



KIYI LAGÜNLERİNDE RÜZGAR VE DALGA İKLİMİ DEĞİŞİMLERİ

Dilek İBOŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Dilek İBOŞ

19/04/2023

KIYI LAGÜNLERİNDE RÜZGAR VE DALGA İKLİMİ DEĞİŞİMLERİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Dilek İBOŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2023

ÖZET

Kıyı lagünleri, çoğunlukla kıyı çizgisine paralel olarak yer alan, bir veya daha fazla girişle açık deniz sularına bağlanan geçiş su kütleleridir. Lagünlerde, hidrografik özellikler genellikle dökülen nehirlerin tatlı su debisine, rüzgarın hızına, su seviyesi, sıcaklık, tuzluluk, yağış ve buharlaşma değişimlerine bağlıdır. İklim tahminlerinde önemli belirsizliklere yol açan iklim değişimleri, yağışlar ve tatlı su beslemelerinin azalmasına, tuz dengesinin ve suyun çevrim süresinin değişmesine neden olmakta olup lagünlerin ekolojik yapısı ve fonksiyonlarında zorluklar yaratmaktadır. Bu çalışmada iklim değişikliğinin Doğu Akdeniz'deki lagün su kütleleri üzerindeki etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Yumurtalık, Akyatan ve Beymelek lagünlerinde uzun dönem rüzgar ve dalga iklimleri, sıcaklık değişimleri, su seviyesi değişimleri incelenmiştir. Kullanılan veriler Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi'nin (AOVHTM), son yirmi yıldaki (2000-2020) Operasyonel Arşivi 0,1 derece aralıklı Akdeniz veri tabanından alınmıştır. Üç boyutlu hidrodinamik, taşınım ve su kalitesi modeli HYDROTAM-3D ve veri tabanı, rüzgar ve dalga verilerinin uzun dönem istatistiksel analizi ve iklim çalışmalarında kullanılmıştır. İncelenen her üç lagün için rüzgar enerjisi, rüzgar kabarmaları ve belirgin dalga yüksekliği değişimleri modellenmiştir. Bu çalışma sayısal olarak son yirmi yılda kıyı lagünlerinde bir sıcaklık artışı ve deniz seviyesinde yükselme eğilimi olduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu : 91112
Anahtar Kelimeler : Dalga, geçiş suyu, HYDROTAM-3D, iklim değişimi, kabarma, kıyı suyu, rüzgar, sıcaklık, su seviyesi
Sayfa Adedi : 99
Danışman : Prof. Dr. Lale BALAS
İkinci Danışman : Dr. Öğr. Gör. Pelin FİDANOĞLU YILDIRIM

WIND AND WAVE CLIMATE CHANGES IN COASTAL LAGOONS

(M. Sc. Thesis)

Dilek İBOŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2023

ABSTRACT

Coastal lagoons are transitional water bodies, mostly located parallel to the shoreline, connected with offshore sea waters by one or more inlets. In lagoons, hydrographic features generally depend on the freshwater flow of the rivers, wind speed, water level variation, temperature-salinity, precipitation, and evaporation changes. Climate changes, which cause significant uncertainties in climate projections, generally lead to a decrease in precipitation and freshwater inflow, as well as a change in salinity and residence time, and pose a major challenge to the functions and ecological structure of the lagoons. This study investigated the effects of climate change on lagoon water bodies in the eastern Mediterranean. Long-term wind and wave climates, temperature, and water level changes in Yumurtalık, Akyatan, and Beymelek lagoons were searched. The data used were obtained from the Mediterranean Sea database of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), the operational archive for the last two decades (2000-2020), with a mesh size of 0.1 degrees. The three-dimensional hydrodynamic, transport, and water quality model HYDROTAM-3D and its database have been used for long-term statistical analyses of wind and waves and climate studies. Wind energy, storm surges, and significant wave height changes were modeled for all three lagoons examined. This study has numerically shown that there has been a trend of temperature and sea level rise in the coastal lagoons over the past two decades.

Science Code : 91112

Key Words : Climate change, coastal water, HYDROTAM-3D, storm surge, temperature, transitional water, wave, water level, wind.

Page Number : 99

Supervisor : Prof. Dr. Lale BALAS

Co-Supervisor : Dr. Lecturer Pelin FİDANOĞLU YILDIRIM

TEŞEKKÜR

2014 yılından beri akademik hayatımda yol gösterici ünvanına sahip olan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Lale BALAS’a özverisi ve ilgisi için teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarına ekosistem değerlendirilmesi yönünden önemli bir bakış açısı sağlayan değerli ikinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Pelin Fidanoglu YILDIRIM’a destekleri ve katkıları için teşekkürü borç bilirim.

Bu tez çalışmasında, HYDROTAM-3D modelleme ve veri sisteminin kullanılmasına izin veren Gazi Teknopark DLTM (Deniz Liman Tasarım Modelleme) Yazılım Teknolojileri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi’ne ve teknik ekibine, bilgisayar mühendisleri Sayın Ufuk ÖZTOPÇU ve Sayın Ali SÖNMEZ’e şükranlarımı sunarım.

İlkokul hayatımdan itibaren bilimle ilerlemem için bana yol gösterici olan değerli annem Melek İBOŞ ve babam Murat İBOŞ’a hayatımın her anında desteklerini esirgemedikleri için minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	x
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. Kıyı ve Geçiş Sularında İklim Değişimi	3
2.1.1. Kıyı ve geçiş suları	3
2.1.2. İklim değişimi	4
2.1.3. Kıyı ve geçiş sularında iklim değişimi.....	5
2.1.4. Kıyı ve geçiş sularında su kütlesi izleme parametreleri.....	5
2.2. Örnek çalışmalar	7
3. KIYI VE GEÇİŞ SULARINDA İKLİM DEĞİŞİMİ.....	13
3.1. Çalışma Sahası Seçimi	13
3.2. İklim Değişimi Etkisinin Belirlenmesi.....	17
3.2.1. Rüzgar iklimi modellemesi.....	18
3.2.2. Dalga iklimi modellemesi.....	19
3.2.3. Sıcaklık değişimi.....	20
3.2.4. Fırtına kabarması	20
4. BULGULAR	23

	Sayfa
4.1. Yumurtalık Lagünü Modelleme Sonuçları.....	23
4.1.1. Yumurtalık Lagünü rüzgar iklimi	23
4.1.2. Yumurtalık lagünü dalga iklimi	25
4.1.3. Yumurtalık Lagünü sıcaklık değişimi.....	31
4.1.4. Yumurtalık Lagünü fırtına kabarması hesabı	34
4.2. Akyatan Lagünü Modelleme Sonuçları.....	40
4.2.1. Akyatan Lagünü rüzgar iklimi	40
4.2.2. Akyatan Lagünü dalga iklimi.....	43
4.2.3. Akyatan Lagünü sıcaklık değişimi.....	48
4.2.4. Akyatan Lagünü fırtına kabarması hesabı	51
4.3. Beymelek Lagünü Modelleme Sonuçları.....	56
4.3.1. Beymelek Lagünü rüzgar iklimi	56
4.3.2. Beymelek Lagünü dalga iklimi	59
4.3.3. Beymelek Lagünü sıcaklık değişimi	64
4.3.4. Beymelek Lagünü fırtına kabarması hesabı.....	67
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	79
EKLER.....	85
EK-1.HYDROTAM-3D Sayısal Modelleme Programı.....	87
ÖZGEÇMİŞ	99

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. 36.7° K- 35.8° G koordinatının yönlere göre efektif feç uzunluğu (HYDROTAM-3D, 2023).....	26
Çizelge 4.2. Yıllara göre hakim yönlerin rüzgar hızı ortalamaları	36
Çizelge 4.3. Yıllara göre rüzgar enerjileri	37
Çizelge 4.4. 36.5° K- 35.3° G koordinatının yönlere göre efektif feç uzunluğu	44
Çizelge 4.5. Yıllara göre hakim yönlerin rüzgar hızı ortalamaları	53
Çizelge 4.6. Yıllara göre rüzgar enerjileri	54
Çizelge 4.7. 36.2° K- 30.1° G koordinatının yönlere göre efektif feç uzunluğu	60
Çizelge 4.8. Yıllara göre hakim yönlerin rüzgar hızı ortalamaları	69
Çizelge 4.9. Yıllara göre rüzgar enerjileri	70

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Lagün tipi kıyı ve geçiş suları (a) Tek girişli (tıkalı), (b) sınırlı girişli, (c) çok girişli (Eser, 2021)	3
Şekil 2.2. Bir lagünün tuzluluk değişimlerine göre bölgelere ayrılması (Kırdağlı, 1999).....	6
Şekil 3.1. Yumurtalık Lagünü Harita Görüntüsü (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2022).....	14
Şekil 3.2. Akyatan Lagünü (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019)	15
Şekil 3.3. Beymelek Lagünü uydu görüntüsü (Google Earth, 2022).....	17
Şekil 4.1.01.01.2000-01.01.2010 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik rüzgar gülleri (HYDROTAM-3D, 2023).....	24
Şekil 4.2. 01.01.2010-01.01.2020 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik rüzgar gülleri (HYDROTAM-3D, 2023)	24
Şekil 4.3. GüneyGüneybatı (SSW) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023).....	27
Şekil 4.4. Güney yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023).....	28
Şekil 4.5. GüneyGüneyDoğu (SSE) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023).....	28
Şekil 4.6. Ekstrem (en yüksek değer) dalga istatistiği (Gumble dağılımı) (HYDROTAM-3D, 2023).....	29
Şekil 4.7. 01.01.2000-01.01.2010 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D, 2023).....	30
Şekil 4.8. 01.01.2010-01.01.2020 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D, 2023).....	30
Şekil 4.9. 2000-2010 yılları arası sıcaklık değerleri	31
Şekil 4.10. 2010-2020 yılları arası sıcaklık değerleri	32
Şekil 4.11. 2000-2010 yılları arası kış mevsimi sıcaklık değişimi	32

Şekil	Sayfa
Şekil 4.12. 2010-2020 yılları arası kış mevsimi sıcaklık değişimi	33
Şekil 4.13. Zaman aralıklarının ortalama sıcaklık değerleri	34
Şekil 4.14. 2000-2010 yılları arası Yumurtalık Lagünü uzun dönem dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023).....	35
Şekil 4.15. 2010-2020 yılları arası Yumurtalık Lagünü uzun dönem dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023).....	35
Şekil 4.16. 2000-2020 yılları arası rüzgar enerjileri	38
Şekil 4.17. 01.01.2000-01.01.2010 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik rüzgar gülleri (HYDROTAM-3D, 2023).....	41
Şekil 4.18. 01.01.2010-01.01.2020 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik rüzgar gülleri (HYDROTAM-3D, 2023).....	42
Şekil 4.19. BatıGüneybatı (WSW) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023).....	45
Şekil 4.20. GüneyGüneybatı (SSW) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023).....	45
Şekil 4.21. Güney (S) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023).....	46
Şekil 4.22. Ekstrem (en yüksek değer) dalga istatistiği (Gumble dağılımı) (HYDROTAM-3D, 2023).....	46
Şekil 4.23. 01.01.2000-01.01.2010 Yılları Arası operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D, 2023).....	47
Şekil 4.24. 01.01.2010-01.01.2020 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D, 2023).....	48
Şekil 4.25. 2000-2010 yılları arası sıcaklık değişimi.....	49
Şekil 4.26. 2011-2020 yılları arası sıcaklık değişimi.....	49
Şekil 4.27. 2000-2010 yılları arası kış mevsimi sıcaklık değişimi	50
Şekil 4.28. 2011-2020 yılları arası kış mevsimi sıcaklık değişimi	50

Şekil	Sayfa
Şekil 4.29. Zaman aralıklarının ortalama sıcaklık değerleri	51
Şekil 4.30. 2000-2010 yılları arası Akyatan Lagünü uzun dönem dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023).....	52
Şekil 4.31. 2010-2020 yılları arası Akyatan Lagünü uzun dönem dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023).....	52
Şekil 4.32. 2000-2020 yılları arası rüzgar enerjileri	55
Şekil 4.33. 01.01.2000-01.01.2010 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik rüzgar gülleri (HYDROTAM-3D, 2023).....	57
Şekil 4.34. 01.01.2010-01.01.2020 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik rüzgar gülleri (HYDROTAM-3D, 2023).....	58
Şekil 4.35. BatıGüneybatı (WSW) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023).....	61
Şekil 4.36. Güneybatı (SW) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023).....	61
Şekil 4.37. GüneyDoğu (SE) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023).....	62
Şekil 4.38. Ekstrem (en yüksek değer) dalga istatistiği (Gumble Dağılımı) (HYDROTAM-3D, 2023).....	62
Şekil 4.39. 01.01.2000-01.01.2010 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D, 2023).....	63
Şekil 4.40. 01.01.2010-01.01.2020 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D, 2023).....	63
Şekil 4.41. 2000-2010 yılları arası sıcaklık değerleri	64
Şekil 4.42. 2011-2020 yılları arası sıcaklık değerleri	65
Şekil 4.43. 2000-2010 yılları arası kış mevsimi sıcaklık değişimi	65
Şekil 4.44. 2011-2020 Yılları arası kış mevsimi sıcaklık değişimi	66
Şekil 4.45. Zaman aralıklarının ortalama sıcaklık değerleri	67

Şekil	Sayfa
Şekil 4.46. 2000-2010 yılları arası Beymelek Lagünü uzun dönem dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023).....	68
Şekil 4.47. 2010-2020 yılları arası Beymelek Lagünü uzun dönem dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023).....	68
Şekil 4.48. 2000-2020 yılları arası rüzgar enerjileri	71

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 4.1. AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi Akdeniz ağının konumu (36.7°K, 35.8°G) (HYDROTAM-3D, 2023)	23
Harita 4.2. Yönlere göre dalga kabarma mesafeleri (“FEÇ”) (HYDROTAM-3D, 2023).....	26
Harita 4.3. AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşiviAkdeniz ağının konumu (36.5°K, 35.3°G) (HYDROTAM-3D, 2023)	40
Harita 4.4. Yönlere göre dalga kabarma mesafeleri (“FEÇ”) (HYDROTAM-3D, 2023).....	43
Harita 4.5. AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi Akdeniz ağının konumu (36.2°K, 30.1°G)	57
Harita 4.6. Yönlere göre dalga kabarma mesafeleri (“FEÇ”) (HYDROTAM-3D, 2023)	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

A	Alan
AKM	Askıda Katı Madde
BOD	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
kob/ml	Toplam bakteri sayım birimi
°C	Santigrat Derece (Sıcaklık Birimi)
ÇO	Çözünmüş Oksijen
D	Su derinliği
Eİ	Elektrik İletkenliği
f_i	Feç uzunluğu
ha	Hektar
hPa	Hektopaskal (Basınç Birimi)
H_{1/3}, H_s	Belirgin dalga yüksekliği
km²	Kilometrekare
pH	Asitlik derecesi
l/L	Litre
m	Metre
m³	Metreküp
mg	Miligram
μS	Mikrosiemens (Elektrik İletkenliği)
s	Saniye
S	Fırtına kabarması

Kısaltmalar

Açıklamalar

AOVHTM	Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
HİDP	Hükümetlerarası İklim Değişim Paneli
İTS	İklim Tahmin Sistemi

Kısaltmalar**Açıklamalar****MÇDA**

Mısır Çevre Davranışı Ajansı

UOAD

Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi

USSVB

Ulusal Sığ Su Veri Bankası

1. GİRİŞ

İklim değişiminin etkisi ile oluşan su seviyesi değişimi su kütlelerinin dinamik ve biyolojik kimliklerini etkilemektedir. Bu durumun sonucu olarak su kütlelerinin özelliklerindeki değişimleri güncelleme ve ilerleyen yıllardaki değişimler için tahminde bulunma ihtiyacı doğmuştur. Kıyusal lagün adı verilen, çoğunlukla kıyı çizgisi paralelinde yer alan, açık deniz suları ile bir ya da birkaç giriş ile bağlanan geçiş suyu kütleleri, temiz su rezervleri olması ve biyoçeşitlilik açısından zengin olması sebebiyle detaylı incelenmelidir. Türkiye’deki kıyusal lagünler sığ ve gelgit aralığı 1 m’den az olan mikro-gelgit tipolojisine sahip olması nedeniyle, Türkiye lagün ekosistemleri, özellikle iklim değişimlerinin yol açmakta olduğu hidrolojik değişikliklere karşı hassastırlar. Türkiye kıyılarında yer alan lagünler genellikle sığ olup, su derinlikleri birkaç metre mertebesindeir. Bu nedenle yataydaki yüzey alanları düşeyde derinlik boyunca su akışı alanlarından çok daha büyüktür. Lagünlerde, hidrografik özellikler genellikle dökülen nehirlerin tatlı su debisine, rüzgarın hızına, su kabarmasına, sıcaklık, tuzluluk, yağış ve buharlaşma değişimlerine bağlıdır. İklim tahminlerinde önemli belirsizliklere yol açan iklim değişimleri, genellikle yağışlar ve tatlı su beslemelerinin azalmasına, tuz dengesinin ve suyun çevrim süresinin değişmesine neden olmakta olup lagünlerin ekolojik yapısı ve fonksiyonlarında zorluklar yaratmaktadır.

Özellikle Akdeniz baseni içerisindeki temiz su kaynakları yükselen su seviyesi ile tehdit altındadır. Bu sebeple basen içerisinde pek çok çalışma yapılmıştır. Çalışmaların ortak özelliği 3 boyutlu modeller ile saha ölçümlerinin karşılaştırılması ile elde edilen verilerden oluşmalarıdır. İncelenen lagünlerin analiz edilmesi sonucunda bölgenin yeni kimliğine ve gelecekteki davranış biçimi hakkında tahmine ulaşılmaktadır. Analiz zaman aralıkları kullanılan modelin veri hacmine göre değişmektedir. Bölgenin mareografi istasyonları ile ilişkisi de modelden çıkan veri ile kıyaslama açısından önemlidir. Seçilen noktadaki istasyon sayısının fazlalığı sonuçları karşılaştırmak için önem arz etmektedir.

Bu çalışmada iklim değişikliğinin Doğu Akdeniz’deki lagün geçiş suyu kütleleri üzerindeki etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Çalışma, kıyı ve geçiş sularına bağlantısı olan Yumurtalık, Akyatan ve Beymelek lagünlerinin uzun dönemli rüzgar ve dalga iklimleri, sıcaklık değişimleri, su seviyesi değişimleri incelenmiştir. Veriler Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (AOVHTM) (ECMWF, 2022), Operasyonel Arşiv (0.1°, Akdeniz) veri

tabanından son yirmi yıl (2000-2020) için alınmıştır. Verilerin uzun dönem rüzgar ve dalga istatistik analizleri ve iklim çalışmaları için üç boyutlu hidrodinamik, taşınım ve su kalitesi modeli HYDROTAM-3D (HYDROTAM-3D, 2023) kullanılmıştır. Model kullanılarak incelenen her üç lagün için uzun dönem rüzgar enerjisi, rüzgar kabarmaları ve belirgin dalga yüksekliklerinin değişimleri modellenmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

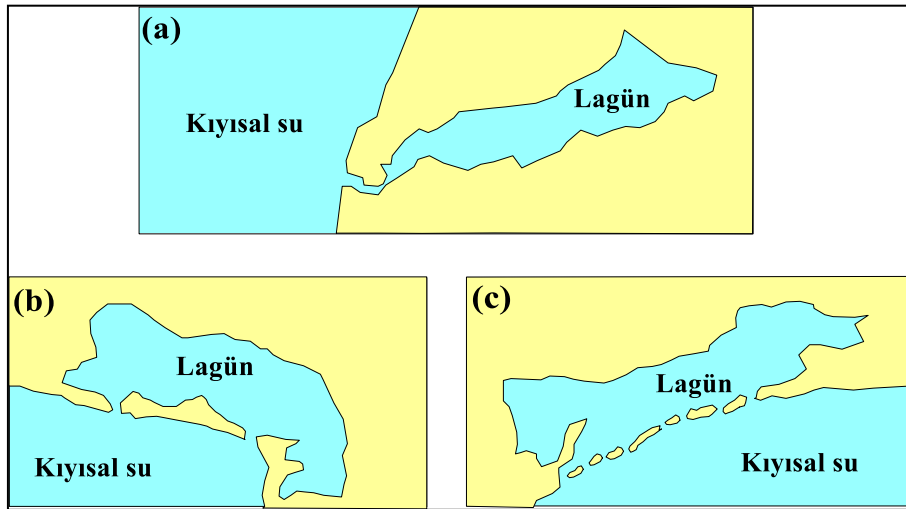
2.1. Kıyı ve Geçiş Sularında İklim Değişimi

2.1.1. Kıyı ve geçiş suları

Geçiş suları nehir ağızları civarındaki, kıyı sularına yakın olmaları ancak aynı zamanda tatlı su akıntılarından önemli ölçüde etkilenmeleri neticesinde kısmen tuzlu olma özelliğine sahip yüzeysel su kütlelerini ifade etmektedir (Balas, 2002).

Lagün geçiş suları

Kıyı lagünleri genellikle kıyıya paralel olarak uzanan, denize bir veya birden fazla kanalla bağlantısı olan kara içerisindeki su alanlarıdır. Derinlikleri birkaç metre mertebesindedir. Lagünler, dünya kıyı alanlarının yüzde 13'ünü oluşturmaktadır. Lagün suyunun tuzluluğu iklim şartlarına bağlı olarak değişkenlik gösterir (Balas, 2002). Kıyı lagünleri, rüzgar etkisiyle oluşan su hareketlerinin incelendiği, yüzey alanı-ortalama su derinliği oranı büyük olan sığ su sistemleridir. Lagünlerin hidrolik ve hidrografik özellikleri, belirtilen orana, tatlı su girişine, rüzgar şiddetine, gelgit, buharlaşma ve yağış dengesine bağlı olarak değişim gösterir. Lagünler, şekillerine ve su alışverişlerine göre, tek girişli (tıkali), sınırlı girişli, çok girişli lagünler olmak üzere üç temel jeomorfolojik grupta incelenebilir (Şekil 2.1). Eğer lagünler bir ya da daha fazla nehir tarafından besleniyorsa yani lagünlere tatlı su girişi varsa, bu lagünler geçiş suyu lagünü olarak sınıflandırılır (Eser, 2021).



Şekil 2.1. Lagün tipi kıyı ve geçiş suları (a) Tek girişli (tıkali), (b) sınırlı girişli, (c) çok girişli (Eser, 2021)

Tek girişli lagünler, yüksek dalga enerjisinin ve önemli ölçüde kum taşınımının görüldüğü kıyılar boyunca oluşan, uzun ve dar bir giriş kanalıyla denize bağlanırlar. En önemli özellikleri, lagün içi su düzeyi değişimlerini ve gelgit akıntılarını büyük ölçüde sönümlendiren ve dinamik bir filtre görevi gören tek bir giriş kanalına sahip olmalarıdır. Sınırlı girişli lagünler, iki ya da daha fazla giriş kanalına sahip, kıyıya paralel olarak uzanan, büyük ve geniş su alanlarıdır. Bu lagünlerde belirgin bir gelgit çevrintisi gözlenebilir ve suyun yenilenme süresi, tek girişli bir lagüne göre oldukça kısadır. Çok girişli lagünler, denizle birçok bağlantı kanalına sahip, kıyıya paralel uzanan su alanlarıdır. Gelgit, rüzgar, dalga ve yoğunluk farklılaşması değişimlerinden önemli ölçüde etkilenirler (Balas, 2002). Çok sayıda ve geniş bağlantı kanalları, bu lagünlerin kıyısal suyla kesintisiz su alışverişini sağlar. Güçlü kıyısal akıntılar ve deniz suyuna yakın tuzluluk değerleri çok girişli lagünlerin karakteristiğidir.

2.1.2. İklim değişimi

Son zamanlarda küresel anlamda tartışılan konulardan birisi de iklim değişikliğidir. Küresel ısınma atmosferdeki sera etkisi yaratan gazların (petrol, kömür, doğalgaz) kullanımı ile atmosferdeki karbondioksit gazı miktarının arttırmasıyla meydana gelmektedir (Şanlı, 2017). Bu gazların küresel ısınmayı arttırarak iklim değişikliğine sebep olması hem ekolojik sistemin bozulmasına neden olmakta hem de ekonomik sosyal ve siyasal problemler yaratmaktadır. Bu nedenle iklim değişiminin güncel ve gelecek zamandaki etkilerinin periyodik olarak incelenmesi doğal kaynakların yönetilmesi ve türsel adaptasyonu tespit edebilmek açısından önemlidir (Weiskopf vd., 2020).

Kıyısal sular ve nehir suları arasındaki güçlü etkileşimlerden oluşan geçiş suları, oldukça verimli ekosistemlerdir. Bu ekosistemlerde tuzlu suyun, tatlı suyun, toprağın ve atmosferin etkileşim halinde olması, canlı topluluklarının benzersiz özellikler sergilemesine yol açmaktadır (Lentz, Zeigler, Thieler ve Plant, 2020). Kıyı ve geçiş suyu ekosistemlerinde genellikle, tatlı su girişleri ve su seviyesi değişimlerine bağlı olarak tuzluluk ve sıcaklık değerlerinin değişmesi, rüzgar ya da gel-git gibi güçlü ve düzensiz fiziksel kuvvetler hakim olmaktadır (Yıldırım, 2019). İklim değişiklikleri bu nedenle kıyı ve geçiş sularında ekolojik sınıflandırmaları önemli ölçüde etkilemekte, hidrodinamiği, referans koşulları, biyotik ve abiyotik faktörleri şekillendirmektedir (Bae, 2019).

2.1.3. Kıyı ve geçiş sularında iklim değişimi

İklim tahminlerinde önemli belirsizliklere yol açan iklim değişimleri, genellikle yağışlar ve tatlı su beslemelerinin azalmasına, tuz dengesinin ve suyun çevrim süresinin değişmesine neden olmakta olup lagünlerin ekolojik yapısı ve fonksiyonlarında zorluklar yaratmaktadır (Shalby, Elshemy ve Zeidan, 2021). Lagünlerde, hidrografik özellikler genellikle dökülen nehirlerin tatlı su debisine, rüzgarın hızına, su kabarmasına, sıcaklık, tuzluluk, yağış ve buharlaşma değişimlerine bağlıdır (Balas,2002).

2.1.4. Kıyı ve geçiş sularında su kütlesi izleme parametreleri

Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik kapsamında kıyı ve geçiş su kütlelerinin izleme parametreleri biyolojik, hidromorfolojik, kimyasal ve fiziko-kimyasal olarak sınıflandırılmıştır (11 Şubat 2014, Sayı:28910). Yönetmelik kapsamında geçiş sularında izlenmesi gereken kimyasal ve fiziko-kimyasal parametrelerden birkaçı sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, çözülmüş oksijen, renk, bulanıklık, tuzluluk, askıda katı madde olarak belirtilmiştir (11 Şubat 2014, Sayı:28910).

