansal analizler yıllık bazda, mevsimsel analizler aylık bazda ve yönsel analizler sekiz yön için yönsel bazda yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar ve öneriler aşağıda sırayla verilmiştir:

1. Karadeniz kıyılarının seçilen fırtına karakteristikleri bakımından uzamsal değişkenliği belirlenmiştir. Buna göre uzun dönem ortalama değerler incelendiğinde, Karadeniz’in doğu kıyılarında batı kıyılarına göre her yıl 1,4 kata varan oranda daha fazla sayıda fırtına meydana gelmektedir. Ancak batı kıyılarında meydana gelen fırtınaların, doğu kıyılarındakine göre daha uzun sürdüğü ve daha yüksek dalga yüksekliklerine sahip olduğu görülmektedir.
2. Karadeniz’in fırtınalılığında uzamsal, zamansal, mevsimsel ve yönsel bazda istatistiksel olarak anlamlı değişimler bulunmuştur.
3. Uzamsal değişimlere bakıldığında, Türkiye’nin Batı Karadeniz kıyılarında, Odessa kıyılarında ve Kırım Yarımadası’nın batı ucunda 41 yıllık dönem için yıllık fırtına sayıları her 10 yılda 1-2 adet arası azalma eğilimindeyken, Kırım Yarımadası’nın doğu

kıyılarında fırtına sayılarının her 10 yılda 1-2 adet arası artış eğiliminde olduğu görülmüştür. Odessa kıyısında ve Kırım Yarımadası'nın batısında fırtına sayıları her 10 yılda 2 adet azalırken, fırtınaların ortalama dalga yükseklikleri her 10 yılda yaklaşık 1 cm artmıştır. Karadeniz'in kuzeydoğusunda ve Sinop kıyısında fırtınaların dalga yüksekliğiyle ilgili parametreler artış eğilimi göstermiştir.

4. Veri seti uzunluğu eğilim analizi sonuçlarını etkilemiştir. 1979-2019 yılları arası 41 yıllık dönemde ve 10'ar yıllık dönemlerde yapılan analizler farklı sonuçlar vermiştir. Son 10 yılda sadece Karadeniz'in güneybatısındaki fırtına sayılarında her yıl için maksimum 1 adedi bulan anlamlı artış eğilimi görülürken, fırtına dalga yüksekliklerinde sadece Sakarya'nın Karasu kıyısında tüm parametrelerin artış eğiliminde olduğu, fırtına süreleri içinse maksimum fırtına süresinin Karadeniz'in genelinde azaldığı gözlenmiştir. Görüldüğü gibi son 10 yıllık veriler ile yapılan analiz sonuçları 3. Maddede sunulan 41 yıllık analiz sonuçlarından farklıdır. Bu bağlamda gelecekte yapılacak çalışmalarda veri seti uzunluğunun etkisi de dikkate alınmalıdır.

5. Mevsimsel analiz sonuçları Karadeniz'in batısında yaz sonu ve bahar başlangıcı dönemi (ağustos-ekim) fırtına parametrelerinin tümünde anlamlı artış eğilimi bulunduğunu göstermiştir. Mart ayında Karadeniz'in kuzeydoğusunda fırtına parametrelerinin hepsi artış eğilimindeyken, haziran ayında Karadeniz'in kuzeybatısındaki Odessa kıyılarında tüm parametreler azalma eğilimindedir. Ekim ayında Karadeniz'in güneydoğusunda fırtına sayıları azalırken fırtınaların dalga yükseklikleri artmıştır. Kasım ayında Karadeniz'in tüm batı kıyılarında fırtına sayıları azalmaktadır.