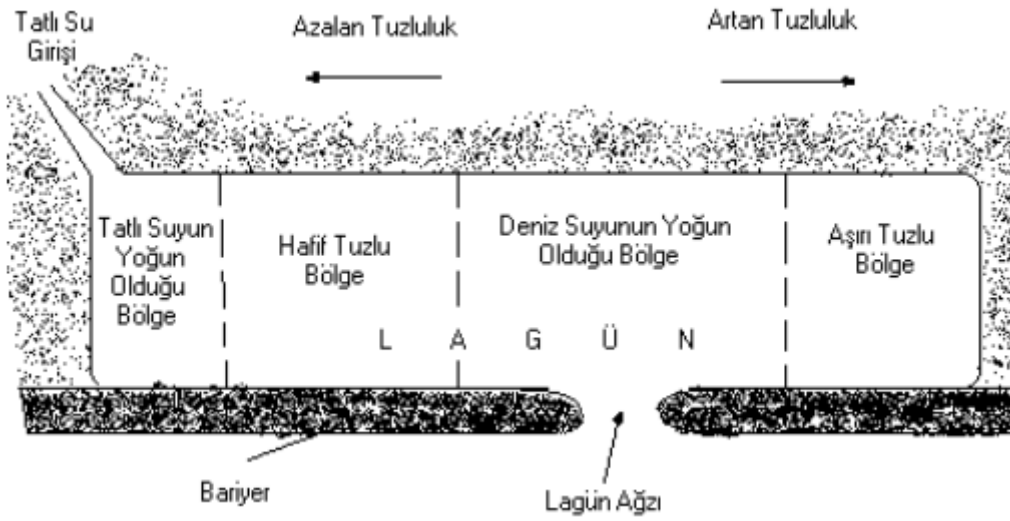
“Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik” geçiş suları için izlenmesi gereken biyolojik parametreleri aşağıdaki gibi tanımlamaktadır (11 Şubat 2014, Sayı:28910):

1. Fitoplankton kompozisyonu, bolluğu ve biyokütlesi
2. Sucul floranın kompozisyonu ve bolluğu
3. Bentik omurgasız faunanın kompozisyonu ve bolluğu
4. Balık faunasının kompozisyonu ve bolluğu

Lagünlerde tuzluluk

Lagün geçiş suyunun tuzluluğu, suyun bir kilogramında çözülmüş tuz miktarının gram olarak değeridir (ppt ya da ‰=g/1000g). Su tuzluluğu, denizel ortamlarda yaşayan canlı türlerini kontrol ettiği gibi, fiziksel, kimyasal olayları ve su kolonu boyunca çözülmüş oksijen (ÇO) değerlerini de etkilemektedir (Yıldırım, 2017). Lagünler kış aylarında sınırlı tatlı su girişine sahiptirler. Yazın kurak iklim şartları, yüksek buharlaşma ve kıyıdaki bu alanlara kanal suyu veya akarsu gibi tatlı su girişinin iyice zayıflaması ile seviye kayıpları

meydana gelir. Özellikle sıg lagünlerde buharlaşma etkilidir. Lagün ağzından giriş yapan tuzlu su akım yönünde ve rüzgar etkisinde içerilere doğru ilerler. Denizden lagüne doğru oluşan akım ve yağmurların azalmasıyla lagünün tuzluluğu giderek artar. Lagünler denizle sınırlı değişimlere sahip olduğu için sistemin suları, aşırı tuzlu su şartlarının meydana gelmesiyle deniz suyunun üzerinde bir tuzluluğa sahip olur ve lagün tuzluluk değişimine bağlı olarak bölgelere ayrılırlar. Şekil 2.2’de lagünlerin tuzluluk değişimine bağlı olarak ayrıldığı bölgeler verilmektedir (Kırdağlı, 1999).



Şekil 2.2. Bir lagünün tuzluluk değişimlerine göre bölgelere ayrılması (Kırdağlı, 1999)

Lagünlerde pH

pH toplam çözünmüş karbondioksit konsantrasyonu, alkalinite, sıcaklık ve basınca bağlıdır. pH derecesini etkileyen tüm bu parametreler tuzluluk derecesi ile şekillenmektedir (Pytkowicz, 1976). Tuzluluk arttıkça pH değeri artmakta bu da balık türlerinin iyon dengesini etkilemektedir (Scott, Lucas ve Wilson, 2005). pH düştüğünde balıkların vücutlarına aldıkları sodyum iyonu (Na^+) azalmakta bu durum da yaşamsal faaliyetlerini etkilemektedir (Scott vd., 2005). Fitoplanktonların büyüme hızında da pH derecesi değişiminin etkisi vardır (Kenneth, 2002).

“Yüzeyel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik” pH derecesini geçiş sularında izlenmesi gereken fiziko-kimyasal parametreler sınıfında değerlendirmektedir (11 Şubat 2014, Sayı:28910). Suların pH derecesi ise CO_2 miktarı ile ters orantılıdır, CO_2 yükseldiği zaman pH düşmektedir. CO_2 de sıcaklık ile ters orantılıdır, sıcaklık arttıkça CO_2

azalır. Su sıcaklığındaki artış ile de pH seviyesi yükselmektedir (Kadak, 2017).

2.2. Örnek Çalışmalar

Akyatan Lagününün Aralık 2007-Ağustos 2008 döneminde fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik parametrelerin değişimlerini 15 farklı istasyonda aylık olarak izlendiği çalışmada parametrelerin alansal dağılımını gözlemlemek amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) yararlanılmıştır. Çalışmanın sonucunda lagünün yüzey suyu pH derecesinde küçük bir artış, çözülmüş oksijen (ÇO) değerinde ise fazla bir değişim olmadığı gözlemlenmiş ve aynı özelliğe sahip lagünlerdeki çözülmüş oksijen (ÇO) değerleri kıyaslanılarak benzer sonuçlar elde edildiği vurgulanmıştır. Lagünün batı bölgesinde tuzluluk, elektriksel iletkenlik (EI), çözülmüş katı madde (ÇKM) ve klor (Cl) değerlerinin, denizdekilere göre 1,5-2 katı kadar yüksek değerlere ulaştığı ve bu sebeple lagünün aşırı tuzlu olarak nitelendirilebileceği söylenmiştir. Tuzluluk tatlı su girişleriyle azalırsa lagün ekosistemi korunabilecektir. Çalışmada askıda katı madde (AKM) değerinin yağış, rüzgar ve dalganın etkisiyle yükseldiğini saptanmıştır (Demir, 2008).

Yürütülen çalışmada ayrı istasyonlardan 2016 Ekim ve 2017 Eylül arasında alınan 9 numune ile sıcaklık, tuzluluk, pH derecesi ve redoks potansiyeli tespit edilmiş ve 70 km²'lik alan içerisine üç boyutlu taşınım denklemleriyle oluşturulmuş matematiksel model uygulanmıştır. İklimsel değişikliklerin gelecek yıllardaki davranışını görebilmek için EURO-CORDEX veri tabanı 2040-2060 yılları için olan RPC4.5 senaryosu kullanılmıştır. Çalışmada ölçümlerle senaryolarda oluşturulan model değerleri karşılaştırılarak Variconi sulak alanının tuzluluk değişimi hakkında bilgi sahibi olunmuştur (Mastrocicco, Colombani, Vigliotti ve Ruberti, 2019).

Çalışmada Batı Avustralya'nın Peel Harvey Ağzında yapay kanal açılmasından sonraki zamandan bugüne iklim değişimine bağlı davranışı incelenmiştir. 1970 yılından itibaren yağışların %16 ve nehir akışının %50 azalması nedeniyle 1994 yılında açılan yapay kanal ile lagünün fitoplankton yoğunluğu azaltılmıştır. Çalışmada kanal açılmadan önceki, sonraki ve kanal açılmamış durumdaki su seviyesi, tuzluluk ve debi incelenmiştir. Çıkan sonuçlar gelecek dönemlere aktararak Peel Harvey Ağzının iklim değişimine karşı davranışı tahmin edilmiştir (Huang, Hennig, Kala, Andrys, Hipsey, 2020).

Çalışmada Meksika Körfezi kıyılarındaki Terminos Lagünü incelenmiştir. Analiz edilen lagün için Ulusal Sığ Su Veri Bankası (USSVB) veri tabanı kullanılmıştır. Tuzluluk için 2 yıl boyunca 34 farklı istasyondan alınan örnekler kullanılmıştır. 0-75 cm derinliğindeki bölgenin tuzluluk değerleri UNIRAS yazılımı ile 2 boyutlu harita üzerine interpolasyon ile bulunmuştur. Bölge en yüksek tuz konsantrasyonuna Mayıs 2010 yılında ulaşmış, yağış sezonu başladığında konsantrasyon düşmüştür. Mart 2009 ve Mart 2010 konsantrasyon değerlerinde farklılık gözlenmemektedir. Diğer yandan 2009 ve 2008 Eylül-Ekim ayındaki tuzluluk 2010 yılına göre düşüktür (Fichez vd., 2016).

RegCM4.3.5 bölgesel iklim modeli ve HadGEM2 küresel iklim modelinin 2 farklı salım senaryosu çıktılarını alt ölçeklendirme yolundan faydalanarak 50 km çözünürlükte incelenmiştir. Çalışmada RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarından yola çıkarak 1970-2000 dönemi klimatolojisine göre 2070-2100 gelecek dönemi ortalama yağış ve hava sıcaklığı tutarlarında beklenen olası değişiklikleri incelemiştir. Çalışmanın sonucunda Türkiye’de 21. yy ikinci yarısı sonrasında ortalama hava sıcaklıklarının 3-7°C artış göstereceği ve hava sıcaklıklarındaki artışın batıdan doğuya doğru kuvvetleneceğini tespit edilmiştir (Öztürk, 2014).

Bölgenin rüzgar ve dalga iklimindeki uzun dönemli değişimleri incelenmiştir. Rüzgar verileri için UOAD tarafından kullanıma açık olan İTS veri tabanını kullanılmıştır. Veri tabanı 1979-2017 yıllarını kapsamaktadır. Analiz sonucunda yıllık ortalama rüzgar hızlarında %4 azalma olduğu belirlenmiştir. Uzun dönem dalga verileri için UOAD İTS veri tabanından oluşturulan WaveWatch III adlı spektral model sonuçlarından yararlanılmıştır. Model sonuçları incelendiğinde belirgin dalga yüksekliğinde %11 azalma olduğu tespit edilmiştir (Şahin, 2020).

Yapılan çalışmada Türkiye kıyılarının dalga ve rüzgar iklimlerini belirleyerek dalga ve rüzgar enerji potansiyelleri elde edilmiştir. Çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan 1970-2016 yılları rüzgar ölçüm verileri, 2000-2016 yılları Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmini Merkezi (AOVHTM) (ECMWF, 2022) operasyonel arşiv verileri ve ERA-Interim rüzgar verileri, 2000-2016 yılları arasındaki AOVHTM (ECMWF, 2022) üçüncü nesil dalga tahmin modelleri olan WAM ve ERA-Interim dalga tahmin verilerinden yararlanılmıştır. Veri setlerini CBS destekli Üç Boyutlu Hidrodinamik Sayısal Taşınım Modeli olan HYDROTAM-3D modeli aracılığıyla Türkiye kıyıları elektronik rüzgar ve dalga iklimi ile

rüzgar enerji ve dalga enerji iklimine dönüştürülmüştür (Buyruk, 2019; HYDROTAM, 2023). Çalışmanın sonucunda en yüksek rüzgar ve rüzgar enerji potansiyelinin Bozcaada, Gökçeada ve Çeşme kıyıları ve açıklarında, en yüksek dalga ve dalga enerji potansiyelinin ise Batı Karadeniz kıyılarında ve açıklarında ise bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır (Buyruk, 2019).

Çalışmada Burullus gölünün iklim değişimine karşı davranışını tespit edebilmek amacıyla Mike 21 Hidrodinamik modelinden yararlanılmış ve RCP 8.5 senaryosunu kullanarak yakın gelecek (2049-2050) ve uzak gelecekteki (2084-2085) değişimleri saptanmıştır. Ayrıca çalışmada 2011-2012 yılları Mısır Çevre Davranışı Ajansı (MÇDA) verileri ile derinliğin %23, sıcaklığın %15,3 ve tuzluluğun %27,3 arttığını hesaplanmıştır (Shalby, Elshemy ve Zeidan, 2021).

San Jose Lagününün iklim değişimine karşı gelecekteki davranışını inceleyen çalışmada lagüne giriş yapan tatlı ve tuzlu su miktarlarını belirlenmiş ve gelecekteki su hacmini tespit edilmiştir. Tatlı-tuzlu su değişiminin tahminini yapabilmek için MODFLOW-SW12 modelinden yararlanılmıştır. Çalışmasında RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarından yararlanarak yakın gelecek (2040) için hesaplanan su seviyesi değişimlerine de yer verilmiştir. Aynı zamanda çalışmada yeraltı suyu için değişimi için CUR40 senaryosunu, su seviyesi değişimi için CON40 ve EXT40 senaryolarını belirlenmiştir. Su seviyesinin 0,80 m artış gösterdiği senaryosunu CON40, 1,00 m artış gösterdiği senaryosunu ise EXT40 olarak adlandırılmıştır. Her iki senaryoya göre 2040'taki deniz suyu seviyesine göre lagüne giriş yapan tuzlu su miktarı ve CUR40 senaryosuna bağlı olarak lagünün su hacmini hesaplanmıştır. Hesaplarında yağış, taşkın ve buharlaşma değerlerini de göz önüne almaktadır. Çalışmanın sonucunda CUR40 senaryosuna bağlı tuzlu su hacmi $7,30 \times 10^6 \text{ m}^3$ hesaplanmış olup bu değer CON40 senaryosu ile $11,30 \times 10^6 \text{ m}^3$, EXT40 senaryosu ile ise $13,20 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır (Imaz-Lamadrid, Wurl ve Ramos-Velázquez, 2019).

Rio de Aveiro Lagünü (Portekiz) üzerine yapılan çalışmada lagünün iklim değişimine karşı farklı senaryolarda gösterdiği davranışını incelenmiştir. İncelemesinde gelgit, nehir akışı ve sıcaklık artışını dikkate alınmıştır. Çalışmada tuzluluk okyanus girişinde 34 ppt (okyanus suyu=35,5 ppt), nehir ve kıyıya uzak bölgelerde ise 20-34 ppt olarak hesaplanmıştır. Su sıcaklığında ise 0,50-1,50°C azalma hesaplanmıştır. Lagünde okyanus suyu miktarının

azalmasından kaynaklı inorganik nitrojen konsantrasyonu ve karbon fitoplankton konsantrasyonunda azalma gerçekleştiğini tespit edilmiştir (Lopes, 2019).

Akyatan ve Tuzla Lagünlerindeki fitoplankton değişiminin incelediği çalışmada 2000-2001 yılları arasında ölçümü yapılan su parametrelerinden yola çıkılarak değişim hesaplanmıştır. Bu parametreler sıcaklık, çözünmüş oksijen (ÇO), pH, tuzluluk ve elektrik iletkenliğidir (Eİ). Çalışmada bu değerler sırasıyla sıcaklık değerini $22,61 \pm 1.43^{\circ}\text{C}$, ÇO değerini $6,83 \pm 0,48\text{mg/L}$, pH $7,35 \pm 0.17$, tuzluluk değerini $\%54,40 \pm 3,55$ ve elektrik iletkenliği değerini $766,5 \pm 26,89\mu\text{S}$ olarak verilmektedir (Çevik, 2008).

Çalışmada deniz seviyesindeki değişimi elde edebilmek için AOVHTM (ECMWF, 2022) (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi) verisi HYDROTAM-3D adı verilen 3 Boyutlu Hidrodinamik Taşınım ve Su Kalitesi Model Sistemi ile incelenmiştir (Kılar, 2017; HYDROTAM-3D, 2023). HYDROTAM-3D ile baskın rüzgar yönü ve değeri, yıllık ve mevsimlik rüzgar gülleri ve istatistikleri, belirgin dalga yükseklikleri, etkin dalga yönü, yıllık ve mevsimlik dalga gülü ve ekstrem dalga istatistikleri verilerine ulaşmış ve bu verilerle dalga kabarma seviyelerini hesaplanmıştır. Dalga kabarma değerleriyle ortalama deniz seviyesi ve gel-git dalga genliğini birleştirerek fırtına kabarması değerleri hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda en şiddetli fırtına kabarması seviyesine Güneybatı ve Batı Güneybatı yönünde ulaşıldığı görülmektedir. Güneybatı yönündeki kabarma seviyesi 3,6 metre, Batı Güneybatı yönünde ise 2,70 metre olarak elde edilmiştir (Kılar, 2017).

Amerika kıtasının kuzeydoğu kıyılarında yapılan çalışmada iklim değişimine bağlı su seviyesinin yükselmesi ile kıyıların sular altında kalma ihtimalini incelenmiştir. Çalışmada HİDP (Hükümetlerarası İklim Değişimi Paneli) olasılıklarını referans alınmıştır. HİDP'ye göre eğer sular altında kalma olasılığı (p) $<0,10$ ise bölgenin sular altında kalma olasılığı çok uzak ihtimal, eğer $0,10 < p < 0,33$ ise bölgenin sular altında kalma olasılığı uzak ihtimal, eğer $0,33 < p < 0,66$ ise bölgenin sular altında kalma olasılığı büyük ihtimal, eğer $p > 0,66$ ise bölgenin sular altında kalma olasılığı muhtemel olarak tanımlanmıştır. Bu ihtimaller referans alınarak ve bölge 30×30 m'lik alanlara bölünerek incelenmiştir. İncelenen zaman dilimleri ise 2020, 2030, 2050 ve 2080 yılı senaryolarını kapsamaktadır. Çalışmanın sonucunda bölgenin 2020 yılı sular altında kalma olasılığını $\%56$ olasılıkla uzak ihtimal ($0,33 < p < 0,66$) olarak belirlenmiştir. 2050 yılı için aynı durum $\%58$ ve 2080 yılı için ise $\%64$ olarak hesaplanmıştır. Çalışmada hangi bölgelerin sular altında kalacağından da bahsedilmiştir.

Çalışmaya göre kayalık bölgelerin %60'lık kısmı muhtemel ($p>0,66$) olarak sular altında kalacaktır (Lentz, Zeigler, Thieler ve Plant, 2020).

Fethiye Körfezi'nde Mart 2016-Şubat 2017 yılları arasında ölçüm yapılarak su kalitesi parametreleri incelenmiş ve değişimi yorumlanmıştır. Fiziksel parametreler yüzeyin 2 metre altından yapılan ölçümlerle takip edilmiş ve çalışmada parametrelerin ortalama, maksimum ve minimum değerleri elde edilmiştir. Çalışmada su derinliği, tuzluluk (ppt), sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), pH derecesi, bulanıklık, Fekal ve Toplam Koliform, Koli Basili, Fekal Streptokok, Pseudomonas Aeruginosa, Salmonella, çözülmüş oksijen (ÇO) ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD) ölçümü yapılmıştır. Ölçüm yapılan süre boyunca tuzluluk 30,37 ppt ile 39,43 ppt arasında değişmiştir. Sıcaklık ise 12,7 ile 30,8 $^{\circ}\text{C}$ arasında ölçülmüştür. pH değeri 7,55-8,38 değerleri arasında ölçülmüştür. Mikrobiyolojik parametreler ise Türk Standartlarının koşullarına göre incelenmiş ve teste tabi tutulmuştur. Ölçümler sonucunda Toplam Koliform (TC) ortalaması 298 kob/100 ml, Fekal Koliform ortalaması 131 kob/100 ml, Fekal Streptokok ortalaması 28 kob/100 ml, Koli Basili ortalaması 37 kob/100 ml, Pseudomonas Aeruginosa 174 kob/100 ml, Salmonella ortalaması 930 kob/100 ml olarak elde edilmiştir. Çözülmüş oksijen -2,00 m, -4,00 m, -8,00 m, -12,00 m ve -14,00 m derinlik için ölçülmüştür. Ölçüm sonucu yıllık yüzeydeki çözülmüş oksijen miktarı (mg/L) için 6,75, -14,00 metre derinlikteki ise 6,21 mg/L değerleri elde edilmiştir. Ölçülen biyokimyasal oksijen ihtiyacı incelendiğinde değerlerin 2,3-6,8 mg/L arasında bulunduğu belirlenmiştir (Yıldırım, 2019).

Yumurtalık Lagünü için yapılan çalışmada tuzluluk ve pH değerleri ölçümleri mevsimlere göre verilmiştir. 2009 yılı pH değeri ortalaması 8,21 ve tuzluluk değeri 65,25 ppt olarak hesaplanmıştır (Aydın, 2015).

Yumurtalık Lagünü üzerine yapılan çalışmada 2006 yılı mevsimlik tuzluluk ve pH ölçümleri belirlenmiştir. pH değeri 7,77 ve tuzluluk ise 47,75 ppt olarak hesaplanmıştır (Dural, 2006).

Deniz yüzey sıcaklığının artması ve iklim değişimi 2000'li yıllardan itibaren yabancı türlerin yayılmasına katkı sağlamaktadır. Yabancı tür, belirli bir ekosistemin doğal faunasında yer almayan ve farklı nedenlerle bir bölgeye gelen yeni türlere denmektedir (Ergüden, 2018). Kızıldeniz'den Akdeniz'e geçiş yapan yabancı türlerin özel bir adı vardır. Bu türlere Leseptiyen tür denilmektedir (Ergenler, 2016). Leseptiyen türlerin göç etmeyi tercih

ettikleri bölge Doğu Akdeniz bölgesidir. Bunun nedeni, Akdeniz siklonik kıyı akıntısının larvaları ve balık yumurtalarını sürüklemesi ve Nil Nehrinin tatlı su girdisinin oluşturduğu hidrografik engelin kanalı geçen balıkları bu bölgeye yönelmeye zorlamasıdır (Avşar, 1999). Doğu Akdeniz’de görülen lesepsiye türlerine örnek olarak sokar balıkları, trompet balıkları, balon balıkları, deniz tavşanı, paşa ve nil barbunu, perçinli tavşan balığı ve keçi balığı verilebilir (Gözcelioğlu, 2012).

Doğu Akdeniz’deki balon balıkları üzerinde yapılan çalışmada balon balıklarının ağırlıkları ve boyları hakkında bilgi sahibi olunmuştur. 2009-2020 yılları arasında balon balıklarının maksimum boyları %43,71 ağırlıkları da %324,51 artmıştır (Manaşırılı, Mavruk, Yeldan ve Avsar, 2020; Ergüden, 2009). Balon balıkları istilacı tür sınıfına girmektedir. Belli bir ekosistemin doğal faunasında yer almayan, farklı yollarla bir bölgeye dışarıdan gelen yeni türler istilacı türler olarak isimlendirilmektedir (Polat, 2011). İstilacı türlerin en tehlikelisi olan balon balıkları özellikle yerel balık türlerinin popülasyonunda belirleyici unsurdur. Balon balıkları tehlike anında şiştikleri ve siyanürden 1200 kat daha zehirli olan tetrodotoksine sahip oldukları için avlanmalarına engel olmakta ve popülasyonda baskı kurmalarını sağlamaktadır (Kayhan, 2021).

Fitoplankton kompozisyonu, bolluğu ve biyokütlesi de geçiş sularında izlenmesi gereken biyolojik parametreler sınıfına girmektedir. Fitoplanktonlar sucul ortamlarda yaşayan tek hücreliler ve koloniler olarak adlandırılmaktadır (Daniel, 2001). Bu canlılar fototrofik beslenmektedir. Yaşamlarını sürdürebilmek için su, karbondioksit ve inorganik maddelere ihtiyaç duymaktadırlar (İspirli, 2009). Karbon ve diğer besinlerin yeterli düzeyde olduğu durumda fitoplanktonların büyüme hızı ve sayısı ile sıcaklık arasında pozitif ilişki mevcuttur (Cross, Hood, Benstead, Huryn ve Nelson, 2015).

3. KIYI VE GEÇİŞ SULARINDA İKLİM DEĞİŞİMİ

3.1. Çalışma Sahası Seçimi

Ülkemiz kıyı geçiş suları incelendiğinde özellikle Akdeniz Havzası küresel iklim değişiminden en fazla etkilenecek bölgelerden birisidir. Akdeniz Havzası sıcaklık değeri sanayi öncesi dönemden bu zamana 1,4°C artmıştır. Son yirmi yılda Akdeniz deniz seviyesi ise 6 cm yükselmiş ve deniz suyu asitliği önemli ölçüde artmıştır (Cramer, 2018). Bu sebeple Akdeniz Havzasının değişimini saptamak ve ileriye yönelik önlem alabilmek amacıyla çalışmada incelenen lagün geçiş suları Doğu Akdeniz Havzasında bulunmaktadır.

Çalışmada Doğu Akdeniz’de yer alan Adana iline bağlı Yumurtalık ve Akyatan Lagünleri, Antalya iline bağlı Beymelek Lagünü incelenmiştir.

Yumurtalık Lagünü

Çukurova deltası Türkiye’nin en büyük alüvyal alanlarından birisidir ve Çukurova Deltası’nda Seyhan, Ceyhan ve Tarsus (Beran) ırmaklarının taşıdığı alüvyonlar ile oluşmuş bir set gölüdür. Yumurtalık Lagünü bu deltanın doğu kesiminde yer almaktadır. Lagünün koordinatları 36.7° Kuzey enlemi ve 35.8° Doğu boylamıdır. Lagün, toplam 19,85 hektar alana sahiptir (Park ve Bahçeler Genel Müdürlüğü, 2018). Lagünün oluşumunda ve Şekillenmesinde etkili olan akarsu Ceyhan Nehridir. Ceyhan Nehri havzası oldukça küçük olmasına rağmen debisi bakımından Türkiye’nin sayılı akarsuları arasında yer alan ve ortalama 238 m³/sn (maksimum 400 m³/sn nisan ve mayıs aylarında, minimum 50m³/sn yaz ayı) hız ile akar. Nehrin rejimini ilkbahar yağışları, dağlık alanlardaki karların erimesi ve aşağı çıkışındaki kış yağışları belirlemektedir. Yumurtalık’ta iki ana lagün sistemi bulunmaktadır. Bu sistemlerden birincisi aslında tek bir göl olmasına rağmen Avcıali dili ile birbirinden kısmen ayrı olduğu için ayrı göller olarak nitelendirilen Avcıali ve Eşemen göllerinin oluşturduğu Yelkoma Lagünü Sistemidir (1150 ha) (Yelkoma Dalyanı). Avcıali ve Eşemen Göllerinin derinlikleri 0-1.5 m arasında değişmektedir. Göllerin etrafında zaman zaman dalyan işletmesi tarafından yarım metre yüksekliğinde setler oluşturulmaktadır. İkinci lagün sistemi ise birbirine küçük doğal kanallarla bağlanan Yapı Gölü (300 ha), Ömerli Gölü (350 ha) ve Darboğaz Gölü (380 ha) ve Çamlık Körfezinden meydana gelir. Bu gölleri kış aylarında su seviyesi yükseldiğinde tek bir büyük göl halini alır. Yapı Gölü,

ilkbahar ve yaz aylarında kuruyarak geniş çamur düzlükleri haline gelir. Ömerli Gölü nispeten daha derin olup yüksek su seviyesindeki bölgeleri yer yer 1,5 m'yi bulmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019). Şekil 3.2'de Yumurtalık Lagünü haritası verilmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2022).



Şekil 3.1. Yumurtalık Lagünü Harita Görüntüsü (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2022)

Seyhan-Ceyhan deltası üzerindeki göl lagünlerindeki bitki ve hayvan türleri ile özellikle halep çamı olarak bilinen (*Pinus halepensis*) gibi nadir yayılışı olan bitki türü için korunan doğal ortam oluşturmaktadır (Park ve Bahçeler Genel Müdürlüğü, 2018). Millî Park, *Chelonia Mydas*'ın (yeşil kaplumbağa) Akdeniz'de kışladığı tek alan özelliğine sahiptir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019).

Akyatan Lagünü

Adana'nın Karataş ilçesinde, 36.5° K, 35.3° G koordinatında yer alan Akyatan Lagünü, Seyhan ve Ceyhan nehirlerinin oluşturduğu Çukurova delta ovasında yer almaktadır. Akyatan Türkiye'nin en büyük lagün sistemidir. Batısında ve kuzeybatısında geniş çamur düzlükleri vardır. Drenaj kanallarının lagüne bağlandığı kuzey ve doğuda ise geniş ve sık sazlık alanlar bulunmaktadır. Lagünün açık su yüzeyi alanı 5.600 ha ölçülmüş, maksimum

su seviyesinde çevresinde yer alan sazlıklar, bataklıklar ve taşkın alanları eklendiğinde kapladığı alan 9.000 ha'ya kadar ulaşmaktadır. Şekil 3.3'te lagünün harita görüntüsü ve drenaj kanalları görülmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).



Şekil 3.2. Akyanan Lagünü (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019)

Lagün denize 2 km'lik dar bir kanal ile bağlanmaktadır. Lagünde suların yüksek olduğu dönemde kanal vasıtasıyla lagünden denize, suların alçak olduğu dönemde ise denizden lagüne su akışı gerçekleşmektedir. Bu nedenle lagünün denizle bağlantısı olmasına rağmen tuzluluk değeri mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Kışın ve ilkbaharda drenaj kanallarının taşıdığı su sayesinde lagün suyunda tatlılaşma görülmektedir. Lagün, Seyhan Nehri ve Ceyhan Nehri su ve toprak kaynakları geliştirme hizmetleri uygulanmadan önceki doğal koşullarda; Seyhan ve Ceyhan Nehri taşkınlarının, yaklaşık 93.000 hektarlık havzanın yağış sularının, yeraltı sularının, taban suyunun ve deniz tuzlu suyunun etkisi altında kalmaktaydı. Hem yağış, sıcaklık, buharlaşma gibi mevsimsel koşullardaki değişimler hem de lagün havzasında lagünün beslenme şartlarının su ve toprak kaynakları geliştirme hizmetleri sonucunda değişimden su rejiminin etkilenmesi sonucunda, lagündeki beslenme-

boşalım-buharlaşmaya bağlı olarak lagün su seviyesi mevcut koşullarda kışın derinleşmekte ve yazın sığlaşmaktadır (Demir, 2008).

Akyatan Lagünü ülkemizin en büyük lagün gölü olmasından kaynaklı biota açısından çeşitlilik göstermektedir. Alandaki en yaygın tür çakallardır. Kirpi, yaban kedisi, tavşan ve tilki de görülmektedir. Sürüngen ve böcek türleri açısından da zenginlik göstermektedir. Akdenizdeki en önemli dalyanlardan birisi olan Akyatan Lagünü aynı zamanda farklı tür su kuşları ve deniz kaplumbağalarına habitat olmaktadır. Kışın Anadolu yaylalarındaki göllerin donması sebebiyle 70-80 bin adet su kuşu Akyatan Lagününe göç etmektedir. 1955 yılında kumul stabilizasyonu sağlamak adına ağaçlandırma çalışması yapılmış ve okaliptüs, kıbrıs akasyası, yalancı akasya, fıstık çamı, kızılçam ile selvi dikilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).

Beymelek Lagünü

Antalya'nın Demre ilçesinde yer alan Beymelek Lagününün koordinatları 36.2° K, 30.1° D ve ortalama derinliği 3 metredir. Güçlü karstik kaynaklardan beslenmektedir ve gölden Akdeniz'e doğru sürekli bir akış vardır. Fırtına ve gel-git zamanlarında tuzluluk oranı Akdeniz ile benzer özellik gösterirken diğer zamanlarda karstik kaynakların özelliklerini göstermektedir (Keser, 2011). Lagünün uydu görüntüsü Şekil 3.4'te verilmektedir.



Şekil 3.3. Beymelek Lagünü uydu görüntüsü (Google Earth, 2022)

Lagünün deniz bağlantısı doğu yönündedir. Lagün beslenmesinin yüksek olduğu kış dönemleri ile gel-gitlerin etkili olduğu dönemleri kapsayan yüksek su düzeylerine göre derinlik değerleri; kuzeyde minimum 1,60 m, maksimum 3,20 m, güneyde minimum 0,42 m, maksimum 1,60 m'dir. Gülmez Dağı'nın yamaçlarındaki derelerden Demre çayına ve Akdeniz'e dökülen birkaç dere dışındakiler Beymelek havzasına drene olmaktadır. Lagüne doğru eğimli yaklaşık 40 km²'lik alanın sularını toplayan bu akarsular, kısa boylu ve mevsimlik derelerdir. Doğu kesimden lagüne ulaşan dereler, en uzun boylusu Taşamber Dere olmak üzere, Zeytinlik Dere, Gerenlik Dere ve Keçi Deredir (Keser, 2011).

3.2. İklim Değişimi Etkisinin Belirlenmesi

Lagün gibi yüzey alanına oranla ortalama su derinliğinin az olduğu su kütlelerinde davranışı doğru ifade edebilmek amacıyla üç boyutlu hidrodinamik taşınım modellerini kullanmak daha uygundur (Balas, 2002). Bu nedenle çalışmada HYDROTAM-3D (Ek-1) üç boyutlu hidrodinamik taşınım ve su kalitesi modelinden yararlanılmıştır (HYDROTAM-3D, 2023).

Çalışmada HYDROTAM-3D (HYDROTAM-3D, 2023) ile lagünlerin rüzgar iklimi, dalga iklimi belirlenmiş, sıcaklık değişimi için 2000-2020 yılları arası Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) verileri incelenmiştir. Fırtına kabarmasının belirlenebilmesi için HYDROTAM-3D (HYDROTAM-3D, 2023) ile elde edilen rüzgar ve dalga iklimi verileri literatür yaklaşımları ile değerlendirilerek belirlenmiştir. Sonuçlar incelenerek lagünlerin iklim değişimine karşı gösterdiği davranışı yorumlanmıştır.

3.2.1. Rüzgar iklimi modellemesi

Lagünün rüzgar hızlarındaki değişimini doğru şekilde analiz edebilmek için HYDROTAM-3D (HYDROTAM-3D, 2023) rüzgar iklimi alt modülünden yararlanılmıştır. Modül, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (AOVHTM) (ECMWF, 2022) tarafından Akdeniz Basenine ait oluşturulmuş veri tabanını işleyerek rüzgar hızlarının yönlerini ve büyüklüklerini vermektedir (HYDROTAM-3D, 2023). Çalışmada kullanılan Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (AOVHTM) (ECMWF, 2022) operasyonel arşiv Akdeniz veri tabanı verileri 2000-2020 yıllarını kapsamaktadır. Veri 6 saatte bir ölçülen ve 33°- 45° kuzey enlemleri ve 22°- 42° doğu boylamları arasında, 0,10x0,10 aralıklı ve deniz seviyesinden 10 metre yüksekteki rüzgarın yatay (u) ve dikey (v) bileşenine sahip olan Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi'nin (AOVHTM) (ECMWF, 2022) Meteorolojik Arşivleme Sistemi (Meteorological Archiving and Retrieval System-MARS) veri tabanından elde edilmiştir. HYDROTAM-3D (HYDROTAM-3D, 2023) modelinin rüzgar iklimi modülünde ECMWF'den alınan "u" ve "v" hız bileşenleri formatındaki operasyonel arşiv rüzgar verileri rüzgar bileşke hızı ve yönü formatına çevrilmektedir. Modelde tüm istasyonların yerleri ve tüm grid noktaları Türkiye haritası üzerinde CBS ortamında gösterilmektedir. Çalışılmak istenen denizel alan, harita üzerinde işaretlenebilmekte, ve alana en yakın grid noktaları ve meteoroloji istasyonları harita üzerinde gösterilmektedir. Kullanıcı çalışmak istediği meteoroloji istasyonunu veya grid noktasını harita üzerinden seçebilmektedir. Daha sonra saatlik rüzgar verileri analiz edilmekte, yıllık ve mevsimlik rüzgar gülleri sunulmaktadır. Yıllık rüzgar gülü, meteoroloji istasyonlarındaki ölçüm süresi boyunca, farklı yönlerden farklı hızlar ile esen rüzgarların oluşma oranlarını göstermektedir. Rüzgarın hangi yönden hangi yöne doğru esmekte olduğunu gösteren yön dilimleri 22,5 °C aralıklı coğrafik yönlerle aynı seçilmiştir. Rüzgar iklimi alt modelinde rüzgar güllerinin dışında aylık ortalama ve en uç değer rüzgar hızları, yıllara göre en yüksek rüzgar hızları ve

esme yönleri ile uzun dönem ve en büyük değer rüzgar istatistikleri grafikleri oluşturulabilmektedir (Buyruk, 2019; HYDROTAM, 2023). Çalışmada Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi'nin (AOVHTM) (ECMWF, 2022) verileri HYDROTAM-3D rüzgar iklimi aracılığıyla iki zaman aralığına bölünerek incelenmiş ve rüzgar hızındaki yüzdesel değişim belirlenmiştir.

3.2.2. Dalga iklimi modellemesi

Türkiye kıyılarında dalga iklimi çalışmalarında kullanılabilecek ölçülmüş dalga verileri mevcut değildir. Bu nedenle rüzgar dalgalarını modellemek için ampirik ve sayısal yöntemden biri seçilmelidir. Çalışmada dünyada en yaygın kullanıma sahip, ölçümlerle test edilmiş olan CEM (US Army, 2006) ampirik modeli kullanılmıştır. 33°- 45° kuzey enlemleri ve 22°- 42° doğu boylamları arasında 0,10 x 0,10 aralıklı Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (AOVHTM) (ECMWF, 2022) operasyonel arşiv Akdeniz veri tabanı verilerine CEM ampirik modeli uygulanarak elde edilen dalga tahmin modeli HYDROTAM-3D veri tabanına girilmiş ve üzerinde çalışılmıştır.

Dalga istatistikleri için etkin dalga kabarma mesafeleri (feç) belirlenmelidir. Feç kelimesi rüzgarın estiği doğrultuda karadan karaya uzanan deniz alanının uzunluğunu ifade etmektedir. Tüm yönlerdeki etkin kabarma mesafeleri için kosinüs ortalama metodunu uygulamaktadır (Balas ve Özhan, 2001). Kosinüs metodunda $\theta=22,50$ derecelik segment açılarla dalga kabarma uzunluklarının açısal ortalamaları alınarak feç uzunlukları bulunmaktadır.

$$X_{ef} = \frac{\sum X_i \cos^2 \theta_i}{\sum \cos \theta_i} \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1 ile feç uzunluğu hesaplanmaktadır. Burada X_i segment açılarla ölçülen dalga kabarma uzunlukları, X_{ef} belirlenen yön için hesaplanan dalga kabarma uzunluğudur (Balas, 2013). Elde edilen feç mesafesi ve yönüyle belirgin dalga yüksekliklerinin (H_s) uzun dönem ve en yüksek değer istatistikleri çalışılmıştır. Elde edilen belirgin dalga yüksekliği değerleri Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF, 2022) operasyonel arşiv verileri 2000-2020 yıllarını kapsamaktadır. Dalga iklimindeki değişimi incelemek amacıyla veriler 10'ar yıllık iki zaman aralığına bölünerek incelenmiştir.

3.2.3. Sıcaklık değişimi

Sıcaklık değerleri için Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (AOVHT) (ECMWF, 2022) veri tabanından yararlanılmıştır. AOVHTM (ECMWF, 2022) veri tabanı 3'er saatlik ölçümlerden oluşan 2000-2020 yılları arasındaki sıcaklık değerlerini içermektedir (ECMWF, 2022). Verilerin analizini kolaylaştırmak amacıyla hareketli ortalamaları alınıp yıllık ortalamaları grafikleştirilmiştir (Wider, 2009). Çalışmada veriler rüzgar ve dalga ikliminde olduğu gibi iki zaman aralığına bölünerek yüzde cinsinden sıcaklık değişimi elde edilmiştir.

3.2.4. Fırtına kabarması

Fırtına kabarması, birkaç dakikalık ya da birkaç günlük zaman aralığı içerisinde kıyı ve iç sulardaki su yüzeyindeki salınımları ifade etmektedir. Kabarmaya rüzgarlar neden olmaktadır (World Meteorological Organization, 2011). Özellikle son yıllarda iklim değişimi nedeniyle artan rüzgar hızları sayesinde fırtına kabarmalarında ve kabarma şiddetlerinde artış gözlenmektedir. Dalga yüksekliğinin de rüzgar hızına ve esme süresine bağlı olması nedeniyle fırtına kabarması üzerinde etkisi vardır (Kılar, 2017). Çalışmada fırtına kabarması değerlerinin belirlenebilmesi için üç farklı yöntemden yararlanılmıştır.

Belirgin dalga yüksekliğine bağlı fırtına kabarması

Fırtına kabarmasına bağlı su seviyesi değişimini hesaplamak için 1 saat/yıl aşılma süresine sahip olan belirgin dalga yüksekliğinin %10'u ve gelgit yüksekliği belirgin dalga yüksekliğine eklenecektir (Suh, Kim, Mori ve Mase, 2012). Türkiye kıyılarında gelgit etkisinin az olması sebebiyle çalışmada gelgit olayının su seviyesi üzerindeki etkisi göz ardı edilecektir (Balas, 2019). Bu yaklaşımda lagünlerdeki fırtına kabarmalarının etkisini inceleyebilmek için iki zaman aralığına ait uzun dönem dalga istatistikleri ayrı ayrı incelenmiş ve zaman aralıklarındaki kabarma miktarlarının değişimi kıyaslanmıştır.

Rüzgar hızına bağlı fırtına kabarması

Fırtına kabarmaları hava ve denizin etkileşimi ile meydana gelen oluşumlardır. Atmosferik kuvvetlerin su kütlesi üzerinde oluşturduğu salınımların süresi birkaç dakika ile birkaç gün arasında değişim gösterebilir. Hava olayları su kütlesi üzerinde ilerlerken iki farklı kuvvet

meydana gelmektedir. Bunlardan biri okyanus yüzeyine dik olarak gelen atmosferik kuvvet(basınç) diğeri ise yüzeğe teğet olarak oluşan kuvvet (rüzgar) olarak nitelendirilmektedir. Dik kuvvet olan basınçtaki 1 hektopaskallık (hPa) değışim su seviyesinde 1 cm yükselmeye neden olmaktadır. Bu olay statik amplifikasyon yani fırtına kabarmasının statik etkisi olarak adlandırılmaktadır. Statik etki kabarmasının %10-15'lik kısmını oluşturmaktadır. Teğet kuvvetler yani rüzgarlar kabarmasının dinamik etkisi olarak adlandırılır ve kabarmasının statik etki dışındaki kısmını oluşturmaktadır. Dinamik etkinin statik etki ile bağlantısı eşitlik 3.2'de verilmiştir (World Meteorological Organization, 2011).

$$A_D = A_S \frac{1}{(1 - \frac{v_w^2}{c^2})} \quad (3.2)$$

Burada,

v_w : Hava hareket hızı(m/s)

c : Dalga ilerleme hızı(m/s)

A_D : Dinamik etki katsayısı

A_S : Statik etki katsayısı

Dalga ilerleme hızı, sığ sular adını verdiğimiz derinliğin dalga uzunluğuna oranının 0,0157'den küçük olduğu bölgelerde yerçekimi ivmesi ve su derinliğine bağlıdır (World Meteorological Organization, 2011). Sığ sular için dalga hızı hesabı eşitlik 3.3'te verilmektedir.

$$c = \sqrt{gD} \quad (3.3)$$

Dalga derin denizde olduğu durumda D değerinin artması ile c değeri v_w 'den oldukça büyük olduğu için iki değerin oranı 0'a yaklaşmakta ve A_D ve A_S arasındaki oran 1'e yaklaşmaktadır. Sığ su koşullarında ise c ve v_w yaklaştığı için A_D , A_S değerinden büyük olur. Teorik olarak enerji kaybının olmadığı koşullarda A_D değeri sonsuza ıraksamaktadır. Fakat sürtünme ve diğer koşulların olması nedeniyle A_D limit değere sahiptir. Fırtına kabarmasının genliği eşitlik 3.4'deki şekilde ifade edilmektedir.

$$S = K \frac{w^2}{D} \quad 3.4$$

Burada,

S: Fırtına kabarması

w: Rüzgar hızı

D: su derinliği

K: sabit (bu değer taban sürtünmesi, atmosferik stabilite, okyanus yüzeyinin özelliği ve rüzgar esme açısına bağlıdır)

Eş.4 incelendiğinde fırtına kabarmasının genliğini etkileyen en önemli iki parametrenin rüzgar hızı ve su derinliği olduğu görülmektedir. Kabarmanın genliği rüzgar hızının karesine bağlı olarak değişmektedir. Aynı Şekilde su derinliği azaldıkça kabarma artmaktadır. Bunun nedeni aynı enerjinin daha küçük su kütlesi ile aktarılmasından kaynaklanmaktadır (World Meteorological Organization, 2011). Fırtına kabarması meteorolojik yaklaşım ile irdelendiğinde çalışmada iki zaman aralığına ayrılan rüzgar ölçümleri kıyaslanarak lagünlerin su seviyesindeki değişimine dair tahmin yapılabilmektedir.

Rüzgar enerjisine bağlı fırtına kabarması

Herhangi bir nokta için rüzgar yükü matematiksel olarak eşitlik 3.5 ile tanımlanmaktadır (Buyruk, 2019).

$$P = \frac{1}{2} \rho A u(z)^3 \quad (3.5)$$

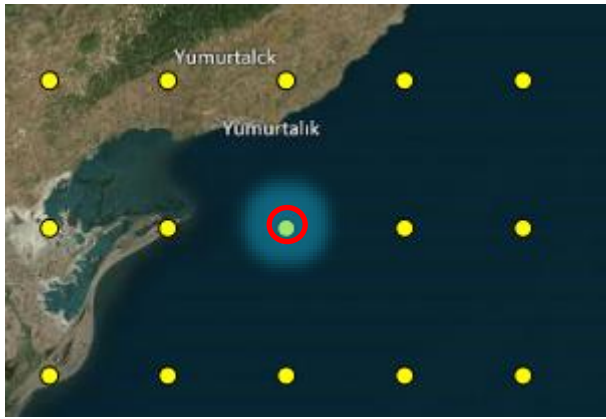
Rüzgar hızı ($u(z)$) için su seviyesinden 10 m yüksekte ölçülen veriler kullanılmıştır. Denklemden alanı ifade eden A değeri birim alanda hesap yapıldığı için 1 m^2 olarak seçilmiştir. Havanın yoğunluğu olan ρ ise $1,225 \text{ kg/m}^3$ değerine sahiptir (Buyruk, 2019).

4. BULGULAR

4.1. Yumurtalık Lagünü Modelleme Sonuçları

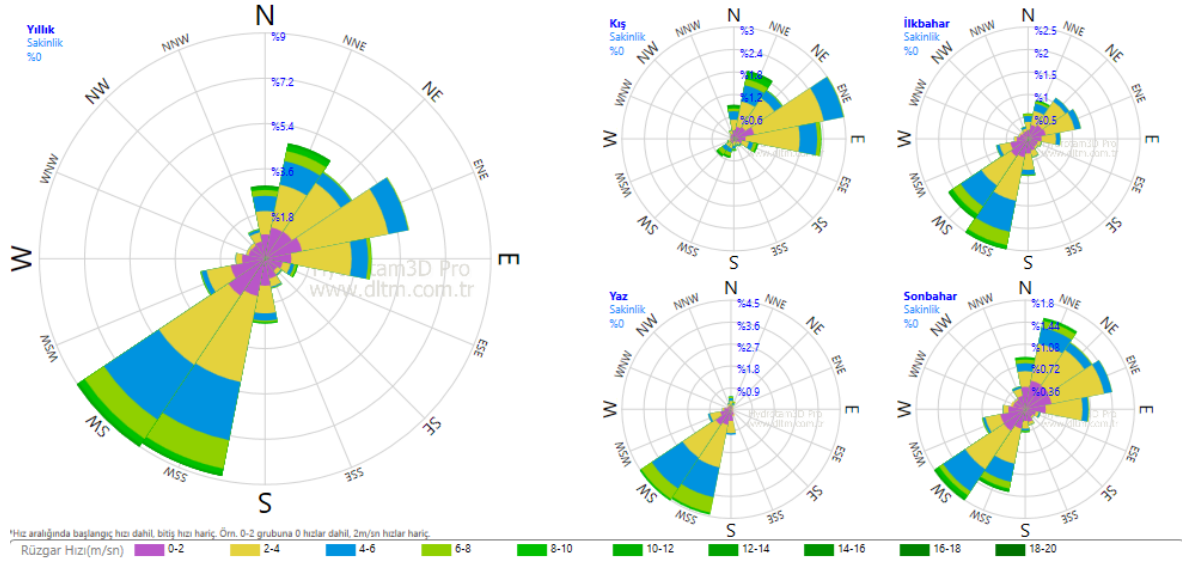
4.1.1. Yumurtalık Lagünü rüzgar iklimi

Çalışma bölgesinin rüzgar ikliminin belirlenebilmesi için AOVHTM (ECMWF, 2022) Operasyonel Arşiv 0.1° (Akdeniz) verileri incelenmiştir. AOVHTM (ECMWF, 2022) ağının konumu verilmiştir. (Harita 4.1)



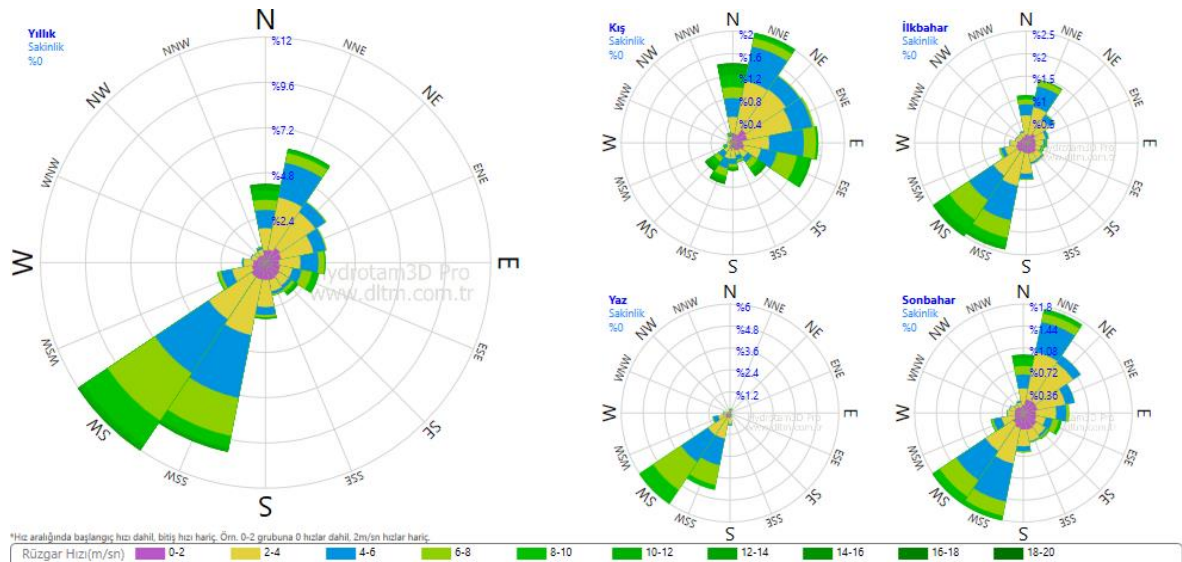
Harita 4.1. AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi Akdeniz ağının konumu (36.7°K, 35.8°G) (HYDROTAM-3D, 2023)

AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verileri kullanılırken çalışma sahasına en uygun mesafedeki nokta seçilmiştir. Şekil 4.1'de noktaya ait 2000-2010 yılları verilerini içeren rüzgar gülleri verilmektedir.



Şekil 4.1. 01.01.2000-01.01.2010 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik rüzgar gülleri (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.1 incelendiğinde lagünün 2000-2010 yılları arasında ilkbahar, yaz ve sonbahar aylarında GüneyGüneybatı (SSW) ve Güneybatı (SW) yönlerinin hakim rüzgar yönü olduğu görülmektedir. Kış ayında ise Kuzey (N) ve KuzeyKuzeyDoğu (NNE) yönleri hakim rüzgar yönüdür. Şekil 4.2’de noktaya ait 2011-2020 yılları verilerini içeren rüzgar gülleri verilmektedir.



Şekil 4.2. 01.01.2010-01.01.2020 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik rüzgar gülleri (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.2 incelendiğinde lagünün 2010-2020 yılları arasında ilkbahar, yaz ve sonbahar aylarında GüneyGüneybatı (SSW) ve Güneybatı (SW) yönlerinin hakim rüzgar yönü olduğu

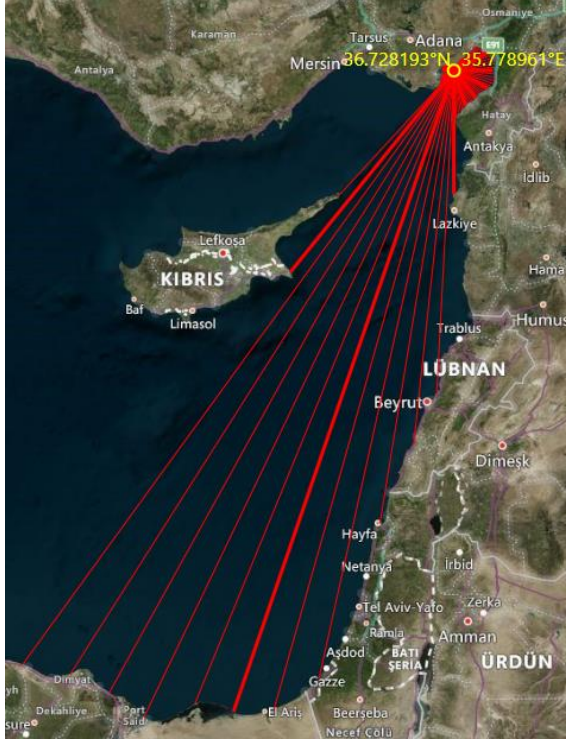
görülmektedir. Kış ayında ise Kuzey (N) yönü hakim rüzgar yönüdür.

Rüzgar iklimi değişimi

İklim değişiminin etkilerini saptayabilmek için Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'deki rüzgar verileri iki farklı zaman aralığına bölünerek incelenmiştir. İncelemede dikkate alınan rüzgar yönü lagünlerin su seviyesi üzerinde etkisi olan hakim denizel yöndür. Bu yön Yumurtalık Lagünü için Güney Güneybatı(SSW) yönüdür. İlk aralık verileri 2000-2010 yılları arasını kapsamaktadır. İkinci aralık ise 2010-2020 yılları verilerini kapsamaktadır. İlk aralığın yıllık ortalama rüzgar hızları ve ikinci aralığın yıllık ortalama rüzgar hızları kıyaslandığında 2000-2010 yılları arasındaki GüneyGüneybatı (SSW) yönü yıllık ortalama rüzgar hızı değeri 3,94 m/s, yıllık maksimum rüzgar hızı değeri ise 16,36 m/s olarak belirlenmiştir. 2010-2020 yılları arasındaki GüneyGüneybatı (SSW) yönü yıllık ortalama rüzgar hızı değeri ise 4,82 m/s, yıllık maksimum rüzgar hızı değeri ise 16,66 m/s olarak belirlenmiştir. Değerler karşılaştırıldığında iki zaman aralığındaki yıllık ortalama rüzgar hızında %22,35 artış, yıllık maksimum rüzgar hızında ise %2 artış gösterdiği belirlenmektedir.

4.1.2. Yumurtalık Lagünü dalga iklimi

Harita 4.2'de feç yönleri verilmiştir. Tüm yönlerdeki etkin kabarma mesafeleri HYDROTAM-3D (HYDROTAM-3D, 2023) aracılığıyla hesaplanmıştır. HYDROTAM-3D (HYDROTAM-3D, 2023) etkin feç uzunluğu için kosinüs ortalama metodunu uygulamaktadır (Balas, 2013). Tüm yönler için hesabı Çizelge 4.1'de verilmektedir. Noktanın en uzun feç mesafesinin GüneyGüneybatı (SSW) yönünde olduğu görülmektedir. Genellikle maksimum dalga yüksekliği feç mesafesinin en yüksek olduğu yönden beklenir.