6. Yönsel analiz sonuçlarına göre Karadeniz'in güneyinde bulunan Sinop kıyılarında kuzeybatı yönlü fırtına sayılarının yaklaşık her 10 yılda 1 adet azaldığı, batı yönlü fırtınaların ortalama sürelerinin her 10 yılda 1,2 sa, toplam sürelerinin her 10 yılda 20 sa ve maksimum sürelerinin her 10 yılda 7,1 sa azaldığı, kuzey yönlü fırtınaların dalga yüksekliklerinin ise arttığı tespit edilmiştir. Zonguldak kıyısında kuzeybatı yönlü fırtınaların dalga yüksekliği için hem ortalama dalga yüksekliği her 10 yılda 5 cm, hem ortalama pik dalga yüksekliği her 10 yılda 10 cm ve hem maksimum dalga yüksekliği her 10 yılda 24 cm şiddetli bir şekilde artarken, batı yönlü fırtına sayısının her 10 yılda 1 adet şiddetinde azaldığı, ayrıca batı yönlü fırtınaların ortalama, toplam ve maksimum fırtına sürelerinin de azalmakta olduğu görülmüştür. Doğu yönlü fırtınalar için Odessa kıyısında ortalama, toplam ve maksimum fırtına süreleri sırasıyla her 10 yılda 1 sa, 17 sa ve 4 sa

azalmaktadır. Karadeniz'in güneybatısında batı yönlü fırtınaların sayıları ortalama her 10 yılda 1 adet azalmıştır.

7. Fırtına tanımında belirlenen eşik dalga yüksekliği değeri sonuçları etkilemektedir. Çalışmada fırtına tanımı için ilk olarak dalga eşiği, ortalama dalga yüksekliğinin 1,5 katı ($1,5 H_{ort}$) olarak seçilmiş fakat daha tutarlı ve daha belirgin eğilimler tespit edildiği için dalga eşik değeri aynı zamanda %95'lik aşılma olasılığına yakın bir değer olan ortalama dalga yüksekliğinin 2 katı ($2H_{ort}$) olarak belirlenmiştir.

8. Bu çalışmada Karadeniz'in fırtına iklimindeki uzun dönemli değişimler sadece dalga verileri kullanılarak tespit edilmiştir. Gelecek çalışmalarda fırtına tanımında farklı dalga eşikleri kullanılabileceği gibi rüzgâr hızı ve fırtına süresi dikkate alınarak çeşitli fırtına tanımları da değerlendirilmelidir.

9. Karadeniz'in fırtınalılığı iklim uzun dönem salınım indeksleri ile genel olarak ilişkilidir. Fırtına sayıları ve fırtınaların dalga yükseklikleri Karadeniz'in kuzey kıyılarında PNA ve AMO indeksleri ile %95 anlamlılıkta pozitif korelasyonlar göstermiştir. Maksimum fırtına süreleri için ise uzun dönemli salınım indeksleriyle herhangi bir korelasyon elde edilememiştir.