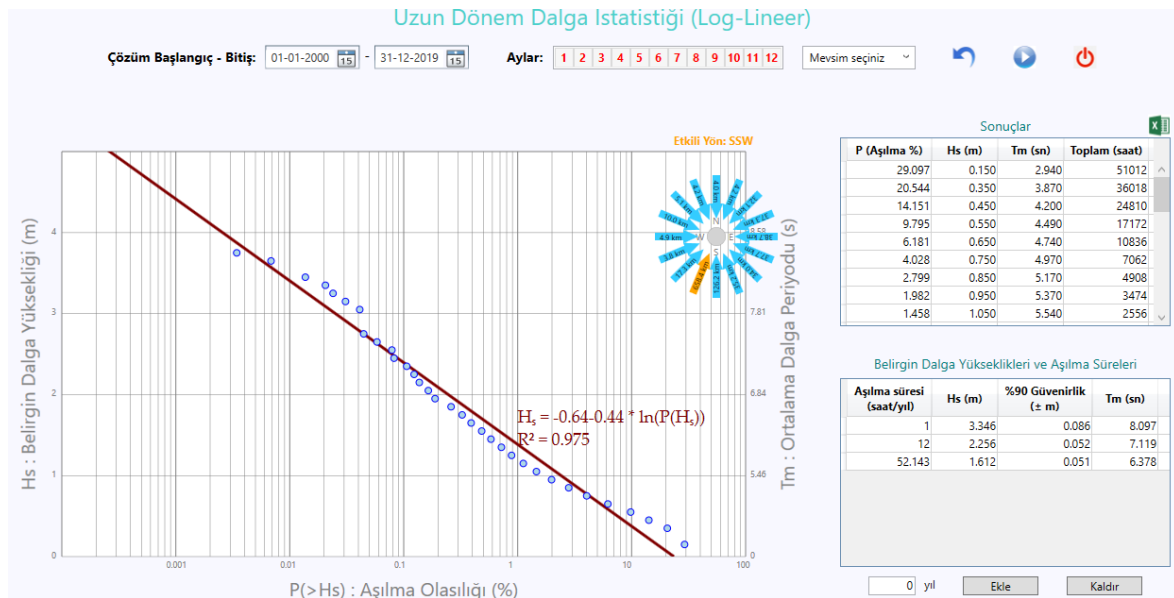
Harita 4.2. Yönlere göre dalga kabarma mesafeleri ("FEÇ") (HYDROTAM-3D, 2023)

Çizelge 4.1. 36.7° K- 35.8° G koordinatının yönlere göre efektif feç uzunluğu (HYDROTAM-3D, 2023)

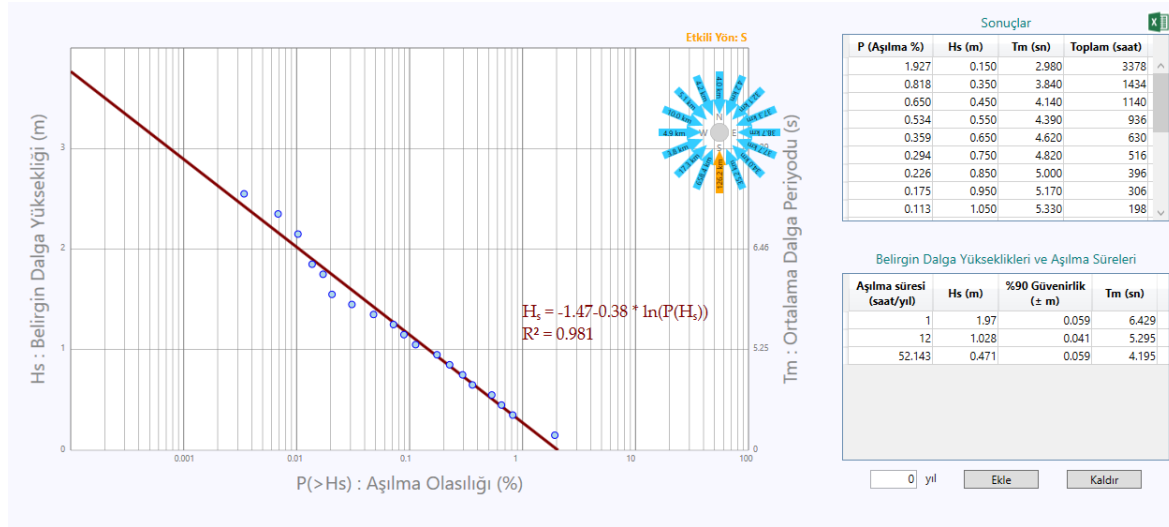
Efektif Feç Uzunlukları		
Yön	Açı	Feç Mesafesi(m)
N	0	4450,31
NNE	22,5	5374,88
NE	45	18635,33
ENE	67,5	34574,62
E	90	37571,5
ESE	112,5	35961,53
SE	135	32382,97
SSE	157,5	35202,61
S	180	190612,37
SSW	202,5	621833,91
SW	225	357951,64
WSW	247,5	10794,8
WSW	270	8508,48
WNW	292,5	8950,29
NW	315	5568,79
NNW	337,5	4870,63

Bölgenin coğrafi yapısından da beklendiği üzere efektif feç uzunluğu en fazla olan yön GüneyGüneybatı (SSW) yönüdür. Yaklaşık olarak 622 km uzunluğundadır.

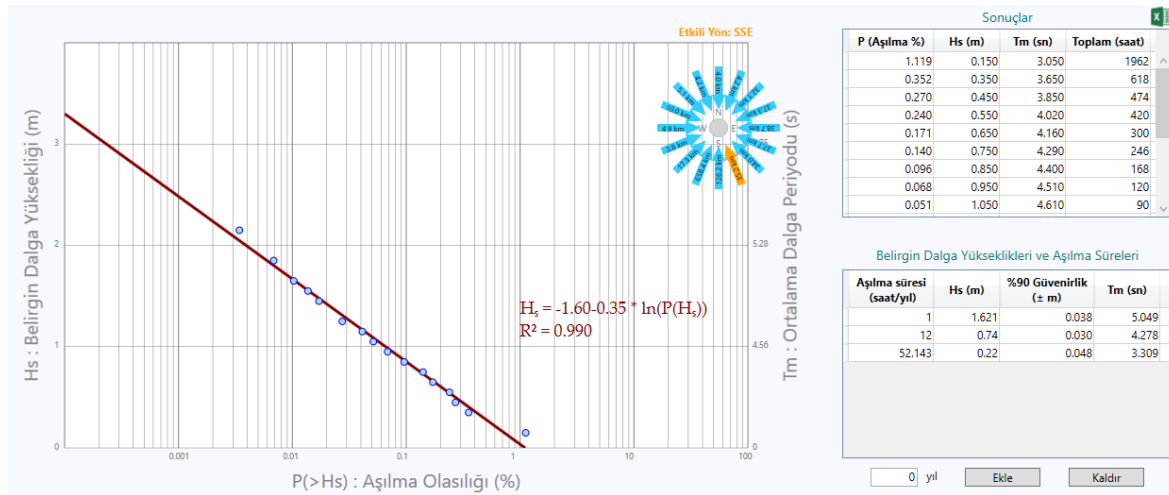
Dalga veri kaynağı olarak AOVHTM (ECMWF, 2022) Operasyonel Arşivi Akdeniz Baseni verileri kullanılmaktadır. Bu istasyonun veri aralığı 0,10 derecelik (11 km) gridler ile ölçüm verdiği için güven katsayısı yüksektir. Veri istasyonunun koordinatları, 36.7° Kuzey ve 35.8° Batı ve arşiv genişliği ise 2000-2020 yıllarını kapsamaktadır. Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te feç mesafesi en uzun olan üç yönün uzun dönem dalga istatistikleri verilmektedir.



Şekil 4.3. GüneyGüneybatı (SSW) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023)

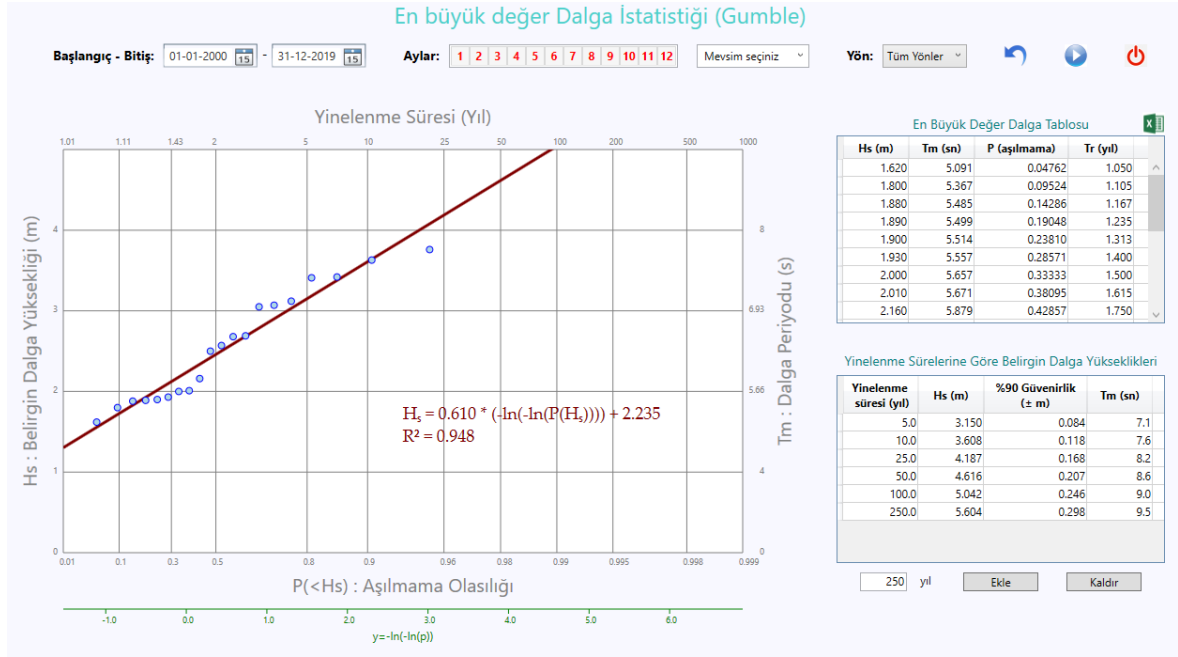


Şekil 4.4. Güney yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023)



Şekil 4.5. GüneyGüneyDoğu (SSE) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5 incelendiğinde belirgin dalga yönünün GüneyGüneybatı olduğu görülmektedir. Şekillerin sağ tarafında H_s değerinin aşılma süresini ve periyodu verilmektedir. Şekil 4.6'da ekstrem (en yüksek değer) dalga istatistiği kullanılarak elde edilen belirgin dalga yüksekliği değerleri verilmektedir.

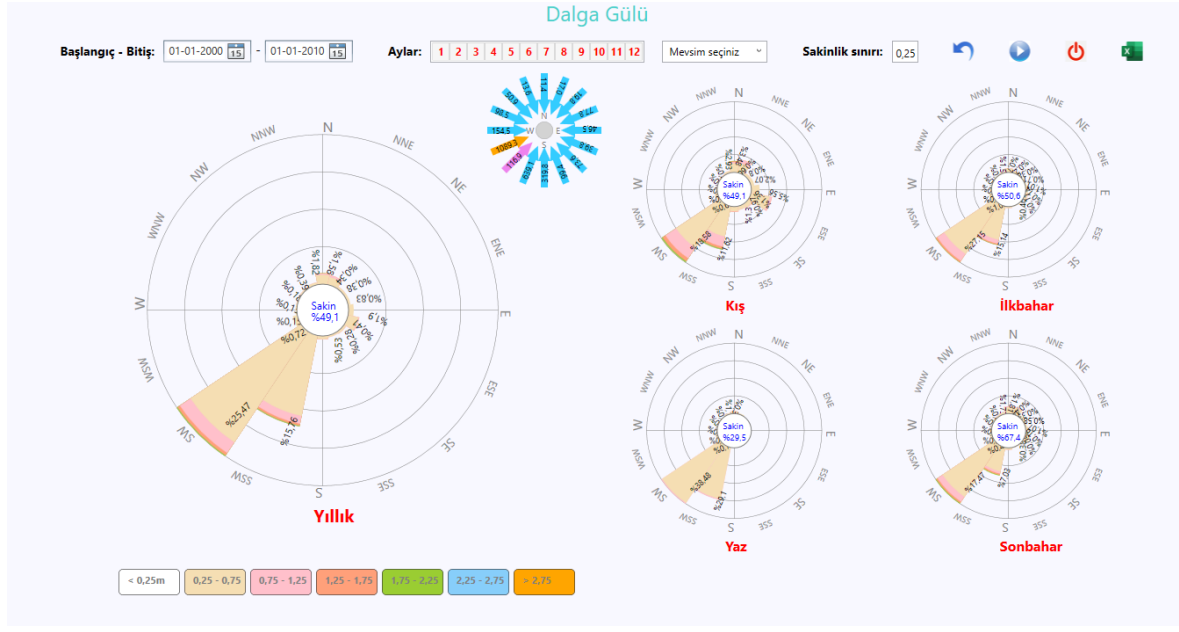


Şekil 4.6. Ekstrem (en yüksek değer) dalga istatistiği (Gumble dağılımı) (HYDROTAM-3D, 2023)

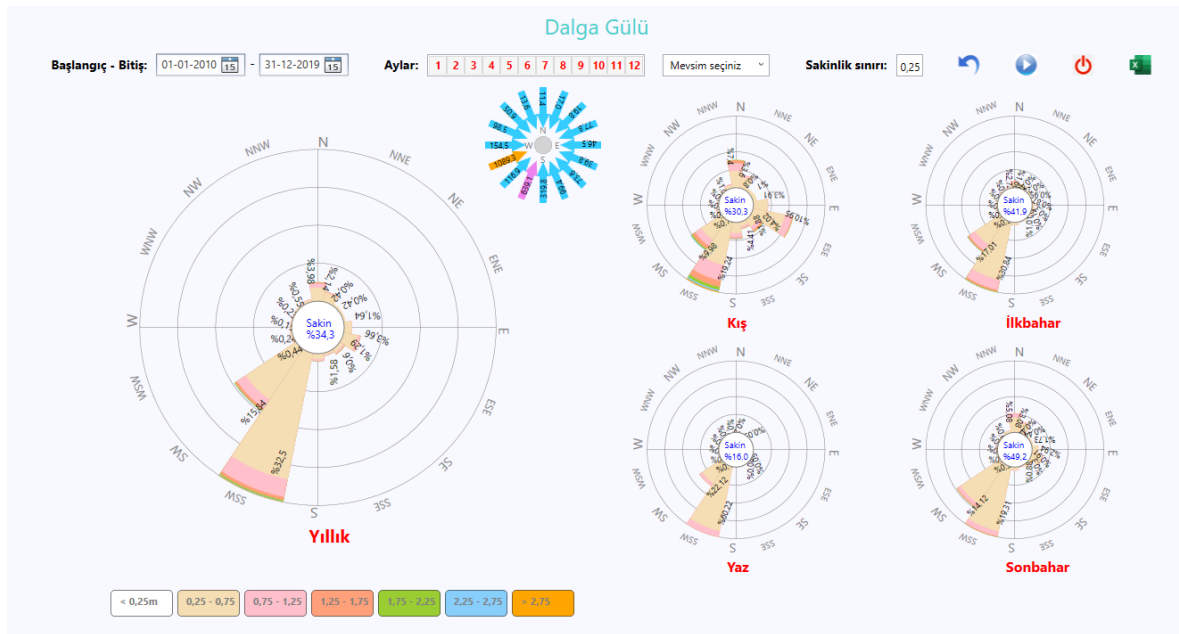
250 yıllık yinelenme süresi, iklim değişimi gibi etkisini uzun vadede gösteren olayları incelemek için seçilmiştir. Şekil 4.6 incelendiğinde 250 yıllık yinelenme süresinde oluşacak H_s değeri 5,60 m ve belirgin dalga periyodu 9,50 sn olarak hesaplanmıştır.

Dalga iklimi değişimi

İki zaman aralığına ait dalga gülleri Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmektedir.



Şekil 4.7. 01.01.2000-01.01.2010 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D, 2023)

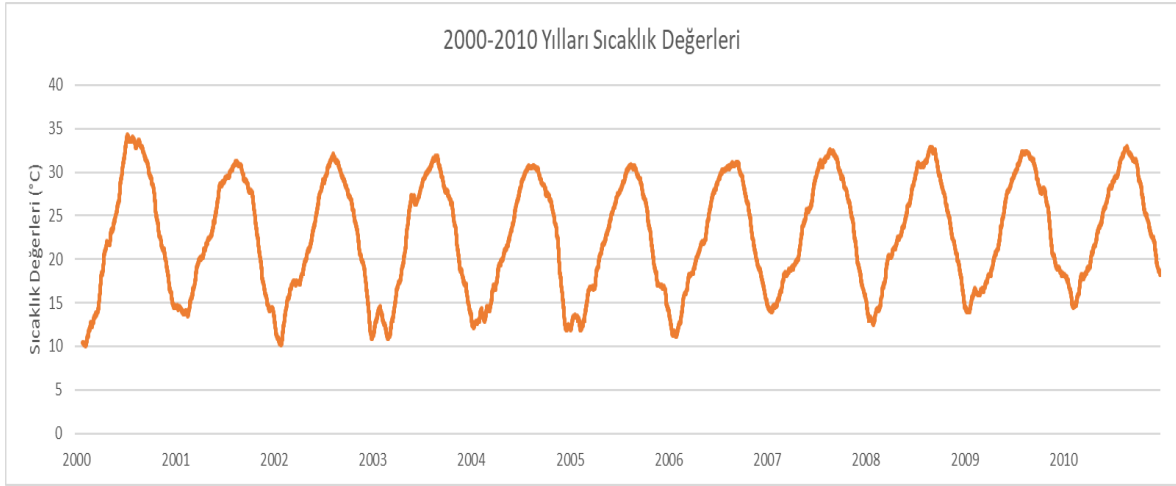


Şekil 4.8. 01.01.2010-01.01.2020 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.7 ve 4.8 incelendiğinde uzun dönem dalga iklimi modellemesi sonuçlarına göre ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin değişimi incelendiğinde ikinci on yıllık zaman aralığında Yumurtalık Lagününün belirgin dalga yüksekliği 0,31 metreden 0,40 metreye yükselerek %30 artış göstermiştir.

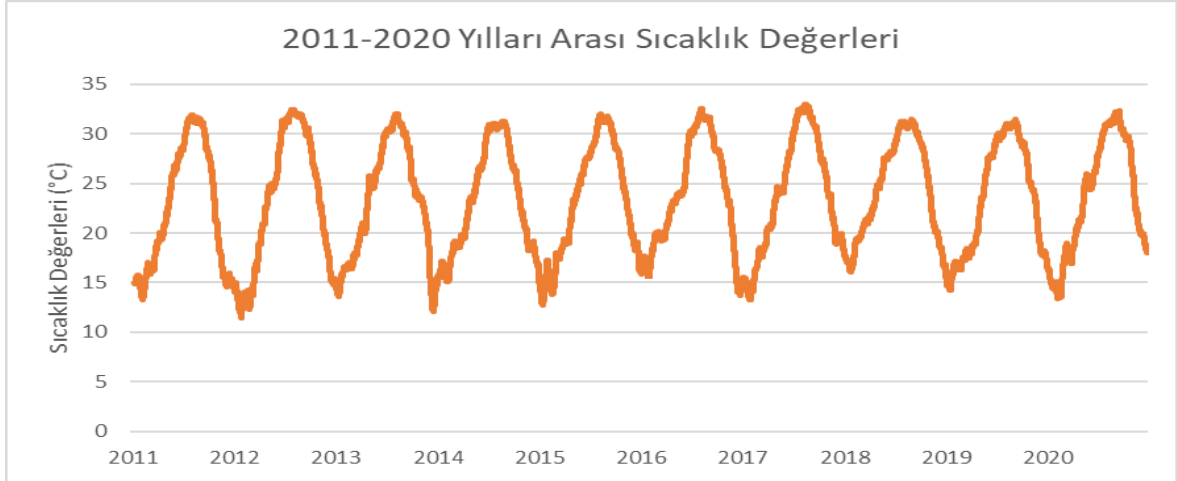
4.1.3. Yumurtalık Lagünü sıcaklık değişimi

Çalışma alanının kapsamlı analiz edilmesi amacıyla AOVHTM (ECMWF, 2022) veri tabanından alınan 2000-2020 yılları arasındaki sıcaklık değerlerinin incelenmesi yapılmıştır. Rüzgar ve dalga ikliminde olduğu gibi kıyas amacıyla sıcaklık değerleri de 2000-2010 ve 2010-2020 yılları şeklinde iki zaman aralığında incelenmiştir. Bölgenin 1. ve 2. zaman aralığında kış ve yıllık sıcaklık ortalamaları karşılaştırılmıştır. Veri sayısının çok olması sebebiyle sıcaklıkların yıllık ortalamaları hareketli ortalama ile grafikleştirilmiştir. Şekil 4.9'da 1. zaman aralığı (2000-2010) yılları arasındaki yıllık ortalama görülmektedir.



Şekil 4.9. 2000-2010 yılları arası sıcaklık değerleri

2000-2010 yılları arasındaki sıcaklık değerleri 30 ar günlük hareketli ortalamaları alınarak grafiğe dönüştürülmüştür. Sıcaklık değerleri 49,40 ile 0°C arasında değişmektedir. Şekil 4.9 incelendiğinde sıcaklık ortalamasının 22,67°C olduğu hesaplanmıştır. Şekil 4.10'da 2011-2020 yılları arası sıcaklık değişimi verilmektedir.



Şekil 4.10. 2010-2020 yılları arası sıcaklık değerleri

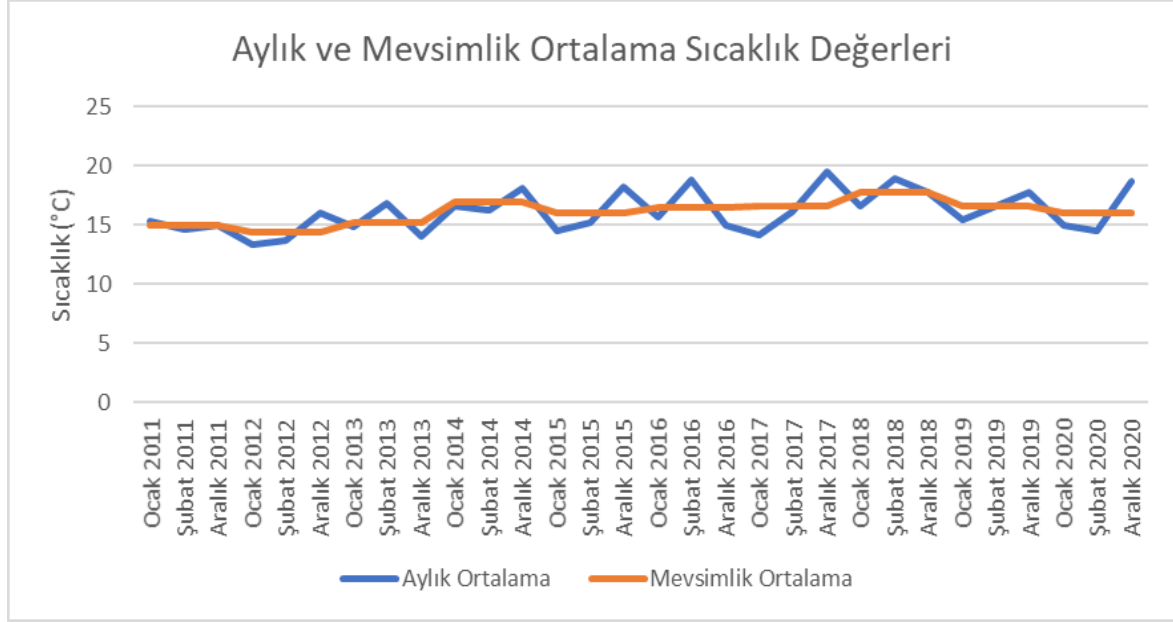
2010-2020 yılları arasındaki sıcaklık değerleri 30 ar günlük hareketli ortalamaları alınarak grafiğe dönüştürülmüştür. Sıcaklık değerleri 48,18 ile 0,01°C arasında değişmektedir. Şekil 4.10 incelendiğinde sıcaklık ortalamasının 23,35°C olduğu hesaplanmıştır. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 karşılaştırıldığında sıcaklık ortalamasının 2. Zaman aralığında arttığı görülmektedir. Sıcaklık ortalaması 0,68°C yani %3 artmıştır. 1. zaman aralığının kış ayları ve mevsimlik sıcaklık değerleri Şekil 4.11 'de verilmektedir.



Şekil 4.11. 2000-2010 yılları arası kış mevsimi sıcaklık değişimi

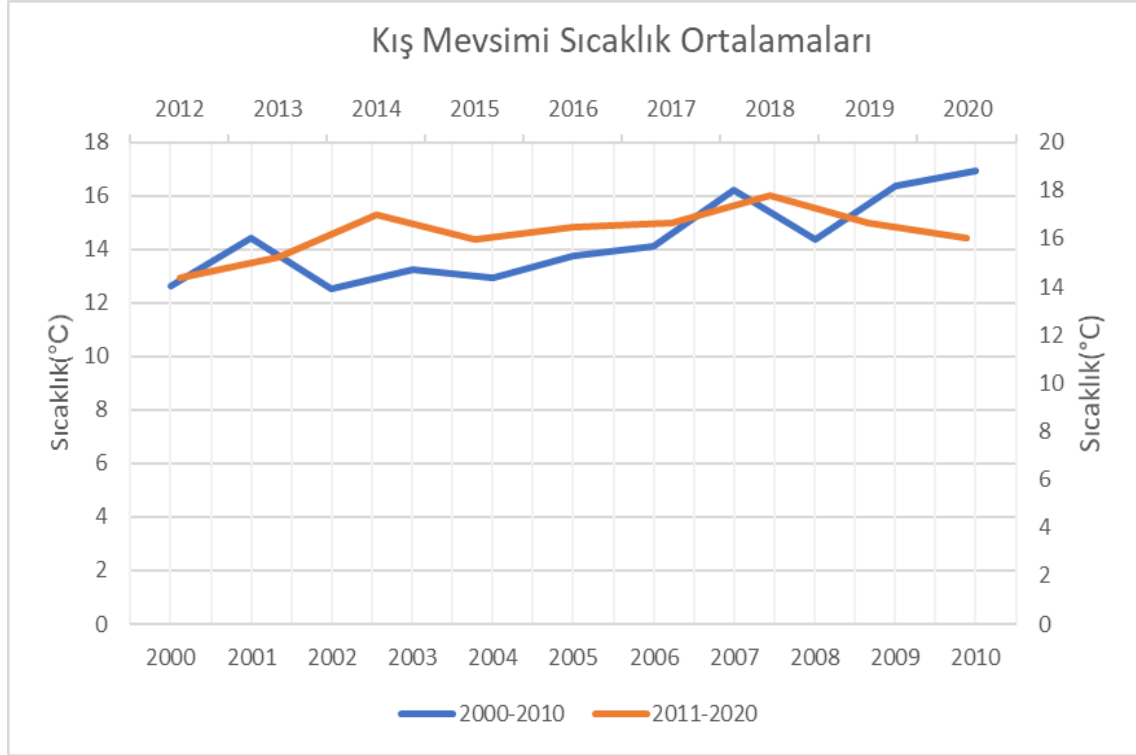
Şekil 4.11 incelendiğinde lagün aylık en yüksek sıcaklık ortalamasına 18,39°C ile 2010 yılının aralık ayında ulaştığı görülmektedir. Mevsimlik en yüksek ortalama ise 2010

yılının kış mevsiminde ($16,94^{\circ}\text{C}$) ulaşmaktadır. Şekil 4.12’de 2. zaman aralığı (2011-2020 yılları arası) sıcaklıkları verilmektedir.



Şekil 4.12. 2010-2020 yılları arası kış mevsimi sıcaklık değişimi

Şekil 4.12 incelendiğinde en yüksek aylık sıcaklık ortalamasının $19,50^{\circ}\text{C}$ ile 2017 aralık ayında olduğu, kış mevsiminin en yüksek sıcaklık ortalamasının $17,79^{\circ}\text{C}$ ile 2018 yılında olduğu görülmektedir. Sıcaklık değişimini görebilmek açısından Şekil 3.12’de iki zaman aralığının ortalama sıcaklık değerleri Şekil 4.13’te birleştirilmiştir.



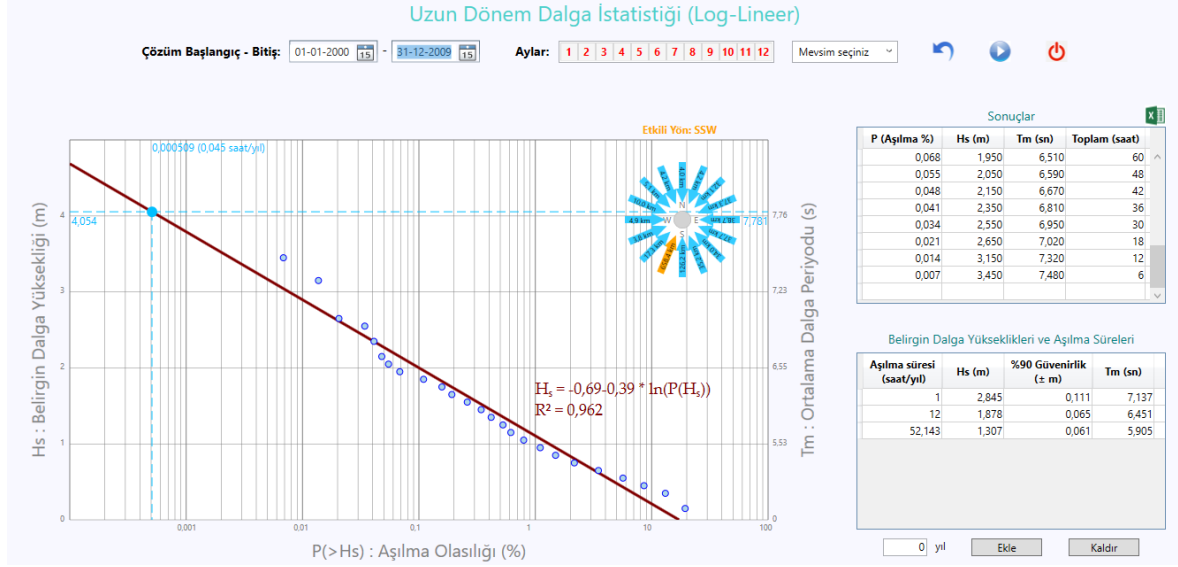
Şekil 4.13. Zaman aralıklarının ortalama sıcaklık değerleri

Şekil 4.13 incelendiğinde 2011-2020 yılları arasındaki kış mevsimi sıcaklık ortalamasının arttığı görülmektedir. 2000-2010 yılları arasındaki kış mevsimi sıcaklık ortalaması 14,32°C iken 2010-2020 yılları arasındaki kış mevsimi sıcaklık ortalaması 16,11°C'dir. İki zaman aralığının arasındaki sıcaklık farkı 1,79°C'dir. İki zaman aralığı ortalama sıcaklık değerlerinde %12,50 artış oluşmuştur.

4.1.4. Yumurtalık Lagünü fırtına kabarması

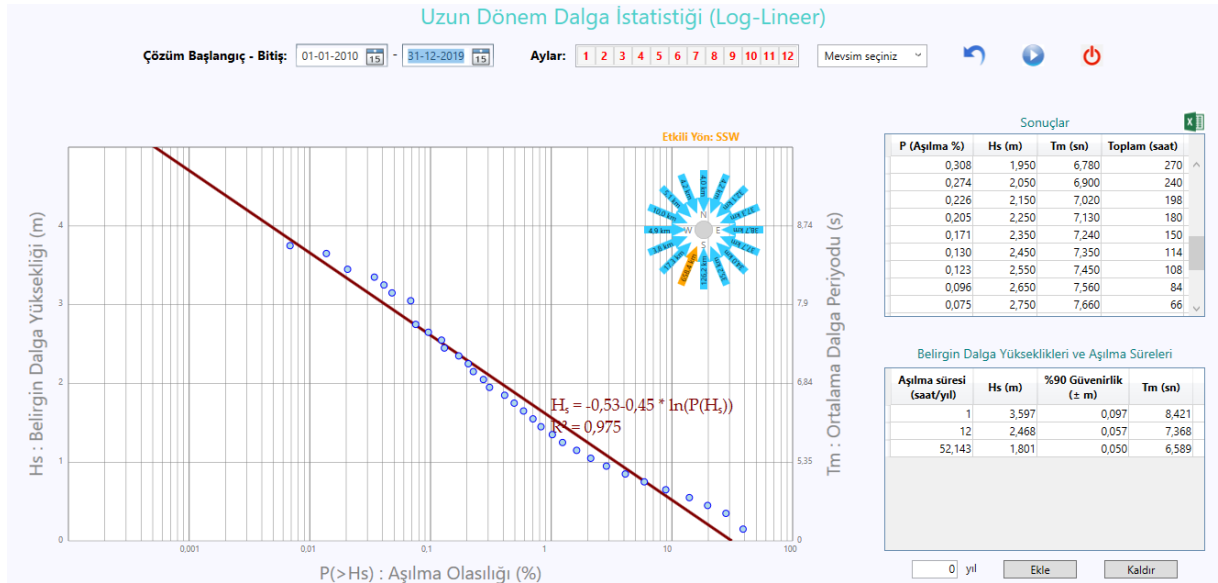
Yumurtalık Lagünü belirgin dalga yüksekliğine bağlı fırtına kabarması

Lagünün ilk zaman aralığındaki (2000-2010) uzun dönem dalga istatistiği Şekil 4.14'te verilmektedir.



Şekil 4.14. 2000-2010 yılları arası Yumurtalık Lagünü uzun dönem dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.14 incelendiğinde aşılma süresi 1 saat/yıl olan belirgin dalga yüksekliğinin 2,84 m olduğu görülmektedir. Fırtına kabarması için denizden esen etkin yön olan Güney Güneybatı (SSW) yönü kullanılmaktadır. Dalga yüksekliğinin %10'u olarak ifade ettiğimiz kabarma miktarı hesaplandığında kabarmanın belirgin dalga yüksekliğine bağlı değerinin 0,28 m olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.15'te 2. zaman aralığına ait uzun dönem dalga istatistiği verilmektedir.



Şekil 4.15. 2010-2020 yılları arası Yumurtalık Lagünü uzun dönem dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.15 incelendiğinde 1 saat/yıl aşılma süresine sahip belirgin dalga yüksekliğinin 3,59 m olduğu görülmektedir. Kabarma miktarı ise 0,35 m olarak hesaplanmıştır. İki zaman aralığı kıyaslandığında 1 saat/yıl aşılma olasılığına sahip dalgaların fırtına kabarması değerinde %25 artış hesaplanmıştır.

Yumurtalık Lagünü rüzgar hızına bağlı fırtına kabarması

Lagün içerisinde fırtına kabarması genliği hesaplanırken, bu nokta için iki zaman aralığının rüzgar hızları dikkate alınıp su derinliği ölçüm verilerinin yılları boyunca değişkenlik göstermediği kabul edilmiştir. Kabarmaya sebep olan rüzgarların denizden esen yönde olması gerekmektedir. Bu nedenle 19 yıllık verilerde deniz tarafından esen ve en yüksek değerlere sahip olan iki yönün ortalama rüzgar hızları kullanılmıştır. Çizelge 4.2’de rüzgar hızlarının değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.2. Yıllara göre hakim yönlerin rüzgar hızı ortalamaları

Yıl	Esme Yönü	Rüzgar Hızı(m/s)
2000	SSW	5,67
2001	SW	6,14
2002	SW	5,63
2003	SSW	6,24
2004	SSW	6,67
2005	SW	5,98
2006	SSW	6,96
2007	SW	7,16
2008	SSW	6,8
2009	SW	7,06
2010	SW	6,99
2011	SW	6,58
2012	SW	7,22
2013	SW	7,07
2014	SW	6,9
2015	SW	7,19
2016	SW	7,52
2017	SW	7,3
2018	SW	7,56
2019	SSW	7,54

2000-2010 yılları arasındaki rüzgar hızı ortalamasının 6,43 m/s, 2010-2020 yılları arasındaki rüzgar hızı ortalamasının ise 7,18 m/s olduğu belirlenmiştir. Fırtına kabarması rüzgar hızının karesi ile orantılı olduğundan iki zaman aralığının kabarma büyüklüğü

arasında %24,89'lük fark oluşmuştur. Genlikteki artış su seviyesinde artışa neden olmaktadır.

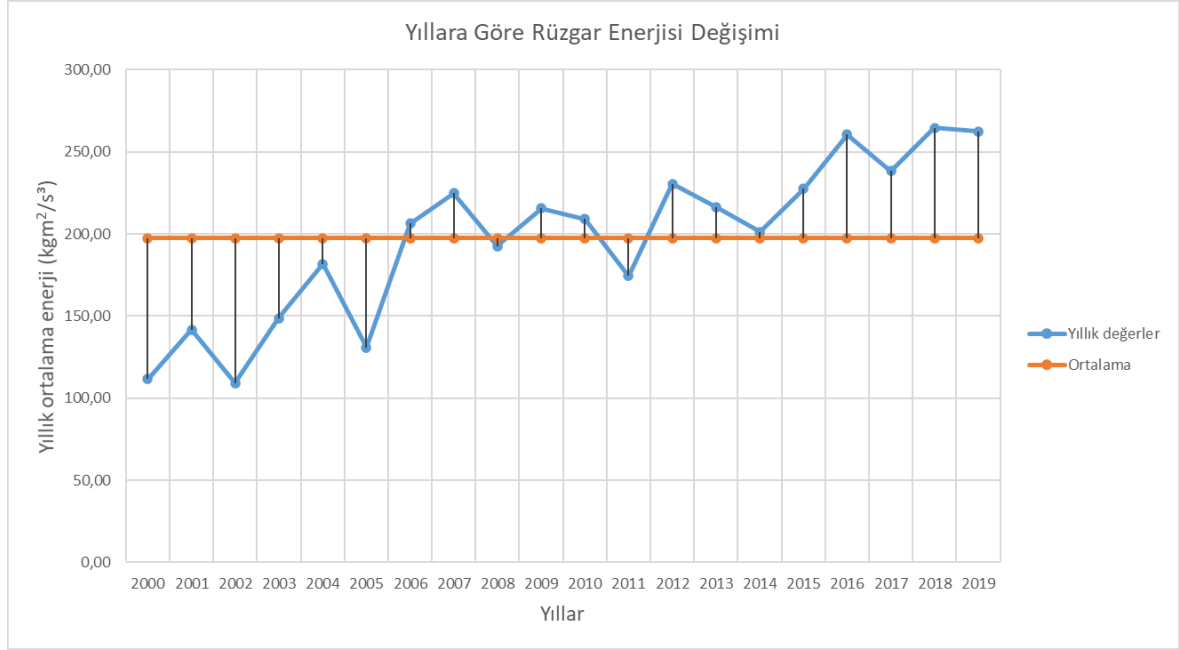
Yumurtalık Lagünü rüzgar enerjisi

2000-2020 yıllarına ait hakim rüzgar yönünde, fırtına kabarmasına neden olan rüzgarların hız değerleri ve enerjileri Çizelge 4.3'te verilmektedir.

Çizelge 4.3. Yıllara göre rüzgar enerjileri

Yıl	Esme Yönü	Rüzgar Hızı(m/s)	Rüzgar Enerjisi(kgm ² /s ³)
2000	SSW	5,67	111,65
2001	SW	6,14	141,78
2002	SW	5,63	109,3
2003	SSW	6,24	148,82
2004	SSW	6,67	181,75
2005	SW	5,98	130,98
2006	SSW	6,96	206,51
2007	SW	7,16	224,83
2008	SSW	6,8	192,59
2009	SW	7,06	215,54
2010	SW	6,99	209,19
2011	SW	6,58	174,5
2012	SW	7,22	230,52
2013	SW	7,07	216,45
2014	SW	6,9	201,21
2015	SW	7,19	227,66
2016	SW	7,52	260,47
2017	SW	7,3	238,27
2018	SW	7,56	264,65
2019	SSW	7,54	262,55

Çizelge 4.3'teki veriler ile oluşturulan rüzgar enerjisi değişimi Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. 2000-2020 yılları arası rüzgar enerjileri

Şekil 4.16 incelendiğinde 2012 yılından itibaren fırtına kabarmasına neden olan deniz tarafından esen rüzgarların enerji ortalamalarında artış olduğu görülmektedir. 2000-2020 yılları arasındaki rüzgar hızlarının ortalamalarının enerjisi $197,46 \text{ kgm}^2/\text{sn}^3$ olarak hesaplanmıştır. 2012 yılından itibaren rüzgar enerjisi değerleri ortalamanın üstünde seyretmektedir. Bu hesap rüzgar hızından kaynaklanan fırtına kabarması miktarında artış olacağı yorumuna götürmektedir. Fırtına kabarmasındaki artış su seviyesini doğrudan etkilemektedir.

Yumurtalık Lagünü fırtına kabarmasına bağlı su seviyesi değişimi

Yumurtalık lagününün dalga ve rüzgar iklimine bağlı fırtına kabarması değerleri 3 farklı yaklaşım ile hesaplanmıştır. Belirgin dalga yüksekliği kullanılarak kabarma miktarının hesaplandığı yaklaşımda uzun dönem dalga istatistiğinden faydalanılmıştır. Dalga istatistiği verilerinden fırtına kabarması hesabından kullanılacak değer 1 saat/yıl aşılma olasılığına sahip belirgin dalga yüksekliğidir. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla uzun dönem dalga istatistiğinde kullanılan veriler iki zaman aralığına bölünmüş ve ilk zaman aralığı verileri 2000-2010 yıllarını kapsamaktadır. Şekil 4.14'te ilk zaman aralığında 1 saat/yıl aşılma olasılığına sahip belirgin dalga yüksekliği değeri verilmektedir. Bu değer 2,84 metredir. Fırtına kabarması miktarı belirgin dalga yüksekliğinin %10'u ile hesaplanmaktadır. 2000-2010 yılları arası kabarma miktarı 0,28 metredir. İkinci zaman aralığı verileri 2010-2020

yıllarını kapsamaktadır. Şekil 4.15'te ikinci zaman aralığına ait uzun dönem dalga istatistiği verilmektedir. İkinci zaman aralığında 1 saat/yıl aşma olasılığına sahip dalga yüksekliği 3,59 metredir. Kabarma miktarı ise 0,35 metre olarak hesaplanmıştır. İki zaman aralığına ait kabarma miktarları karşılaştırıldığında 2. zaman aralığında kabarma miktarı %25 artış göstermektedir. Lagünün rüzgar iklimine bağlı kabarma hesabı yapılırken 2 farklı yaklaşım kullanılmıştır. Bunlardan birincisi kabarma büyüklüğü hesabıdır. Kabarma hesabında rüzgar hızının karesine bağlı değişen kabarma değerleri hesaplanmış ve bu değerler iki zaman aralığına bölünerek karşılaştırılmıştır. Birinci zaman aralığı olan 2000-2010 yılları arasındaki rüzgar hızlarının ortalaması 6,43 m/s hesaplanmıştır. İkinci zaman aralığı ise 2010-2020 yıllarını kapsamakta ve rüzgar hızlarının ortalaması ise 7,18 m/s olarak hesaplanmıştır. İkinci zaman aralığında kabarma değeri %24,89 artmıştır. Rüzgar ikliminden yararlanılarak yapılan bir diğer kabarma yüksekliği analizinde ise rüzgar enerjisinden faydalanılmıştır. Rüzgar enerjisindeki artış kabarma miktarında artış olacağı yorumunun yapılmasını sağladığı için lagünün su seviyesi değişimini yorumlamak adına yıllık rüzgar enerjileri hesaplanmış ve 2000-2020 yılları arasındaki rüzgar enerjileri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Hesaplanan değerler sonucu 2012 yılından itibaren rüzgar enerjilerinin 19 yıllık rüzgar enerjisi ortalamasının üzerinde seyrettiği görülmüştür. Maksimum rüzgar enerjisine ise 2018 yılında ulaşılmıştır. Rüzgar enerjiler iki zaman aralığına bölünürse ilk zaman aralığı olan 2000-2010 yılları arası rüzgar enerjisi ortalaması $166,37 \text{ kgm}^2/\text{sn}^3$ hesaplanmıştır. 2010-2020 yılları arasındaki rüzgar enerjisi ortalaması ise $228,54 \text{ kgm}^2/\text{sn}^3$ hesaplanmıştır. İkinci zaman aralığının rüzgar enerjileri ortalaması birinci zaman aralığına göre %37,36 artış göstermiştir. Bu üç yaklaşımla elde edilen sonuçlar Yumurtalık Lagününün fırtına kabarması etkisiyle su seviyesinde yukarı yönlü değişim olacağına dair yorum yapılmasını sağlamaktadır. Artan belirgin dalga yüksekliği değerleri, rüzgar hızındaki artış ve dolayısıyla rüzgar enerjisi lagün içerisine denizden giren suyun hacminin artacağını göstermektedir.

4.2. Akyatan Lagünü Modelleme Sonuçları

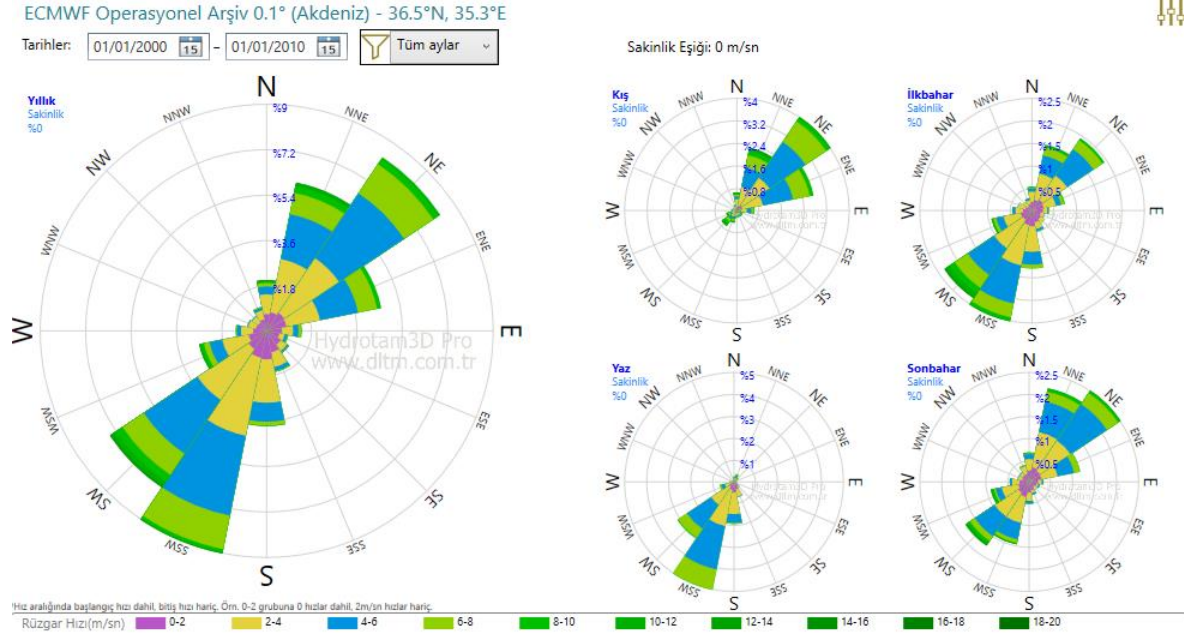
4.2.1. Akyatan Lagünü rüzgar iklimi

Çalışma bölgesinin rüzgar ikliminin belirlenebilmesi AOVHTM (ECMWF, 2022) Operasyonel Arşiv 0.1° (Akdeniz) verileri incelenmiştir. İstasyon verileri 2000-2020 yılları arasını kapsamaktadır. Harita 4.3'te seçilen noktanın konumu verilmektedir.



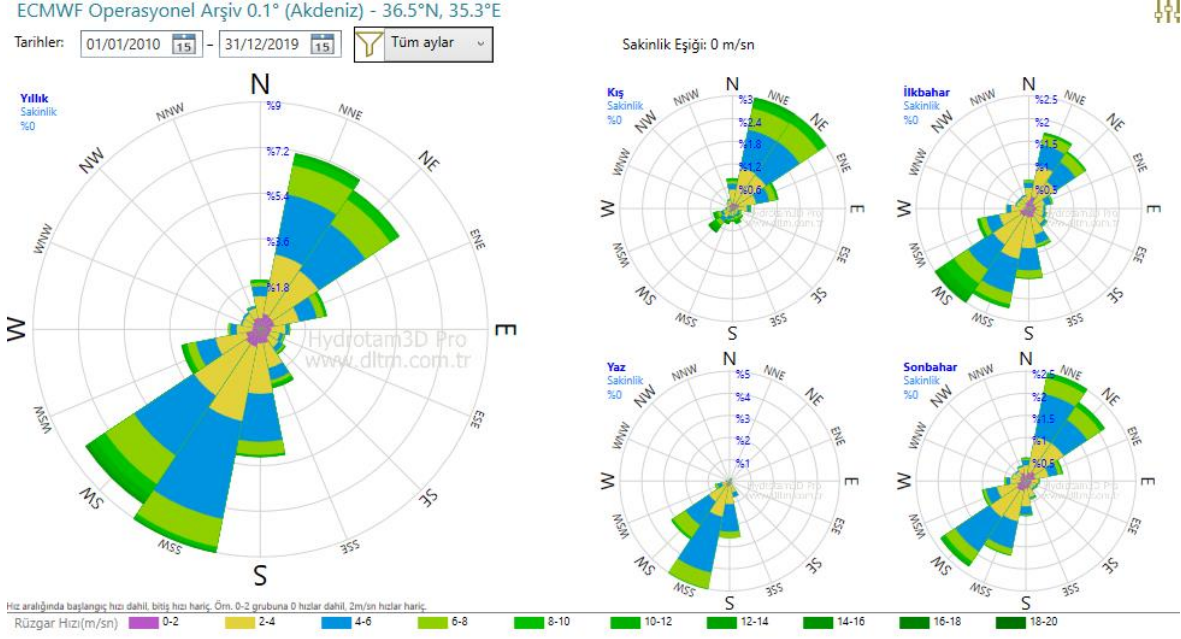
Harita 4.3. AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi Akdeniz ağının konumu
(36.5°K, 35.3°G) (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.17'de noktaya ait 2000-2010 yılları verilerini içeren rüzgar gülleri verilmektedir.



Şekil 4.17. 01.01.2000-01.01.2010 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik rüzgar gülleri (HYDROTAM-3D, 2023)

2000-2010 yılları arasındaki veriler incelendiğinde hakim rüzgar yönünün Güneybatı (SW) ve Güney Güneybatı (SSW) olduğu görülmektedir. İlkbahar ve yaz mevsiminde Güneybatı (SW) ve Güney Güneybatı (SSW) hakim yön iken kış ve sonbahar mevsiminde Kuzeydoğu (NE) ve Doğu Kuzeydoğu (ENE) yönü hakim rüzgar yönüdür. Şekil 4.18’de noktaya ait 2010-2020 yılları verilerini içeren rüzgar gülleri verilmektedir.



Şekil 4.18. 01.01.2010-01.01.2020 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik rüzgar gülleri (HYDROTAM-3D, 2023)

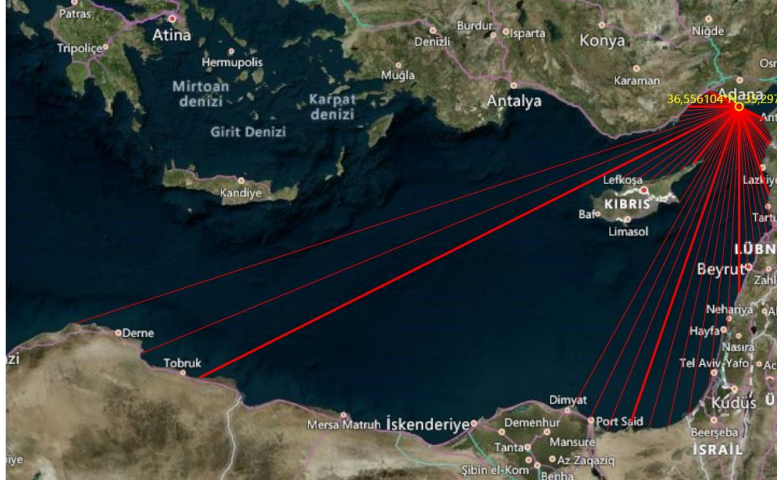
Şekil 4.18 incelendiğinde lagünün 2010-2020 yılları arasında ilkbahar ve yaz aylarında GüneyGüneybatı (SSW) ve Güneybatı (SW) yönlerinin hakim rüzgar yönü olduğu görülmektedir. Kış ayında ise KuzeyDoğu (NE) yönü hakim rüzgar yönüdür.

Rüzgar iklimi değişimi

İklim değişiminin etkilerini saptayabilmek için Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'deki rüzgar verileri iki farklı zaman aralığına bölünerek incelenmiştir. İncelemede dikkate alınan rüzgar yönü lagünlerin su seviyesi üzerinde etkisi olan hakim denizel yöndür Bu yön Akyatan Lagünü için Güneybatı(SW) yönüdür. İlk aralık verileri 2000-2010 yılları arasını kapsamaktadır. İkinci aralık ise 2010-2020 yılları verilerini kapsamaktadır. İlk aralığın yıllık ortalama rüzgar hızları ve ikinci aralığın yıllık ortalama rüzgar hızları kıyaslandığında 2000-2010 yılları arasındaki Güney Güneybatı(SSW) yönü yıllık ortalama rüzgar hızı değeri 4,22 m/s, yıllık maksimum rüzgar hızı değeri ise 14,96 m/s olarak belirlenmiştir. 2010-2020 yılları arasındaki Güney Güneybatı(SSW) yönü yıllık ortalama rüzgar hızı değeri ise 4,42 m/s, yıllık maksimum rüzgar hızı değeri ise 16,80 m/s olarak belirlenmiştir Değerler karşılaştırıldığında iki zaman aralığındaki yıllık ortalama rüzgar hızında %4,80 artış, yıllık maksimum rüzgar hızında ise %12,30 artış gösterdiği belirlenmektedir.

4.2.2. Akyatan Lagünü dalga iklimi

Harita 4.4'te feç yönleri verilmiştir.



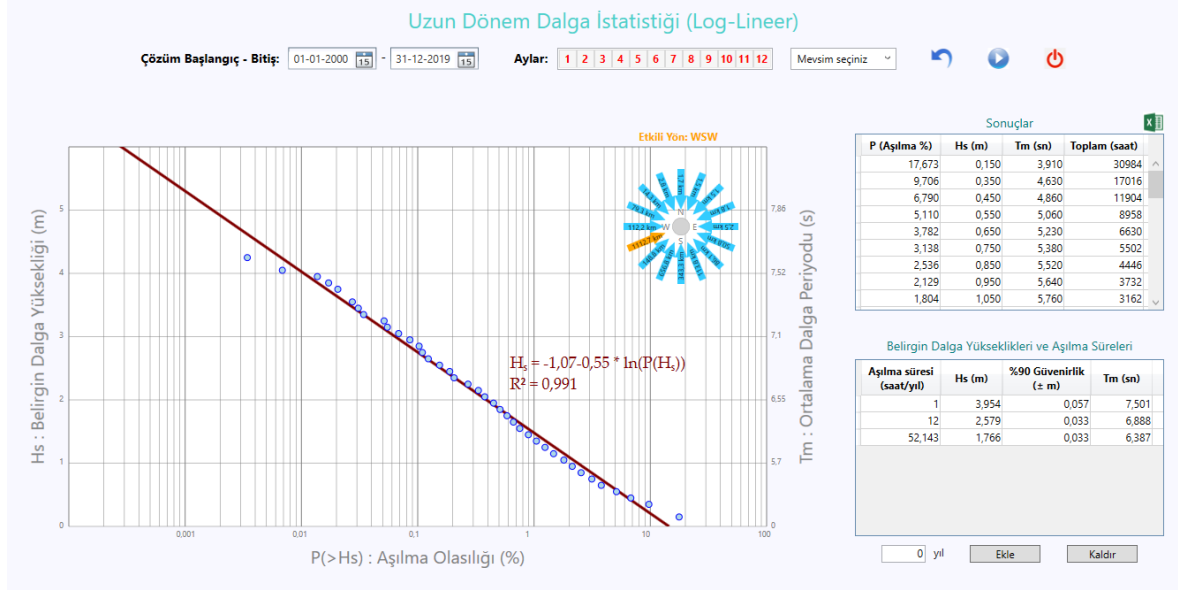
Harita 4.4. Yönlere göre dalga kabarma mesafeleri (“FEÇ”) (HYDROTAM-3D, 2023)

Tüm yönlerdeki etkin kabarma mesafeleri HYDROTAM- 3D (HYDROTAM-3D, 2023) aracılığıyla hesaplanmıştır. Tüm yönler için feç hesabı Çizelge 4.4'te verilmektedir. Noktanın en uzun feç mesafesinin BatıGüneybatı (WSW) yönünde olduğu görülmektedir. Genellikle maksimum dalga yüksekliği feç mesafesinin en yüksek olduğu yönden beklenir.