- AA (2019). Denizleri 7/24 izleme imkânı sunacak şamandıra sistemleri devreye alınıyor. Adres: <https://www.aa.com.tr/tr/pg/foto-galeri/-denizleri-7-24-izleme-imkani-sunacak-samandira-sistemleri-devreye-aliniyor/2/>, 15.01.2021.
- Ağırbaş, E. (2017). The meteorological Investigation of Turkish coasts of the Black Sea. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 2(3), 53-58.
- Akpınar, A. ve Bingölbalı, B. (2016). Long-term variations of wind and wave conditions in the coastal regions of the Black Sea. *Natural Hazards*, 84(1), 69-92.
- Allenbach, K., Garonna, I., Herold, C., Monioudi, I., Giuliani, G., Lehmann, A. ve Velegrakis, A. F. (2015). Black Sea beaches vulnerability to sea level rise. *Environmental Science & Policy*, 46, 95–109.
- Almeida, L., Ferreira, Ó., Vousdoukas, M. ve Dodet, G. (2011). Historical variation and trends in storminess along the Portuguese South Coast. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(9), 2407-2417.
- Aydoğan, B. (2017). Offshore wind power atlas of the Black Sea Region. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 9(1), 013305.
- Aydoğan, B. ve Ayat, B. (2018). Spatial variability of long-term trends of significant wave heights in the Black Sea. *Applied Ocean Research*, 79, 20-35.
- Aydoğan, B., Ayat, B. ve Yüksel, Y. (2013). Black Sea wave energy atlas from 13 years hindcasted wave data. *Renewable Energy*, 57, 436-447.
- Aydoğan, B., Görmüş, T., Ayat, B. ve Çarpar, T. (2021). Analysis of potential changes in the Black Sea wave power for the 21st century. *Renewable Energy*, 169, 512-526.
- Barnston, A. G. ve Livezey, R. E. (1987). Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly Weather Review*, 115(6), 1083-1126.
- Black Sea Economic Cooperation (BSEC) (2021). Adres: <http://www.bsec-organization.org/bsec-at-glance/> 07.05.2021.
- Booij, N. R. R. C., Ris, R. C. ve Holthuijsen, L. H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104(C4), 7649-7666.
- Bosneagu, R. (2018). The Black Sea ports-the eastern maritime gates of Europe. *Scientific Bulletin" Mircea cel Batran" Naval Academy*, 21(1), 1-11.
- Caires, S. ve Sterl, A. (2005). 100-year return value estimates for ocean wind speed and significant wave height from the ERA-40 data. *Journal of Climate*, 18(7), 1032-1048.
- Contento, G., Lupieri, G., Venturi, M. ve Ciuffardi, T. (2011). A medium-resolution wave hindcast study over the Central and Western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Science and Technology*, 16(2), 181-201.

- Copernicus Climate Change Service (C3S) (2017). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalysis of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS). Adres: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home/>, 15.02.2018.
- Corbella, S. ve Stretch, D. D. (2013). Simulating a multivariate sea storm using Archimedean copulas. *Coastal Engineering*, 76, 68-78.
- Çarpar, T., Ayat, B. ve Aydoğan, B. (2019). Spatio-seasonal variations in long-term trends of offshore wind speeds over the Black Sea; an inter-comparison of two reanalysis data. *Pure and Applied Geophysics*, 177(6), 3013-3037.
- Del Río, L., Plomaritis, T. A., Benavente, J., Valladares, M. ve Ribera, P. (2012). Establishing storm thresholds for the Spanish Gulf of Cádiz coast. *Geomorphology*, 143-144, 13-23.
- Divinsky, B. V. ve Kosyan, R. D. (2017). Spatiotemporal variability of the Black Sea wave climate in the last 37 years. *Continental Shelf Research*, 136, 1-19.
- Dodet, G., Bertin, X. ve Taborda, R. (2010). Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades. *Ocean Modelling*, 31(3-4), 120-131.
- Ferreira, Ó. (2005). Storm groups versus extreme single storms: Predicted erosion and management consequences. *Journal of Coastal Research*, 42, 221-227.
- Finans Gündem (2021). Fırtına kâbusu! Onlarca tekne battı, su altında kaldı. Adres: <https://www.finansgundem.com/haber/firtina-kabusu-onlarca-tekne-batti-su-altinda-kaldi/1572914/>, 10.05.2021.
- Ganea, D., Mereuta, E. ve Rusu, E. (2019). An evaluation of the wind and wave dynamics along the European Coasts. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(2), 43.
- General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) (2014). The GEBCO_2014 Grid v20141103. Adres: <https://www.gebco.net/>, 2.04.2016.
- Görmüş, T. ve Ayat, B. (2020). Vulnerability assessment of Southwestern Black Sea. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(2), 663-681.
- Görmüş, T., Ayat, B., Aydoğan, B. ve Tătui, F. (2021). Basin scale spatiotemporal analysis of shoreline change in the Black Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 252, 107247.
- Group, T. W. (1988). The wam model—A third generation ocean wave prediction model. *Journal of Physical Oceanography*, 18(12), 1775-1810.
- Haerens, P., Bolle, A., Trouw, K., ve Houthuys, R. (2012). Definition of storm thresholds for significant morphological change of the sandy beaches along the Belgian coastline. *Geomorphology*, 143-144, 104-117.
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Kharecha, P., Lacis, A., Miller, R., . . . Zhang, S. (2007). Dangerous human-made interference with climate: a GISS modelE study. *Atmospheric Chemistry And Physics*, 7(9), 2287-2312.
- Harkness, B. (2012). MV Rena Grounding: A Year In Photographs [39 Photos]. Adres: <https://gcaptain.com/incident-photos-week-rena/>, 10.05.2021.

- Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callendar, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. ve Maskell, K. (1998). *Climate Change 1995 The Science of Climate Change*. Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge.
- IPCC, (2007). In: Core Writing Team, Pachauri, R.K ve Reisinger, A. (Ed.), *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland, 104.
- IPCC, (2014). In: Core Writing Team, Pachauri, R.K. ve Meyer, L.A. (Ed.), *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland, 151.
- Jaoshvili, S. (2002). *The rivers of the Black Sea* (s. 58). Copenhagen: European Environment Agency.
- Kalem Gazetesi (2021). Geçmiş olsun Ayvalık. Adres: <https://www.canakkalekalem.com/gecmis-olsun-ayvalik/>, 27.05.2021.
- Karim, M. F. ve Mimura, N. (2008). Impacts of climate change and sea-level rise on cyclonic storm surge floods in Bangladesh. *Global Environmental Change*, 18(3), 490-500.
- Kendall, M.G. (1975). *Rank correlation methods* (4. Bs.), London: Charles W. Griffin.
- Kostianoy, A. G. ve Kosarev, A. N. (Ed.). (2008). *The Black Sea Environment*. Berlin: Springer.
- Kosyan, R. D. ve Velikova, V. N. (2016). Coastal zone–Terra (and aqua) incognita–Integrated Coastal Zone Management in the Black Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 169, A1-A16.
- Laface, V., Arena, F. ve Guedes Soares, C. (2015). Directional analysis of sea storms. *Ocean Engineering*, 107, 45-53.
- Lin, N. ve Shullman, E. (2017). Dealing with hurricane surge flooding in a changing environment: part I. Risk assessment considering storm climatology change, sea level rise, and coastal development. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(9), 2379-2400.
- MacFarling Meure, C., Etheridge, D., Trudinger, C., Steele, P., Langenfelds, R., Van Ommen, T., . . . Elkins, J. (2006). Law Dome CO₂, CH₄ and N₂O ice core records extended to 2000 years BP. *Geophysical Research Letters*, 33(14).
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 13(3), 245-259.
- MatLab, P. (2018). 9.7. 0.1190202 (R2019b). *The MathWorks Inc.: Natick, MA, USA*.
- Molina, R., Manno, G., Lo Re, C., Anfuso, G., ve Ciraolo, G. (2019). Storm energy flux characterization along the Mediterranean coast of Andalusia (Spain). *Water*, 11(3), 509.
- Pearson, K. (1920). Notes on the history of correlation. *Biometrika*, 13(1), 25-45.
- Ponce de León, S. ve Guedes Soares, C. (2015). Hindcast of extreme sea states in North Atlantic extratropical storms. *Ocean Dynamics*, 65(2), 241-254.