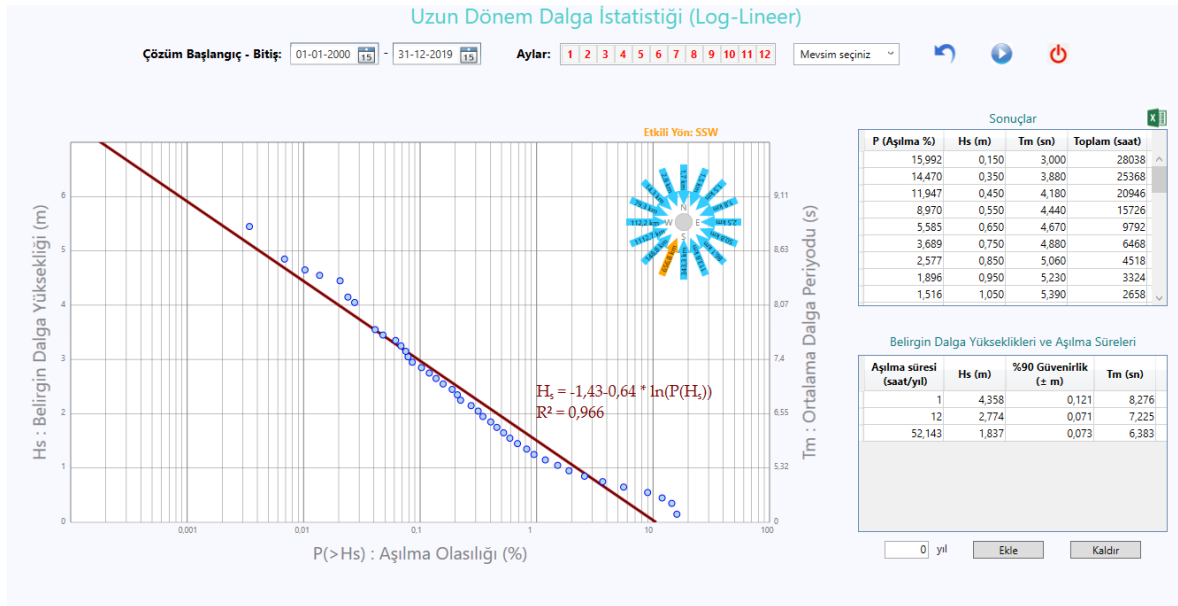
Çizelge 4.4. 36.5°K- 35.3°G koordinatının yönlere göre efektif feç uzunluğu (HYDROTAM-3D, 2023)

Efektif Feç Uzunlukları		
Yön	Açı	Feç Mesafesi(m)
N	0	1638,73
NNE	22,5	1436,85
NE	45	1409,19
ENE	67,5	1635,58
E	90	2627,30
ESE	112,5	34160,28
SE	135	87136,75
SSE	157,5	171901,78
S	180	380685,47
SSW	202,5	623931,67
SW	225	233481,41
WSW	247,5	633246,25
WSW	270	93054,95
WNW	292,5	46861,63
NW	315	4825,70
NNW	337,5	2188,20

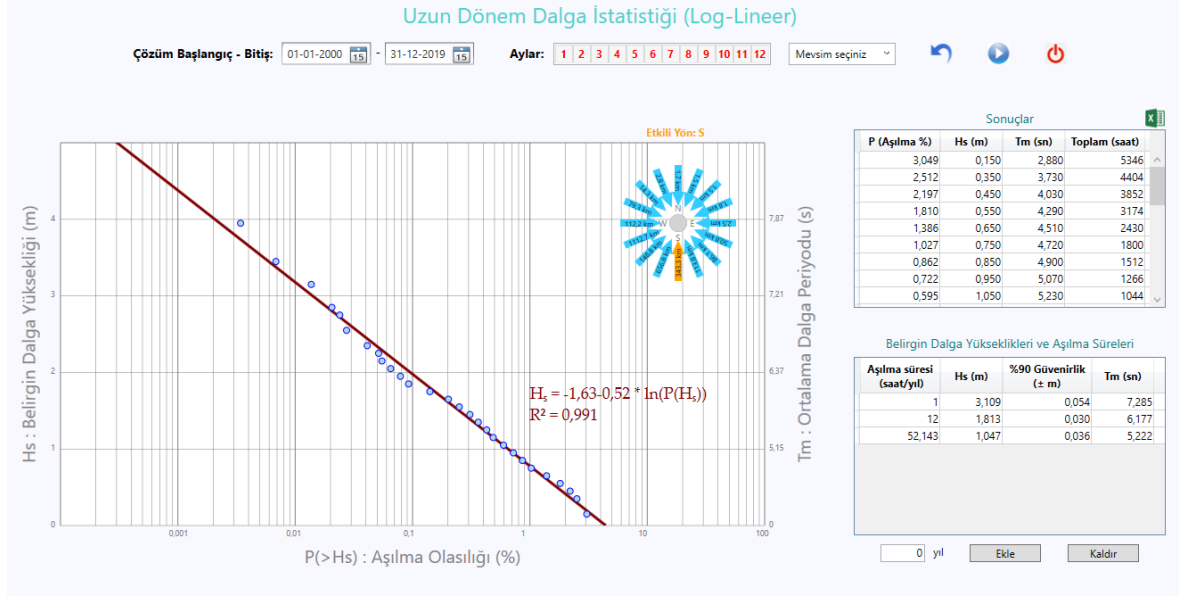
Bölgenin coğrafi yapısından da beklendiği üzere efektif feç uzunluğu en fazla olan yön BatıGüneybatı (WSW) yönüdür. Yaklaşık olarak 634 km uzunluğundadır. Dalga veri kaynağı olarak AOVHTM (ECMWF, 2022) Operasyonel Arşivi Akdeniz Baseni verileri kullanılmaktadır. Bu istasyonun veri aralığı 0,1 derece (11 km) lik gridler ile ölçüm verdiği için güven katsayısı yüksektir. Veri istasyonunun koordinatları, 36.6° Kuzey ve 35.3° Batı ve arşiv genişliği ise 2000-2020 yıllarını kapsamaktadır. Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de feç mesafesi en uzun olan üç yönün uzun dönem dalga istatistikleri verilmektedir.



Şekil 4.19. BatıGüneybatı (WSW) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023)

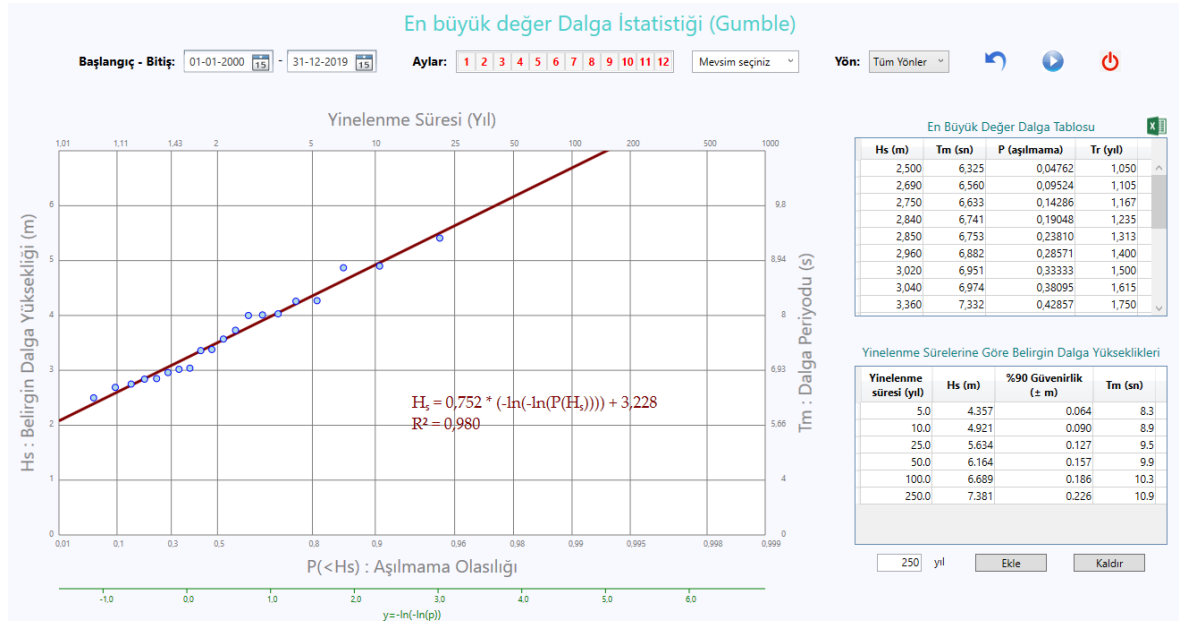


Şekil 4.20. GüneyGüneybatı (SSW) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023)



Şekil 4.21. Güney (S) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21 incelendiğinde belirgin dalga yönünün BatıGüneybatı (WSW) olduğu görülmektedir. Şekillerin sağ tarafında Hs değerinin aşılma süresini ve periyodu verilmektedir. Şekil 4.22’de ekstrem (en yüksek değer) dalga istatistiği kullanılarak elde edilen belirgin dalga yüksekliği değerleri verilmektedir.

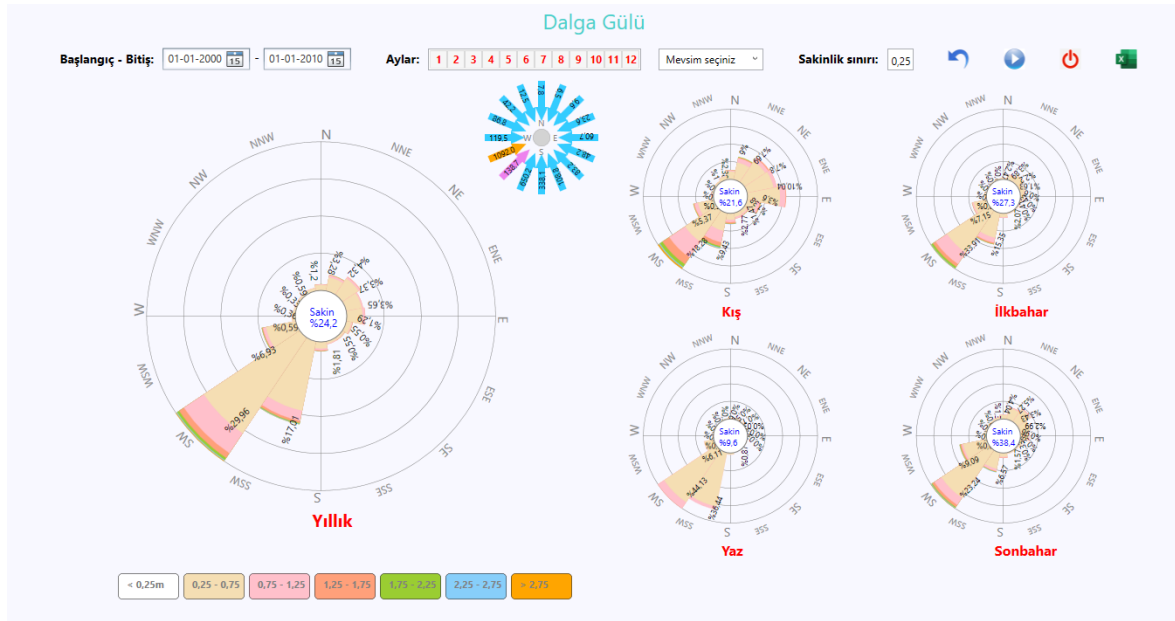


Şekil 4.22. Ekstrem (en yüksek değer) dalga istatistiği (Gumble dağılımı) (HYDROTAM-3D, 2023)

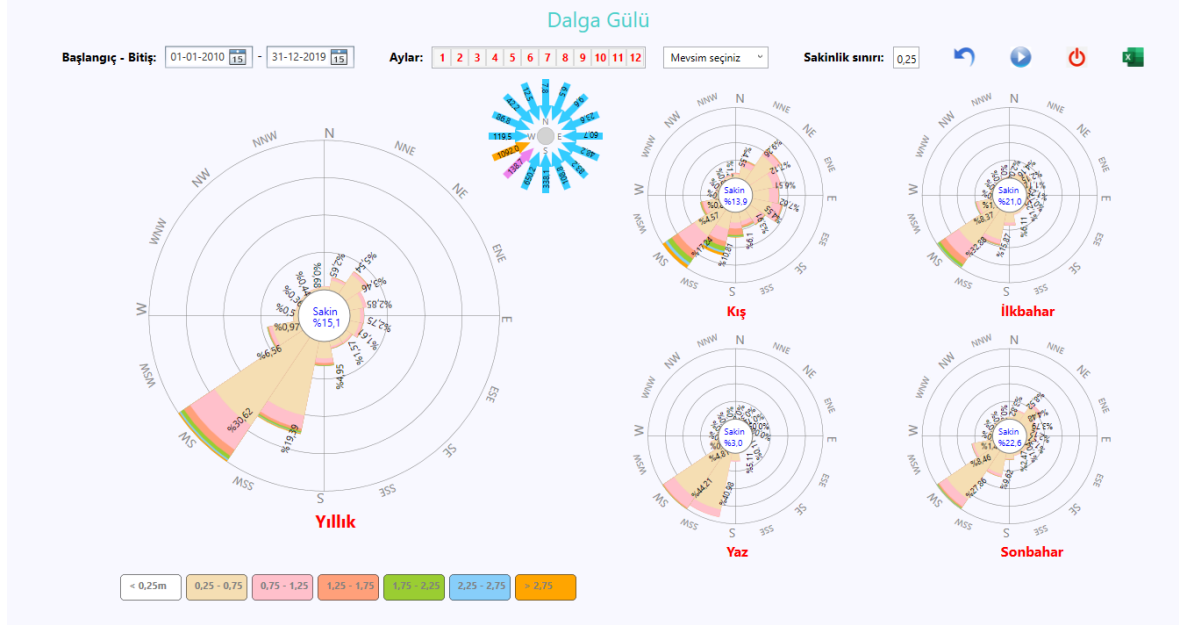
250 yıllık yinelenme süresi, iklim değişimi gibi etkisini uzun vadede gösteren olayları incelemek için seçilmiştir. Şekil 4.22 incelendiğinde 250 yıllık yinelenme süresinde oluşacak H_s değeri 7,38 m ve belirgin dalga periyodu 10,90 sn olarak hesaplanmıştır.

Dalga iklimi değişimi

İki zaman aralıklarına ait dalga gülleri Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te verilmektedir.



Şekil 4.23. 01.01.2000-01.01.2010 Yılları Arası operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D, 2023)

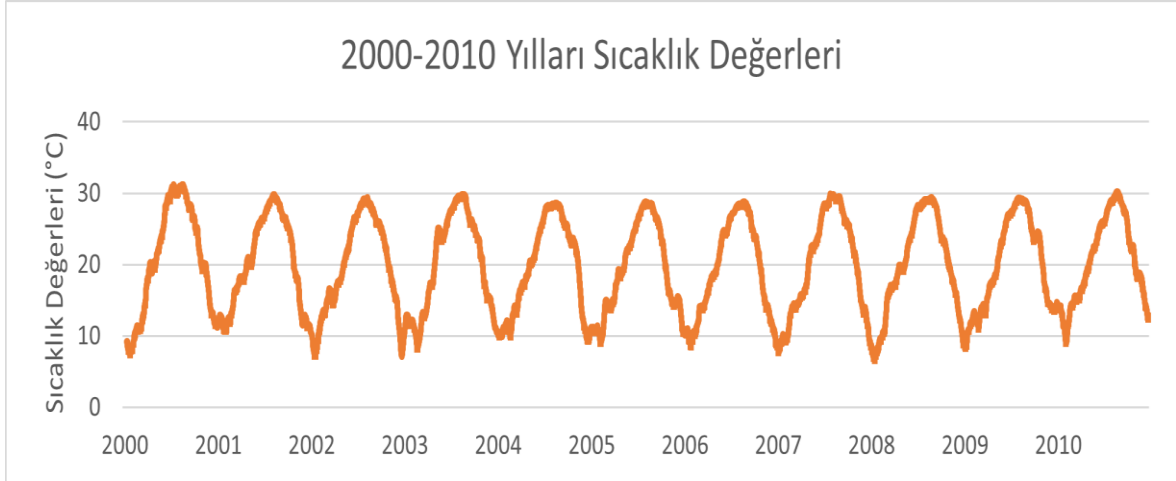


Şekil 4.24. 01.01.2010-01.01.2020 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.23 ve 4.24 incelendiğinde uzun dönem dalga iklimi modellemesi sonuçlarına göre ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin değişimi incelendiğinde ikinci on yıllık zaman aralığında Akyatan Lagününün belirgin dalga yüksekliği 0,46 metreden 0,56 metreye yükselerek %22 artış göstermiştir.

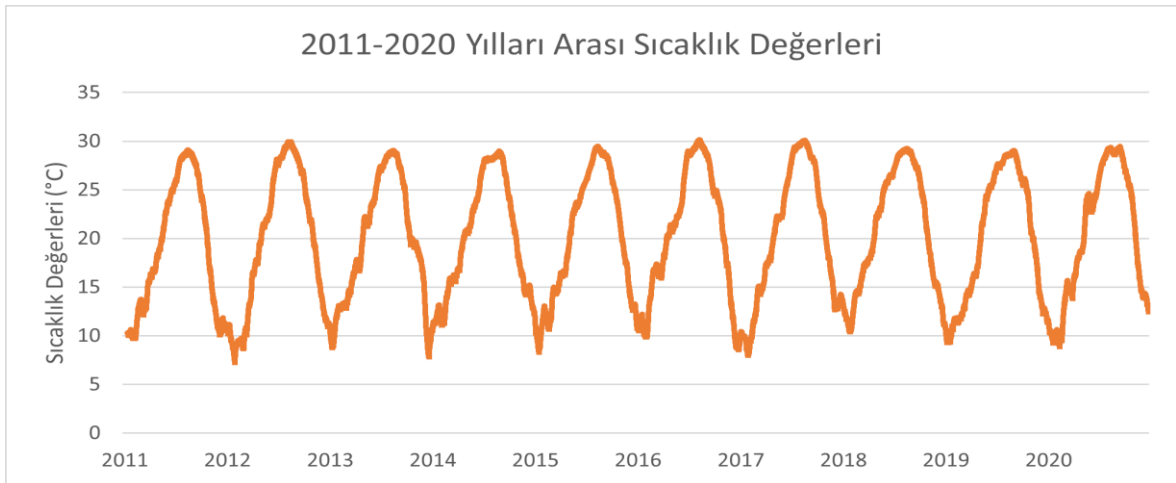
4.2.3. Akyatan Lagünü sıcaklık değişimi

Çalışma alanının kapsamlı analiz edilmesi amacıyla AOVHTM (ECMWF, 2022) veri tabanından alınan 2000-2020 yılları arasındaki sıcaklık değerlerinin incelemesi yapılmıştır. Rüzgar ikliminde olduğu gibi kıyas amacıyla sıcaklık değerleri de 2000-2010 ve 2011-2020 yılları şeklinde iki zaman aralığında incelenmiştir. Bölgenin 1. ve 2. zaman aralığındaki kış ve yıllık sıcaklık ortalamaları karşılaştırılmıştır. Veri sayısının çok olması sebebiyle zaman aralıklarının yıllık ortalamaları hareketli ortalama ile grafikleştirilmiştir. Şekil 4.25'te 1. zaman aralığı olan (2000-2010) yılları arasındaki yıllık ortalama görülmektedir.



Şekil 4.25. 2000-2010 yılları arası sıcaklık değişimi

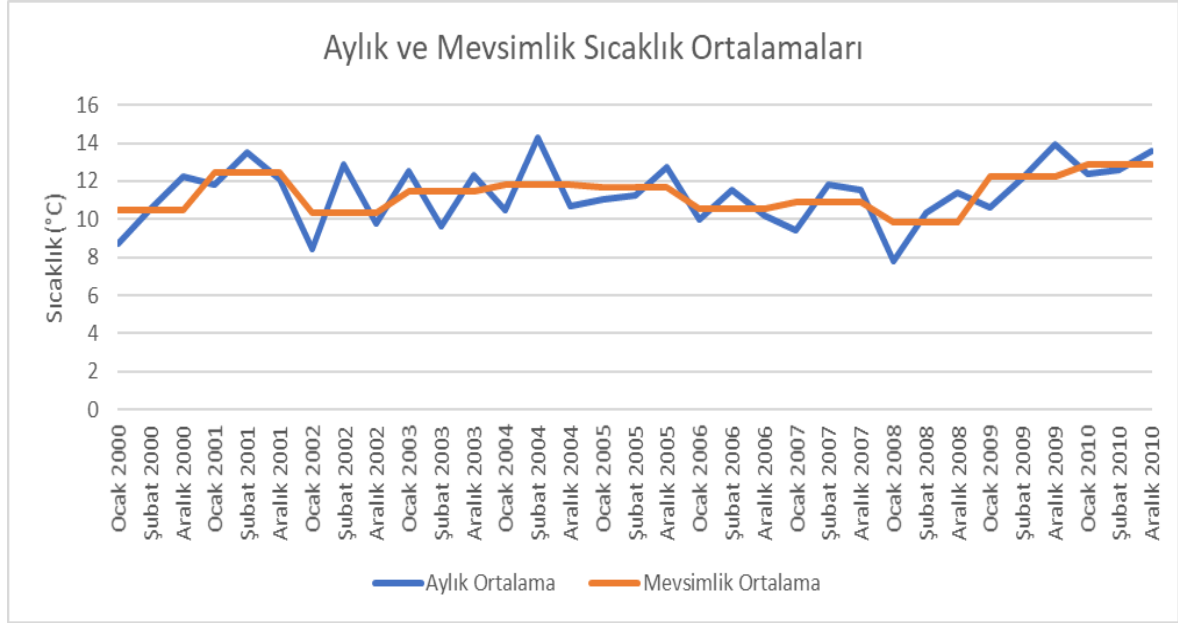
2000-2010 yılları arasındaki sıcaklık değerleri 30'ar günlük hareketli ortalamaları alınarak grafiğe dönüştürülmüştür. Sıcaklık değerleri 39,82 ile -0,44°C arasında değişmektedir. Şekil 4.25 incelendiğinde sıcaklık ortalamasının 19,85°C olduğu hesaplanmıştır. Şekil 4.26'da 2011-2020 yılları arası sıcaklık değişimi verilmektedir.



Şekil 4.26. 2011-2020 yılları arası sıcaklık değişimi

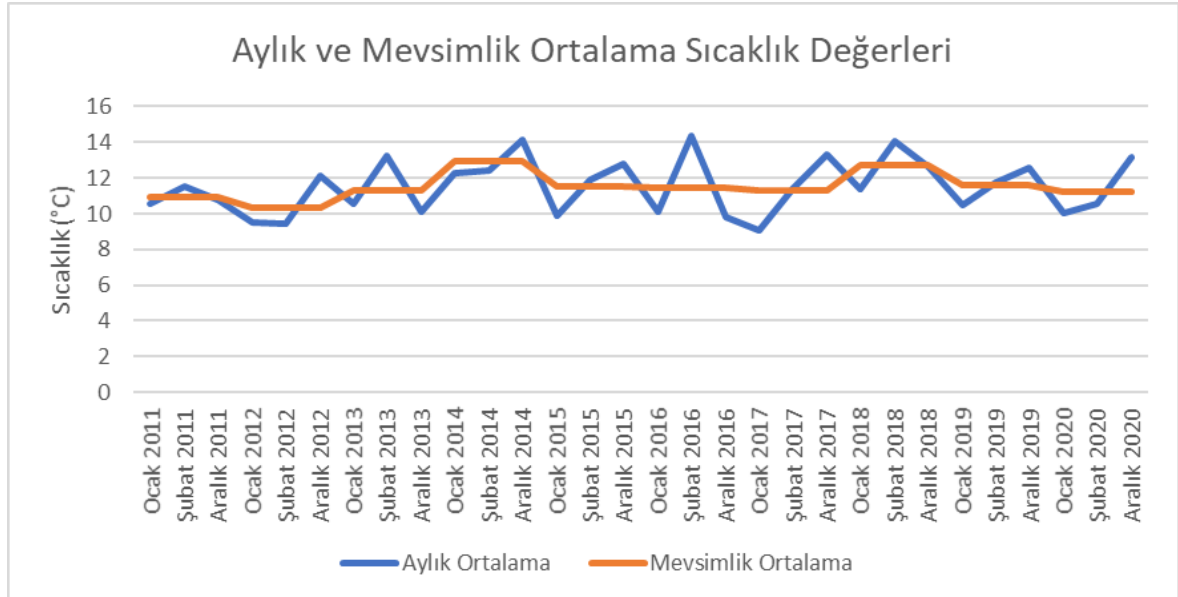
2011-2020 yılları arasındaki sıcaklık değerleri 30 ar günlük hareketli ortalamaları alınarak grafiğe dönüştürülmüştür. Sıcaklık değerleri 39,02 ile -0,97°C arasında değişmektedir. Şekil 4.26 incelendiğinde sıcaklık ortalamasının 20,03°C olduğu hesaplanmıştır.

Şekil 4.25 ve Şekil 4.26 karşılaştırıldığında sıcaklık ortalamasının 2. zaman aralığında arttığı görülmektedir. Sıcaklık ortalaması 0,18°C artmıştır. Bu değişim sıcaklık ortalamasında %9'luk bir artışa karşılık gelmektedir. 1. zaman aralığının kış ayları ve mevsimlik sıcaklık değerleri Şekil 4.27'de verilmektedir.



Şekil 4.27. 2000-2010 yılları arası kış mevsimi sıcaklık değişimi

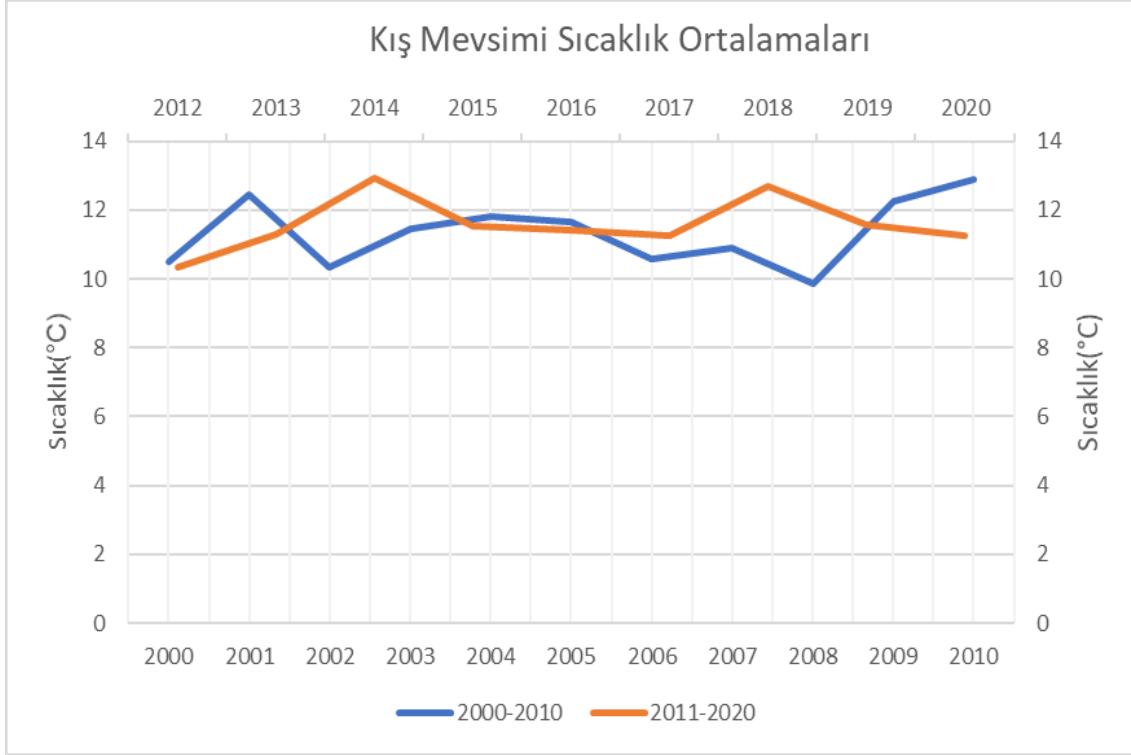
Şekil 4.27 incelendiğinde lagün aylık en yüksek sıcaklık ortalamasına 2004 yılının şubat ayında ulaştığı görülmektedir. Mevsimlik en yüksek ortalama ise 2010 yılının kış mevsiminde ulaşmaktadır. Şekil 4.28'de 2. zaman aralığının (2011-2020 yılları arası) sıcaklıkları verilmektedir.



Şekil 4.28. 2011-2020 yılları arası kış mevsimi sıcaklık değişimi

Şekil 4.28 incelendiğinde en yüksek aylık sıcaklık ortalamasının 2016 şubat ayında olduğu, kış mevsiminin en yüksek sıcaklık ortalamasının ise 2014 yılında olduğu görülmektedir.

Sıcaklık değişimini görebilmek açısından Şekil 4.29’da iki periyodun ortalama sıcaklık değerleri birleştirilmiştir.



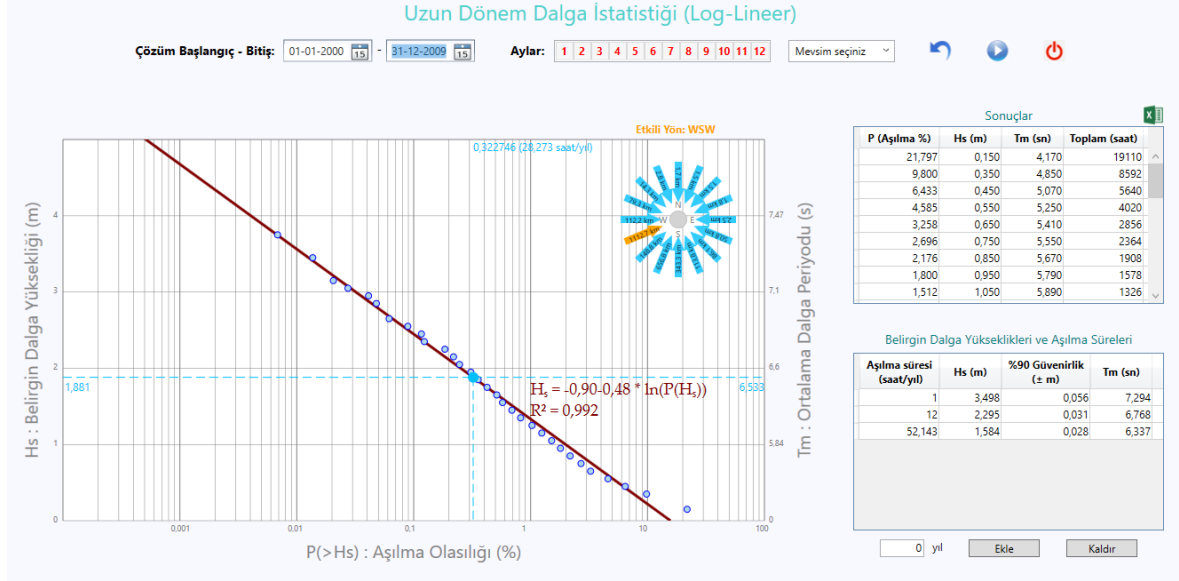
Şekil 4.29. Zaman aralıklarının ortalama sıcaklık değerleri

Şekil 4.29 incelendiğinde 2011-2020 yılları arasındaki kış mevsimi sıcaklık ortalamasının arttığı görülmektedir. 2000-2010 yılları arasındaki kış mevsimi sıcaklık ortalaması 11,33°C iken 2011-2020 yılları arasındaki kış mevsimi sıcaklık ortalaması 11,53 °C’dir. Bu değer sıcaklık ortalamasında %1,76’lık artışa karşılık gelmektedir.

4.2.4. Akyatan Lagünü fırtına kabarması

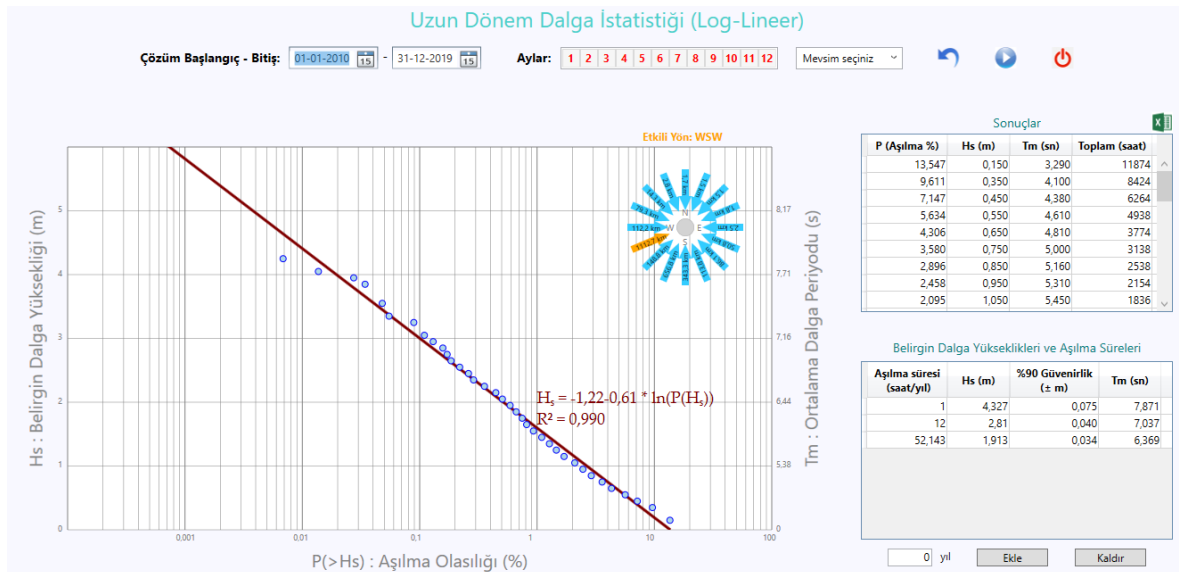
Akyatan Lagünü belirgin dalga yüksekliğine bağlı fırtına kabarması

Lagünün ilk zaman aralığındaki (2000-2010) uzun dönem dalga istatistiği Şekil 4.30’da verilmektedir.



Şekil 4.30. 2000-2010 yılları arası Akyatan Lagünü uzun dönem dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.30 incelendiğinde aşılma süresi 1 saat/yıl olan belirgin dalga yüksekliğinin 3,49 m olduğu görülmektedir. Fırtına kabarması için denizden esen ve hakim yön olan Batı Güneybatı(WSW) yönü kullanılmaktadır. Dalga yüksekliğinin %10'u olarak ifade ettiğimiz kabarma miktarı hesaplandığında kabarmanın belirgin dalga yüksekliğine bağlı değerinin 0,35 m olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.31'de 2. zaman aralığına ait uzun dönem dalga istatistiği verilmektedir.



Şekil 4.31. 2010-2020 yılları arası Akyatan Lagünü uzun dönem dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.31 incelendiğinde 1 saat/yıl aşılma süresine sahip belirgin dalga yüksekliğinin 4,32 m olduğu görülmektedir. Kabarma miktarı ise 0,43 m olarak hesaplanmıştır. İki zaman aralığı kıyaslandığında 1 saat/yıl aşılma olasılığına sahip dalgaların fırtına kabarması değerinde %22,85 artış hesaplanmıştır. Bu değer bize su seviyesindeki değişimi incelerken yol göstermektedir.

Akyatan Lagünü rüzgar hızına bağlı fırtına kabarması

Lagün içerisinde fırtına kabarması hesaplanırken, bu nokta için iki zaman aralığının rüzgar hızları dikkate alınıp su derinliği ölçüm verilerinin yılları boyunca değişkenlik göstermediği kabul edilmiştir. Kabarmaya sebep olan rüzgarların denizden esen yönde olması gerekmektedir. Bu nedenle 19 yıllık verilerde denizden esen ve en yüksek değerlere sahip olan iki yönün ortalama rüzgar hızları kullanılmıştır. Çizelge 4.5'te rüzgar hızlarının değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.5. Yıllara göre hakim yönlerin rüzgar hızı ortalamaları

Yıl	Esme Yönü	Rüzgar Hızı(m/s)
2000	SSW	6,27
2001	SW	6,14
2002	SW	6,3
2003	SW	7,01
2004	SW	7,04
2005	SW	6,73
2006	SW	7,09
2007	SW	7,15
2008	SW	7,05
2009	SW	7,51
2010	SW	7,7
2011	SW	6,96
2012	SW	7,8
2013	SW	7,41
2014	SW	6,76
2015	SW	7,26
2016	SW	7,27
2017	SW	7,08
2018	SW	7,5
2019	SW	7,05

2000-2010 yılları arasındaki rüzgar hızı ortalamasının 6,83 m/s, 2010-2020 yılları arasındaki rüzgar hızı ortalamasının ise 7,28 m/s olduğu belirlenmiştir. Fırtına kabarma değeri rüzgar hızının karesi ile orantılı olduğundan iki zaman aralığının kabarma değerleri arasında %13,62'lik fark oluşmuştur. Genlikteki artış su seviyesinde yukarı yönlü değişime neden olmaktadır.

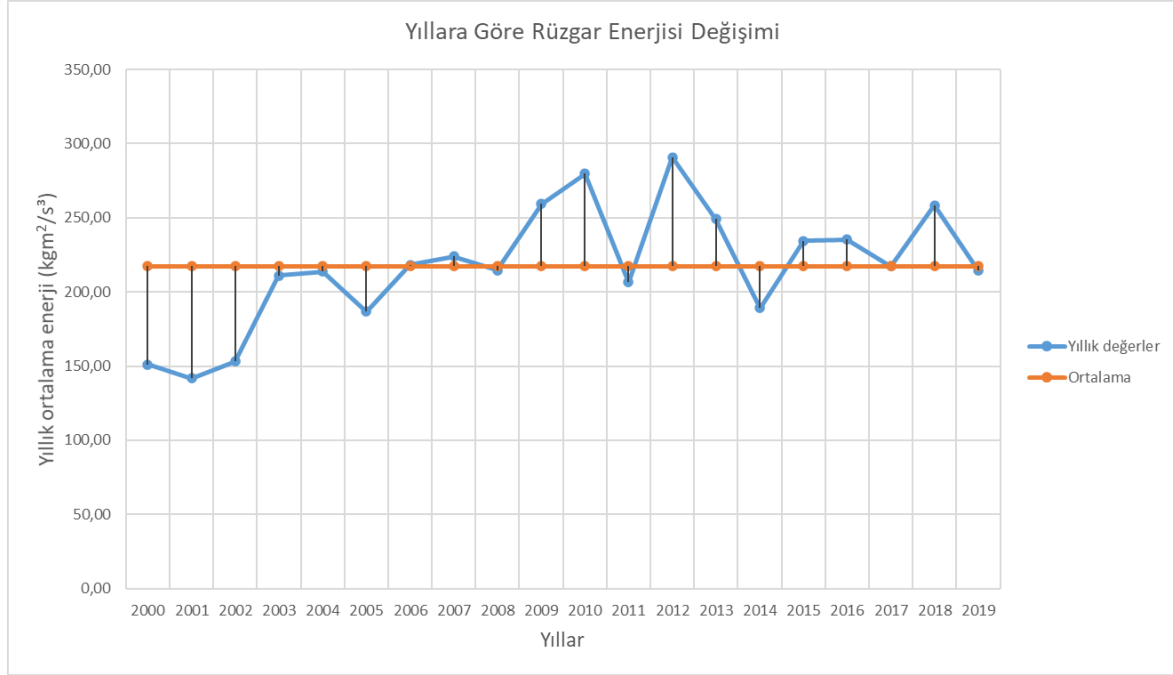
Akyatan Lagünü rüzgar enerjisi

2000-2020 yıllarına ait hakim rüzgar yönünde, fırtına kabarmasına neden olan rüzgarların hız değerleri ve enerjileri Çizelge 4.6'da verilmektedir.

Çizelge 4.6. Yıllara göre rüzgar enerjileri

Yıl	Esme Yönü	Rüzgar Hızı(m/s)	Rüzgar Enerjisi(kgm ² /s ³)
2000	SSW	6,27	150,98
2001	SW	6,14	141,78
2002	SW	6,3	153,15
2003	SW	7,01	210,99
2004	SW	7,04	213,71
2005	SW	6,73	186,7
2006	SW	7,09	218,3
2007	SW	7,15	223,88
2008	SW	7,05	214,62
2009	SW	7,51	259,43
2010	SW	7,7	279,63
2011	SW	6,96	206,51
2012	SW	7,8	290,66
2013	SW	7,41	249,21
2014	SW	6,76	189,21
2015	SW	7,26	234,38
2016	SW	7,27	235,35
2017	SW	7,08	217,37
2018	SW	7,5	258,4
2019	SW	7,05	214,62

Çizelge 4.6'daki veriler ile oluşturulan rüzgar enerjisi değişimi Şekil 4.32'de verilmiştir.



Şekil 4.32. 2000-2020 yılları arası rüzgar enerjileri

Şekil 4.32 ve Çizelge 4.6'daki veriler incelendiğinde 2000-2010 yılları arasındaki ortalama rüzgar enerjisinin $197,35 \text{ kgm}^2/\text{s}^3$ olarak hesaplanmıştır. 2010-2020 yılları arasındaki ortalama rüzgar enerjisi ise $237,53 \text{ kgm}^2/\text{s}^3$ olarak hesaplanmıştır. İki zaman aralığı karşılaştırıldığında rüzgar enerjisinde %20,35 artış olduğu hesaplanmıştır.

Akyatan Lagünü fırtına kabarmasına bağlı su seviyesi değişimi

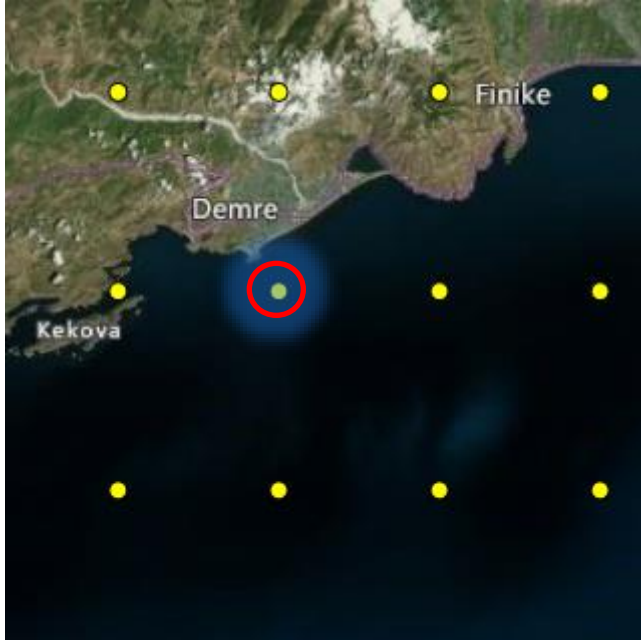
Akyatan lagününün dalga ve rüzgar iklimine bağlı fırtına kabarması değerleri 3 farklı yaklaşım ile hesaplanmıştır. Belirgin dalga yüksekliği kullanılarak kabarma miktarının hesaplandığı yaklaşımda uzun dönem dalga istatistiğinden faydalanılmıştır. Dalga istatistiği verilerinden fırtına kabarması hesabından kullanılacak değer 1 saat/yıl aşılma olasılığına sahip belirgin dalga yüksekliğidir. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla uzun dönem dalga istatistiğinde kullanılan veriler iki zaman aralığına bölünmüş ve ilk zaman aralığı verileri 2000-2010 yıllarını kapsamaktadır. Şekil 4.30'da ilk zaman aralığında 1 saat/yıl aşılma olasılığına sahip belirgin dalga yüksekliği değer verilmektedir. Bu değer 3,49 metredir. Fırtına kabarması miktarı belirgin dalga yüksekliğinin %10'u ile hesaplanmaktadır. 2000-2010 yılları arası kabarma miktarı 0,35 metredir. İkinci zaman aralığı verileri 2010-2020 yıllarını kapsamaktadır. Şekil 4.31'de ikinci zaman aralığına ait uzun dönem dalga istatistiği verilmektedir. İkinci zaman aralığında 1 saat/yıl aşılma olasılığına sahip dalga yüksekliği 4,32

metredir. Kabarma miktarı ise 0,43 metre olarak hesaplanmıştır. İki zaman aralığına ait kabarma miktarları karşılaştırıldığında 2. zaman aralığında kabarma miktarı %22,85 artış göstermektedir. Lagünün rüzgar iklimine bağlı kabarma hesabı yapılırken 2 farklı yaklaşım kullanılmıştır. Bunlardan birincisi kabarma değeri hesabıdır. Kabarma değeri hesabında rüzgar hızının karesine bağlı değişen kabarma büyüklükleri hesaplanmış ve bu değerler iki zaman aralığına bölünerek karşılaştırılmıştır. Birinci zaman aralığı olan 2000-2010 yılları arasındaki rüzgar hızlarının ortalaması 6,83 m/s hesaplanmıştır. İkinci zaman aralığı ise 2010-2020 yıllarını kapsamakta ve rüzgar hızlarının ortalaması ise 7,28 m/s olarak hesaplanmıştır. İkinci zaman aralığında kabarma değeri %13,62 artmıştır. Rüzgar ikliminden yararlanılarak yapılan bir diğer kabarma yüksekliği analizinde ise rüzgar enerjisinden faydalanılmıştır. Rüzgar enerjisindeki artış kabarma miktarında artış olacağı yorumunun yapılmasını sağladığı için lagünün su seviyesi değişimini yorumlamak adına yıllık rüzgar enerjileri hesaplanmış ve 2000-2020 yılları arasındaki rüzgar enerjileri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Hesaplanan değerler sonucu lagünün maksimum rüzgar enerjisine ise 2012 yılında ulaştığı görülmüştür. Rüzgar enerjiler iki zaman aralığına bölünürse ilk zaman aralığı olan 2000-2010 yılları arası rüzgar enerjisi ortalaması $197,35 \text{ kgm}^2/\text{sn}^3$ hesaplanmıştır. 2010-2020 yılları arasındaki rüzgar enerjisi ortalaması ise $237,53 \text{ kgm}^2/\text{sn}^3$ hesaplanmıştır. İkinci zaman aralığının rüzgar enerjileri ortalaması birinci zaman aralığına göre %20,35 artış göstermiştir. Bu üç yaklaşımla elde edilen sonuçlar Akyatan Lagününün fırtına kabarması etkisiyle su seviyesinde yukarı yönlü değişim olacağına dair yorum yapılmasını sağlamaktadır. Artan belirgin dalga yüksekliği değerleri, rüzgar hızındaki artış ve dolayısıyla rüzgar enerjisi lagün içerisindeki su yüksekliğinin artacağını göstermektedir.

4.3. Beymelek Lagünü Modelleme Sonuçları

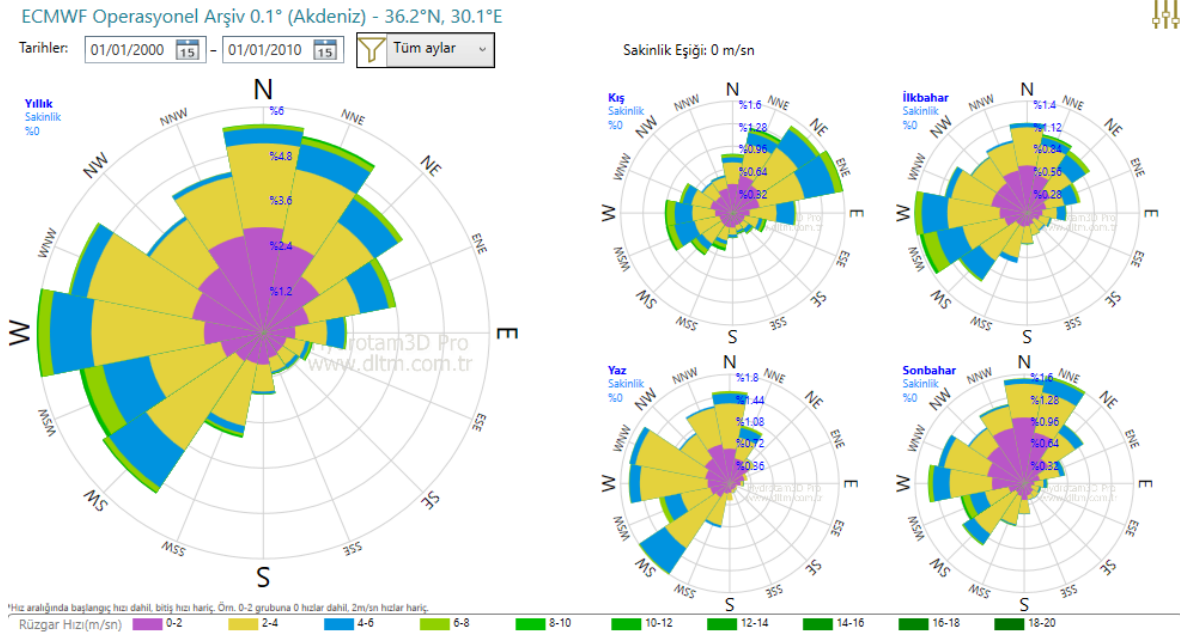
4.3.1. Beymelek Lagünü rüzgar iklimi

Çalışma bölgesinin rüzgar ikliminin belirlenebilmesi AOVHTM (ECMWF, 2022) Operasyonel Arşiv 0.1° (Akdeniz) verileri incelenmiştir. İstasyon verileri 2000-2020 yılları arasını kapsamaktadır. Harita 4.5'te seçilen noktanın konumu verilmektedir.



Harita 4.5. AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi Akdeniz ağının konumu (36.2°K, 30.1°G) (HYDROTAM-3D, 2023)

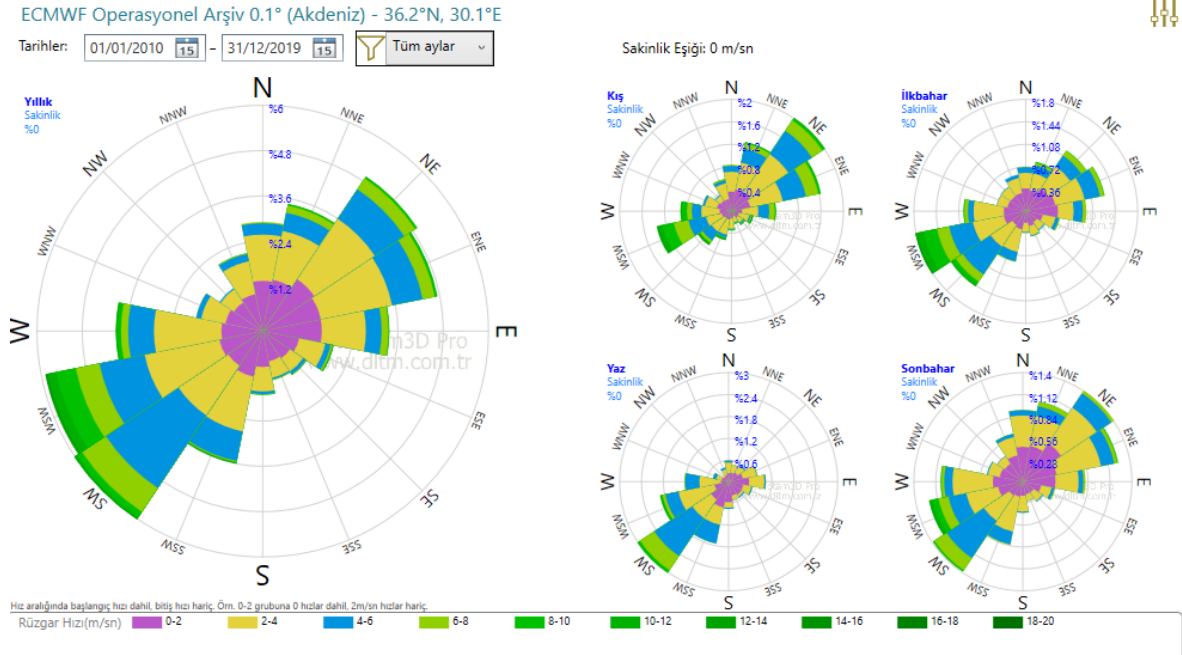
AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verileri kullanılırken çalışma sahasına en uygun nokta seçilmiştir. Şekil 4.33'te noktaya ait 2000-2010 yılları verilerini içeren rüzgar gülleri verilmektedir.



Şekil 4.33. 01.01.2000-01.01.2010 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.33 incelendiğinde lagünün 2000-2010 yılları arasında ilkbahar, yaz ve sonbahar

aylarında Batı Güneybatı (SSW) ve Batı (W) yönlerinin hakim rüzgar yönü olduğu görülmektedir. Kış ayında ise Doğu Kuzeydoğu (ENE) ve Kuzeydoğu (NE) yönleri hakim rüzgar yönüdür. Şekil 4.34'te noktaya ait 2010-2020 yılları verilerini içeren rüzgar gülleri verilmektedir.



Şekil 4.34. 01.01.2010-01.01.2020 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.34 incelendiğinde lagünün 2010-2020 yılları arasında ilkbahar, yaz ve sonbahar aylarında BatıGüneybatı (WSW) ve Güneybatı (SW) yönlerinin hakim rüzgar yönü olduğu görülmektedir. Kış ayında ise Kuzeydoğu (NE) yönü hakim rüzgar yönüdür.

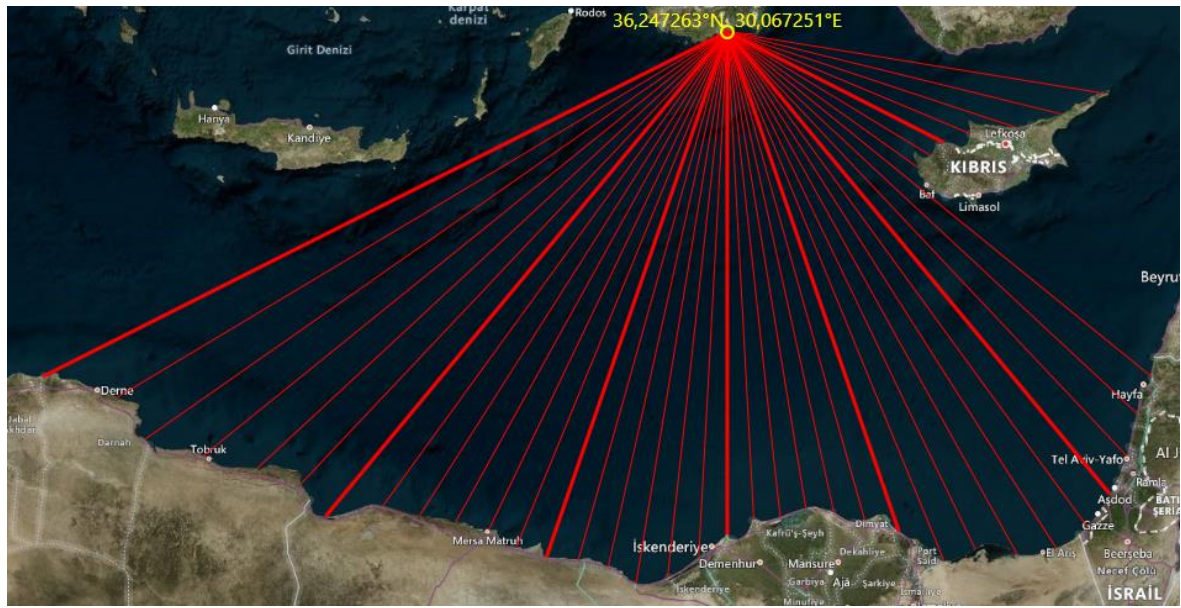
Rüzgar iklimi değişimi

İklim değişiminin etkilerini saptayabilmek için Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'teki rüzgar verileri iki farklı zaman aralığına bölünerek incelenmiştir. İncelemede dikkate alınan rüzgar yönü lagünlerin su seviyesi üzerinde etkisi olan hakim denizel yöndür. Bu yön Beymelek Lagünü için Güneybatı (SW) yönüdür. İlk aralık verileri 2000-2010 yılları arasını kapsamaktadır. İkinci aralık ise 2010-2020 yılları verilerini kapsamaktadır. İlk aralığın yıllık ortalama rüzgar hızları ve ikinci aralığın yıllık ortalama rüzgar hızları kıyaslandığında 2000-2010 yılları arasındaki Güneybatı (SW) yönü yıllık ortalama rüzgar hızı değeri 3,29 m/s, yıllık maksimum rüzgar hızı değeri ise 14,23 m/s olarak belirlenmiştir. 2010-2020 yılları

arasındaki Güneybatı (SW) yönü yıllık ortalama rüzgar hızı değeri ise 4,18 m/s, yıllık maksimum rüzgar hızı değeri ise 16,80 m/s olarak belirlenmiştir Değerler karşılaştırıldığında iki zaman aralığındaki yıllık ortalama rüzgar hızında %27,06 artış, yıllık maksimum rüzgar hızında ise %18 artış gösterdiği belirlenmektedir.