- Pugatch, T. (2019). Tropical storms and mortality under climate change. *World Development*, 117, 172-182.
- Rata, V. ve Rusu, L. (2018). Assessing the traffic risk along the main Black Sea maritime routes. In *Proceedings of International Conference on Traffic and Transport Engineering, Belgrade, Serbia, 27th–28th September*.
- Roberts, K. (2019). Plans unveiled to rebuild Holyhead marina battered by Storm Emma. Adres: <https://www.northwaleschronicle.co.uk/news/17811858.plans-unveiled-rebuild-holyhead-marina-battered-storm-emma/>, 10.05.2021.
- Rogers, W.E., Babanin, A.V. ve Wang, D.W. (2012). Observation-consistent input and whitecapping dissipation in a model for wind-generated surface waves: Description and simple calculations. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 29(9), 1329-1346.
- Rusu, L., Raileanu, A. B. ve Onea, F. (2018). A comparative analysis of the wind and wave climate in the Black Sea along the shipping routes. *Water*, 10(7), 924.
- Saprykina, Y., Shtremel, M., Aydoğan, B. ve Ayat, B. (2019). Variability of the nearshore wave climate in the Eastern part of the Black Sea. *Pure and Applied Geophysics*, 176(8), 3757-3768.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389.
- Schlitzer, R. (2021). Ocean Data View, odv.awi.de.
- Stanchev, H., Palazov, A., Stancheva, M. ve Apostolov, A. (2011). Determination of the Black Sea area and coastline length using GIS methods and Landsat 7 satellite images. *Geo-Eco-Marina*, 17, 27–31.
- Stanley, R. (2019). With sea conditions set to worsen by Saturday, town braces for possibility of more damage. Adres: <https://www.cbc.ca/news/canada/newfoundland-labrador/conception-bay-south-breakwater-1.5892456/>, 10.05.2021.
- Tătui, F., Pîrvan, M., Popa, M., Aydoğan, B., Ayat, B., Görmüş, T., . . . Saprykina, Y. (2019). The Black Sea coastline erosion: Index-based sensitivity assessment and management-related issues. *Ocean & Coastal Management*, 182, 104949.
- The Swan team (2019). SWAN cycle III version 41.20AB user manual. Adres: <http://swanmodel.sourceforge.net/>, 17.09.2019.
- Tolman, H. L. (1992). Effects of numerics on the physics in a third-generation wind-wave model. *Journal of physical Oceanography*, 22(10), 1095-1111.
- Valchev, N. N., Trifonova, E. V. ve Andreeva, N. K. (2012). Past and recent trends in the western Black Sea storminess. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(4), 961-977.
- Vanem, E. ve Bitner-Gregersen, E. M. (2012). Stochastic modelling of long-term trends in the wave climate and its potential impact on ship structural loads. *Applied Ocean Research*, 37, 235-248.
- Vanem, E. ve Walker, S.-E. (2013). Identifying trends in the ocean wave climate by time series analyses of significant wave height data. *Ocean engineering*, 61, 148-160.

- Vanem, E., Huseby, A. B. ve Natvig, B. (2012). Modelling ocean wave climate with a Bayesian hierarchical space–time model and a log-transform of the data. *Ocean Dynamics*, 62(3), 355-375.
- Vespremeanu, E. ve Golumbeanu, M. (2018). Black sea coastal population. In *The Black Sea* (s. 115-124). Cham: Springer.
- Wallace, J. M. ve Gutzler, D. S. (1981). Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, 109(4), 784-812.
- Weick, B. (2020). Two homes partially collapse after monster waves battered the east coast as residents in luxury beachside properties are evacuated over fears 66 more million-dollar mansions will fall into the sea. Adres: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8535739/Wamberal-homes-risk-New-South-Wales-central-coast-homes-collapse-following-huge-waves.html/>, 10.05.2021.
- Weisse, R. ve Günther, H. (2007). Wave climate and long-term changes for the Southern North Sea obtained from a high-resolution hindcast 1958–2002. *Ocean Dynamics*, 57(3), 161-172.
- Zăinescu, F. I., Tătui, F., Valchev, N. N. ve Vespremeanu-Stroe, A. (2017). Storm climate on the Danube delta coast: evidence of recent storminess change and links with large-scale teleconnection patterns. *Natural Hazards*, 87(2), 599-621.
- Zheng, C. W., Pan, J. ve Li, C. Y. (2016). Global oceanic wind speed trends. *Ocean & Coastal Management*, 129, 15-24.

Konferans Bildirileri

1. Tahtacı, K., Ayat, B., Aydoğan, B. (2021). *Türkiye'nin Karadeniz Kıyılarında Fırtına Karakteristiklerindeki Uzun Dönemli Değişimler*. Black Sea Summit 5th International Applied Science Congress, Rize, Türkiye, 19-21 Şubat 2021.