4.3.2. Beymelek Lagünü dalga iklimi

Harita 4.6’da feç yönleri verilmiştir.



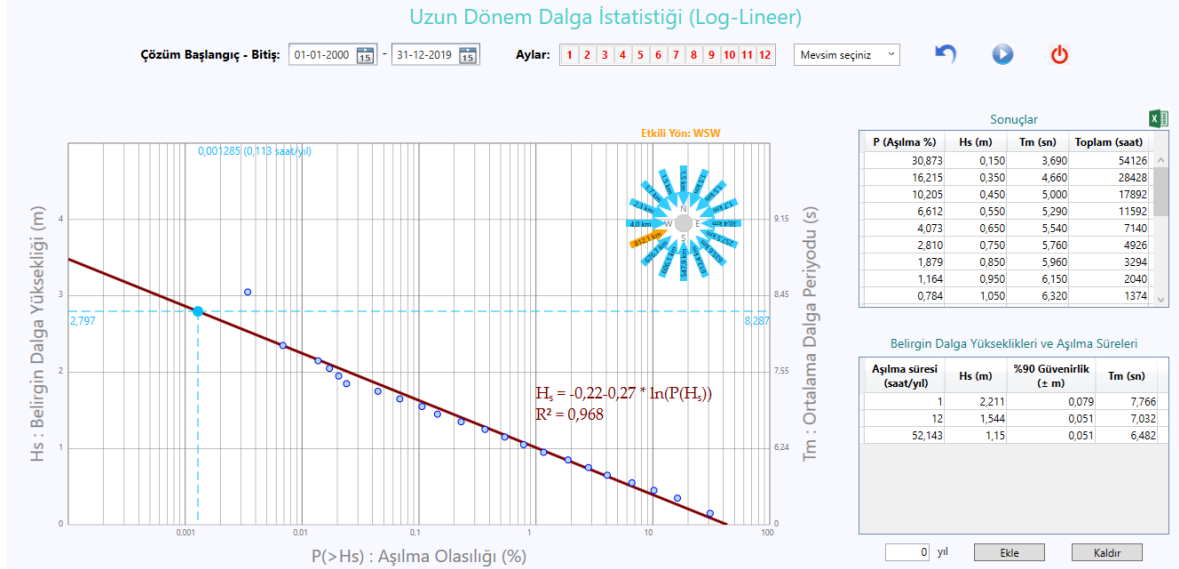
Harita 4.6. Yönlere göre dalga kabarma mesafeleri (‘FEÇ’) (HYDROTAM-3D, 2023)

Tüm yönlerdeki etkin kabarma mesafeleri HYDROTAM-3D (HYDROTAM-3D, 2023) aracılığıyla hesaplanmıştır. Tüm yönler için hesabı Çizelge 4.7’de verilmektedir. Noktanın en uzun feç mesafesinin BatıGüneybatı (WSW) yönünde olduğu görülmektedir. Genellikle maksimum dalga yüksekliği feç mesafesinin en yüksek olduğu yönden beklenir.

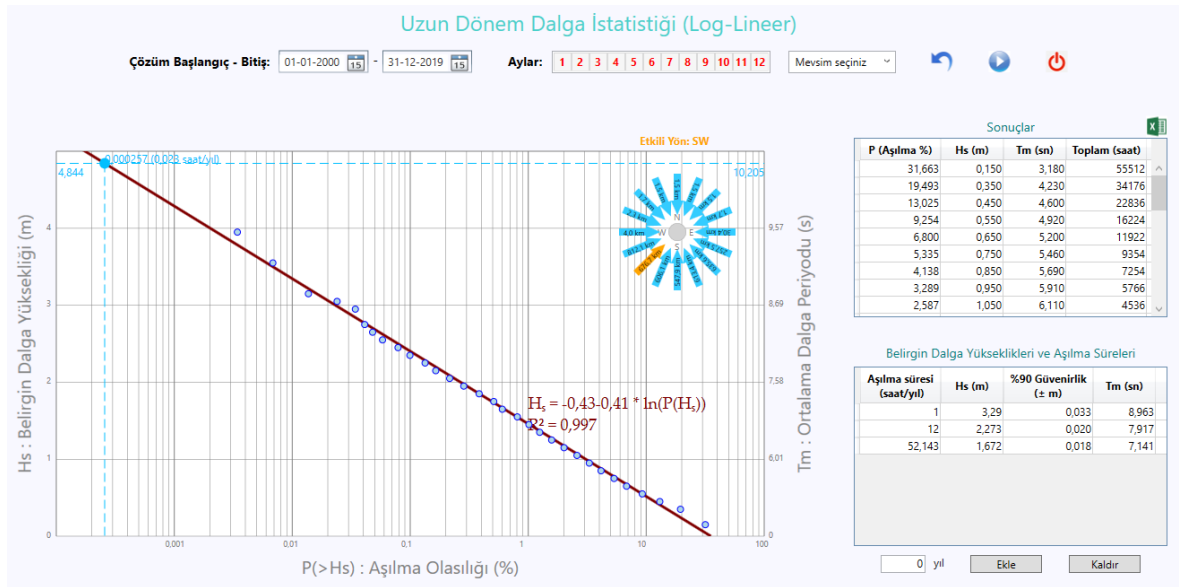
Çizelge 4.7. 36.2° K- 30.1° G koordinatının yönlere göre efektif feç uzunluğu (HYDROTAM-3D, 2023)

Efektif Feç Uzunlukları		
Yön	Açı	Feç Mesafesi(m)
N	0	1302,12
NNE	22,5	1370,49
NE	45	1391,74
ENE	67,5	1518,94
E	90	113626,30
ESE	112,5	327543,67
SE	135	632757,97
SSE	157,5	579531,41
S	180	55490,04
SSW	202,5	599256,65
SW	225	659971,98
WSW	247,5	442382,24
WSW	270	2817,04
WNW	292,5	1689,04
NW	315	1376,68
NNW	337,5	1283,00

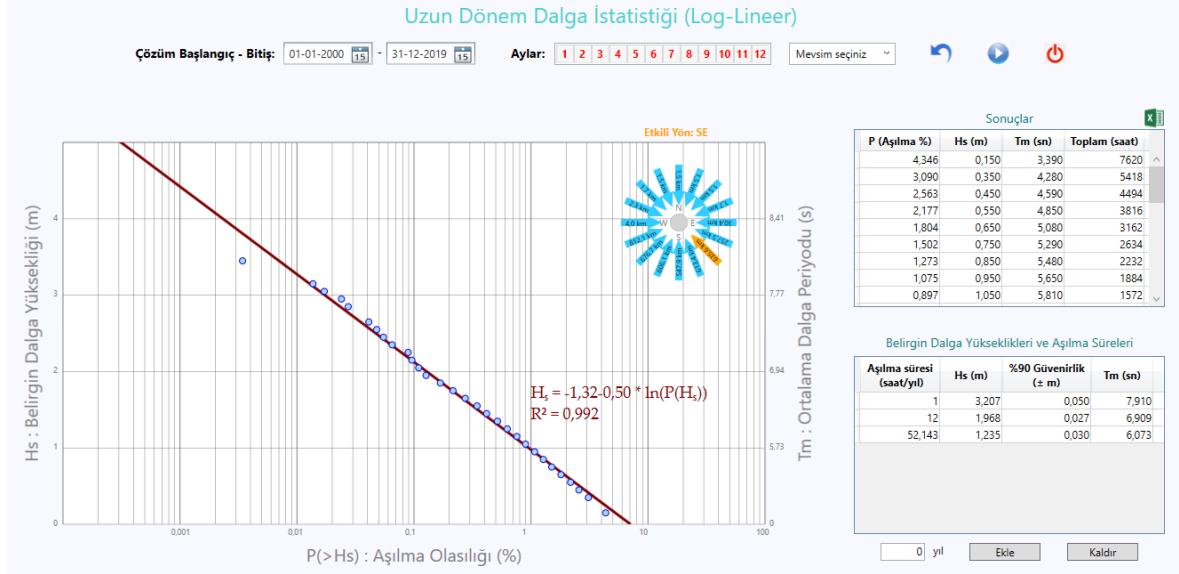
Bölgenin coğrafi yapısından da beklendiği üzere efektif feç uzunluğu en fazla olan yön Güneybatı (SW) yönüdür. Yaklaşık olarak 660 km uzunluğundadır. Dalga veri kaynağı olarak AOVHTM (ECMWF, 2022) Operasyonel Arşivi Akdeniz Baseni verileri kullanılmaktadır. Bu istasyonun veri aralığı 0,1 derece (11 km) lik gridler ile ölçüm verdiği için güven katsayısı yüksektir. Veri istasyonunun koordinatları, 36.2 Kuzey ve 30.1 Batı ve arşiv genişliği ise 2000-2020 yıllarını kapsamaktadır. Şekil 4.35, Şekil 4.36 ve Şekil 4.37’de feç mesafesi en uzun olan üç yönün uzun dönem dalga istatistikleri verilmektedir.



Şekil 4.35. BatıGüneybatı (WSW) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023)

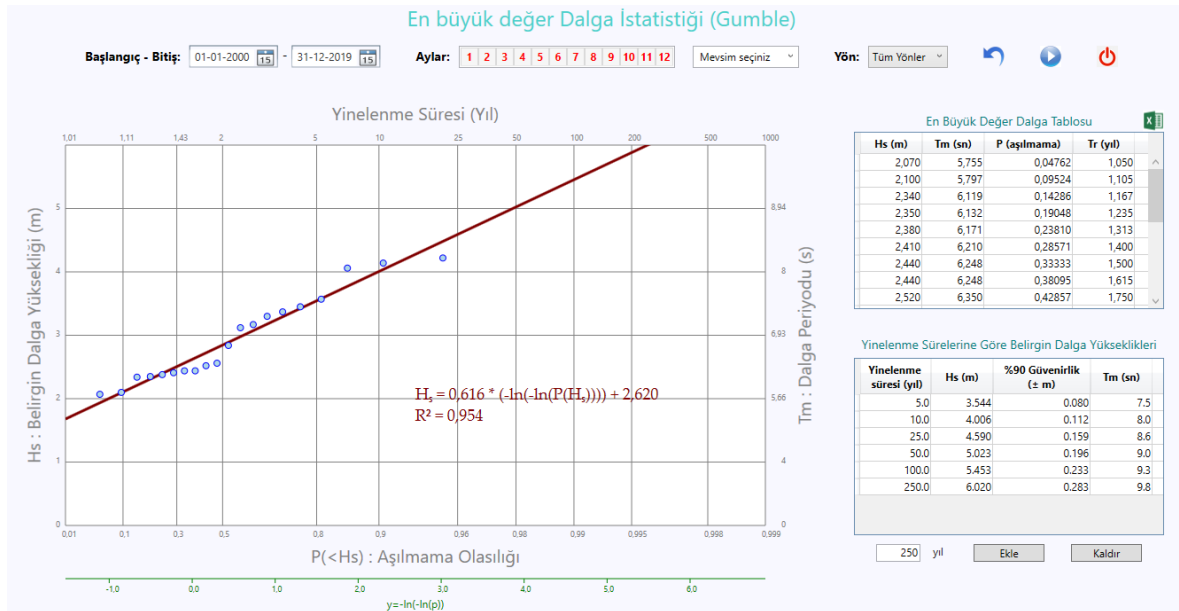


Şekil 4.36. Güneybatı (SW) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023)



Şekil 4.37. GüneyDoğu (SE) yönü için uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekiller incelendiğinde belirgin dalga yönünün Güneybatı olduğu görülmektedir. Şekillerin sağ tarafında Hs değerinin aşılma süresini ve periyodu verilmektedir. Şekil 4.38’de ekstrem (en yüksek değer) dalga istatistiği kullanılarak elde edilen belirgin dalga yüksekliği değerleri verilmektedir.

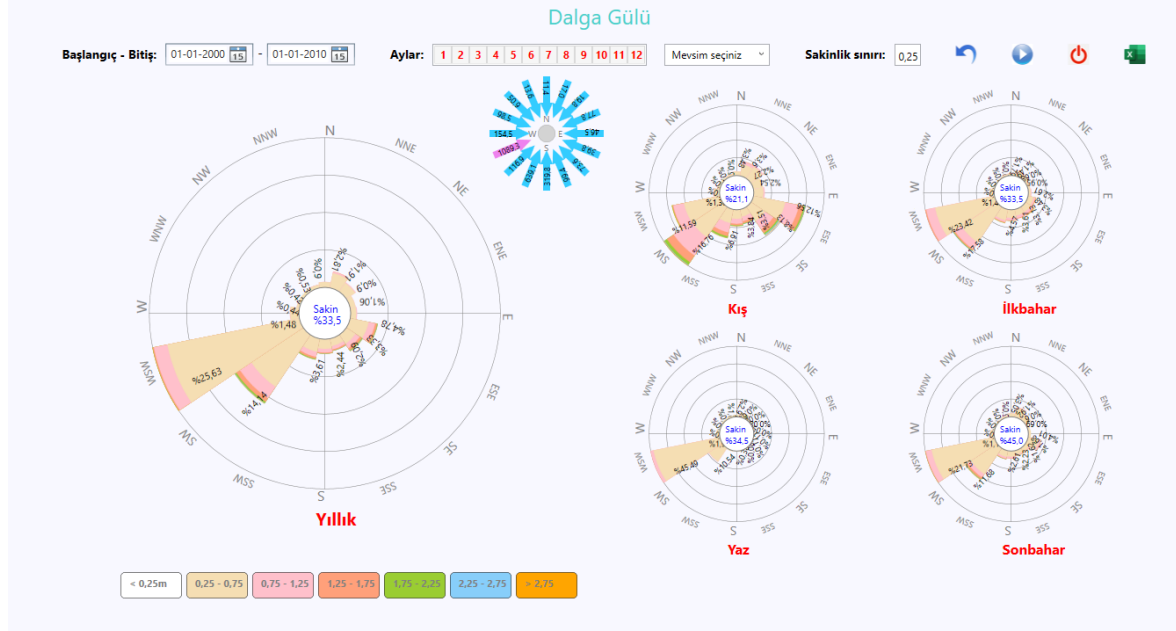


Şekil 4.38. Ekstrem (en yüksek değer) dalga istatistiği (Gumble Dağılımı) (HYDROTAM-3D, 2023)

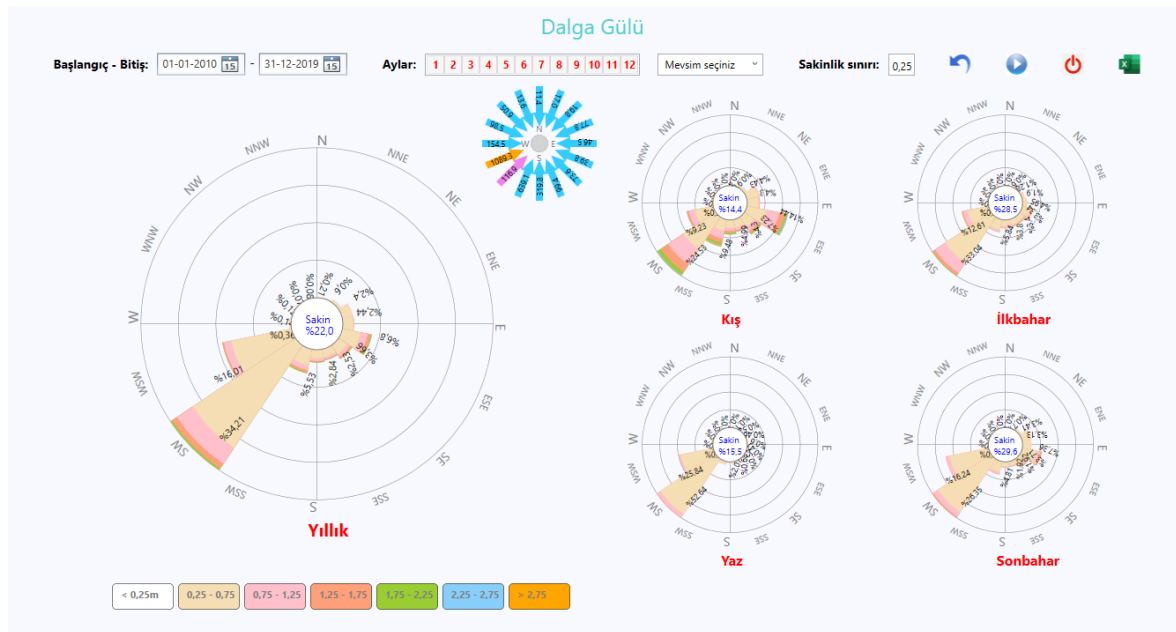
250 yıllık yinelenme süresi, iklim değişimi gibi etkisini uzun vadede gösteren olayları incelemek için seçilmiştir. Şekil 4.38 incelendiğinde 250 yıllık yinelenme süresinde oluşacak Hs değeri 6,02 m ve belirgin dalga periyodu 9,80 sn olarak hesaplanmıştır.

Dalga iklimi değişimi

İki zaman aralıklarına ait dalga gülleri ise Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'ta verilmektedir.



Şekil 4.39. 01.01.2000-01.01.2010 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D, 2023)



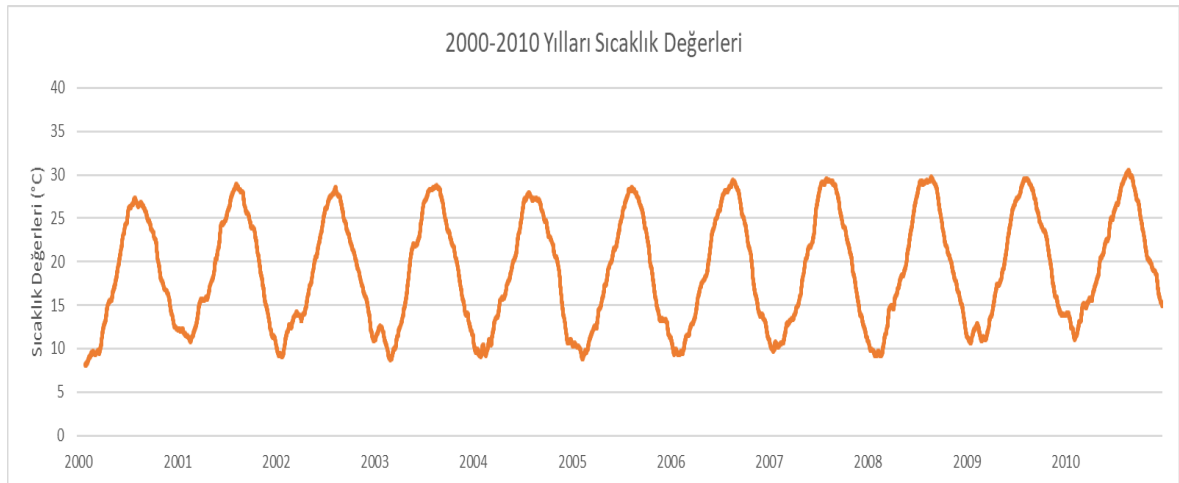
Şekil 4.40. 01.01.2010-01.01.2020 Yılları Arası AOVHTM (ECMWF, 2022) operasyonel arşivi verilerine göre yıllık ve mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.39 ve 4.40 incelendiğinde uzun dönem dalga iklimi modellemesi sonuçlarına göre ortalama belirgin dalga yüksekliklerinin değişimi incelendiğinde ikinci on yıllık zaman

aralığında Beymelek Lagününün belirgin dalga yüksekliği 0,42 metreden 0,48 metreye yükselerek %15 artış göstermiştir.

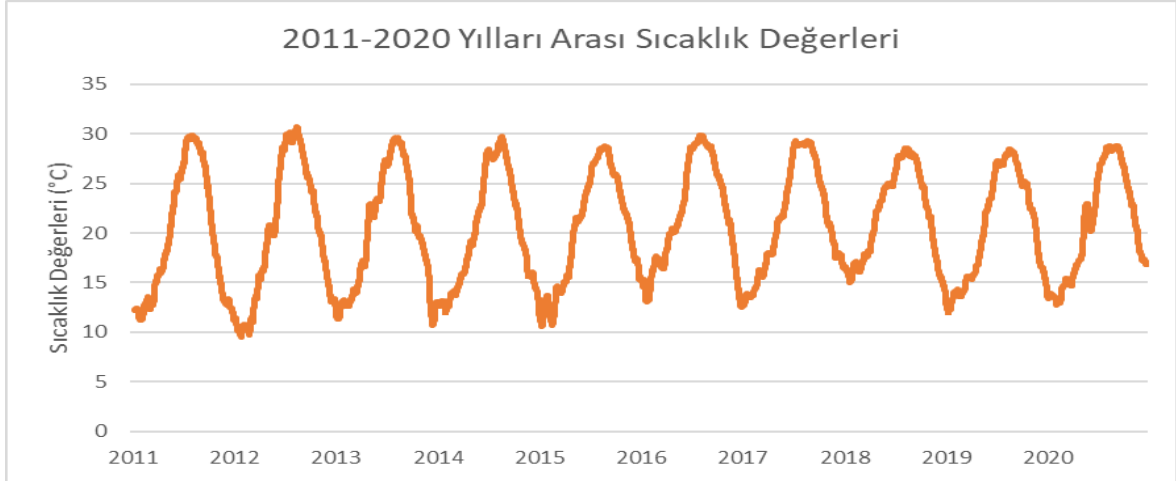
4.3.3. Beymelek Lagünü sıcaklık değişimi

Çalışma alanının kapsamlı analiz edilmesi amacıyla AOVHTM (ECMWF, 2022) veri tabanından alınan 2000-2020 yılları arasındaki sıcaklık değerlerinin incelenmesi yapılmıştır. Rüzgar ikliminde olduğu gibi kıyas amacıyla sıcaklık değerleri de 2000-2010 ve 2011-2020 yılları şeklinde iki zaman aralığında incelenmiştir. Bölgenin 1. ve 2. zaman aralığında kış ve yıllık sıcaklık ortalamaları karşılaştırılmıştır. Veri sayısının çok olması sebebiyle sıcaklıkların yıllık ortalamaları hareketli ortalama ile grafikleştirilmiştir. Şekil 4.41’de 1. zaman aralığı (2000-2010) yılları arasındaki yıllık ortalama görülmektedir.



Şekil 4.41. 2000-2010 yılları arası sıcaklık değerleri

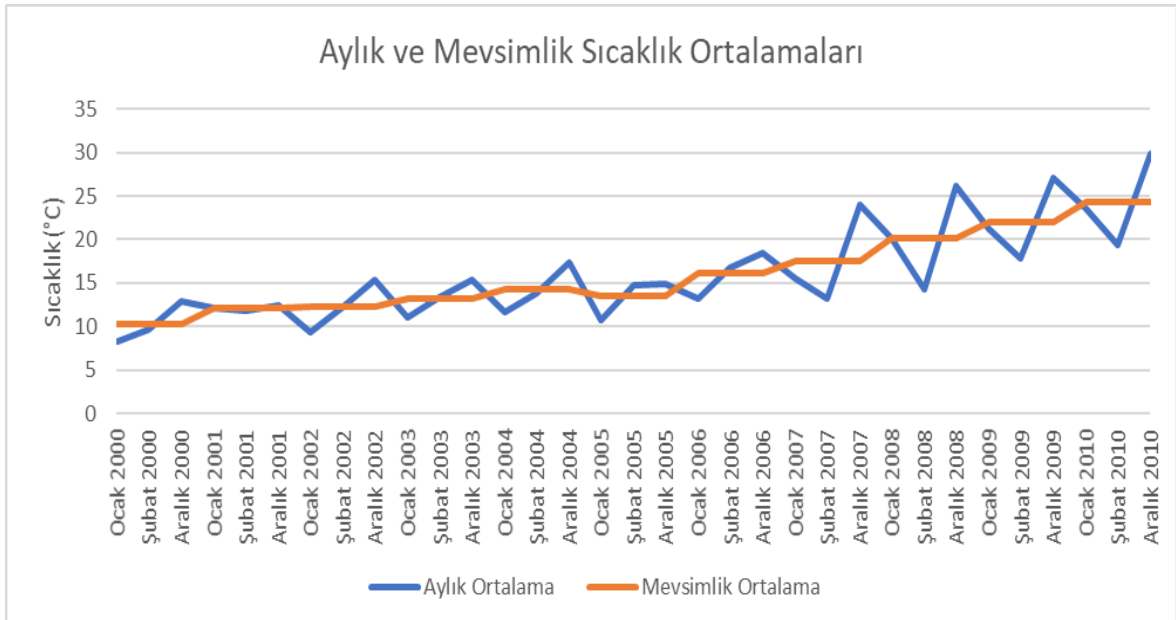
2000-2010 yılları arasındaki sıcaklık değerleri 30 ar günlük hareketli ortalamaları alınarak grafiğe dönüştürülmüştür. Sıcaklık değerleri 37,20 ile 0,06°C arasında değişmektedir. Şekil 4.41’deki veriler analiz edildiğinde sıcaklık ortalamasının 18,94°C olduğu hesaplanmıştır. Şekil 4.42’de 2011-2020 yılları arası sıcaklık değişimi verilmektedir.



Şekil 4.42. 2011-2020 yılları arası sıcaklık değerleri

2011-2020 yılları arasındaki sıcaklık değerleri 30 ar günlük hareketli ortalamaları alınarak grafiğe dönüştürülmüştür. Sıcaklık değerleri 36,01 ile 2,08°C arasında değişmektedir. Şekil 4.42 incelendiğinde sıcaklık ortalamasının 20,57°C olduğu hesaplanmıştır.

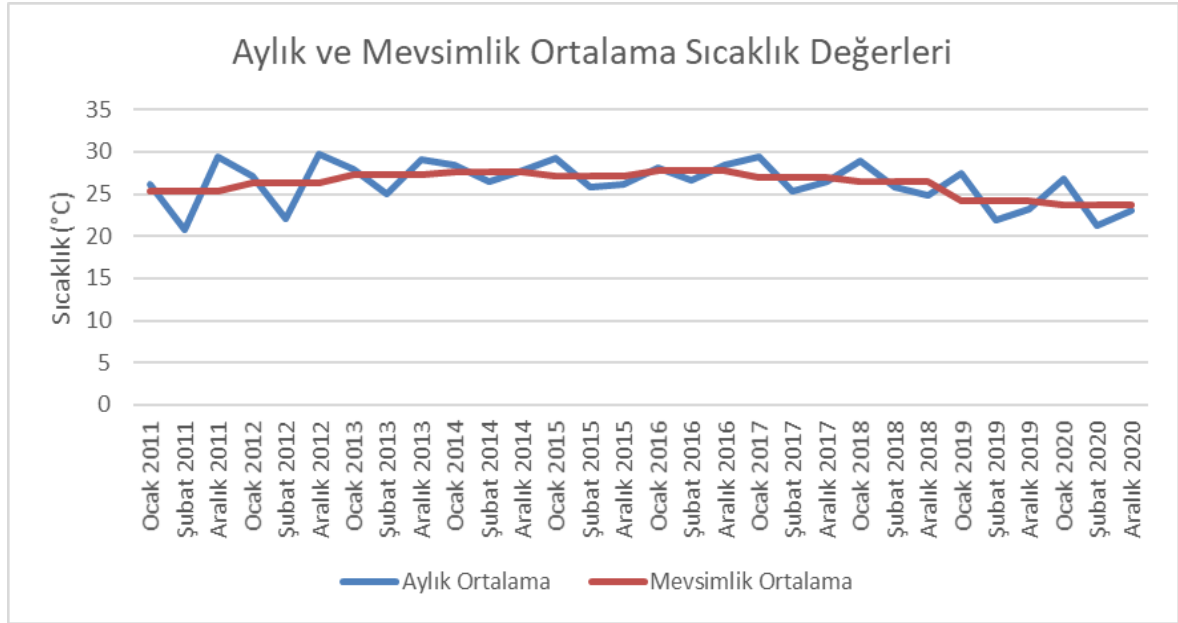
Şekil 4.41 ve Şekil 4.42 karşılaştırıldığında sıcaklık ortalamasının 2. zaman aralığında arttığı görülmektedir. Sıcaklık ortalaması 1,63°C yani %8,60 artmıştır. 1. zaman aralığının kış ayları ve mevsimlik sıcaklık değerleri Şekil 4.43 'de verilmektedir.



Şekil 4.43. 2000-2010 yılları arası kış mevsimi sıcaklık değişimi

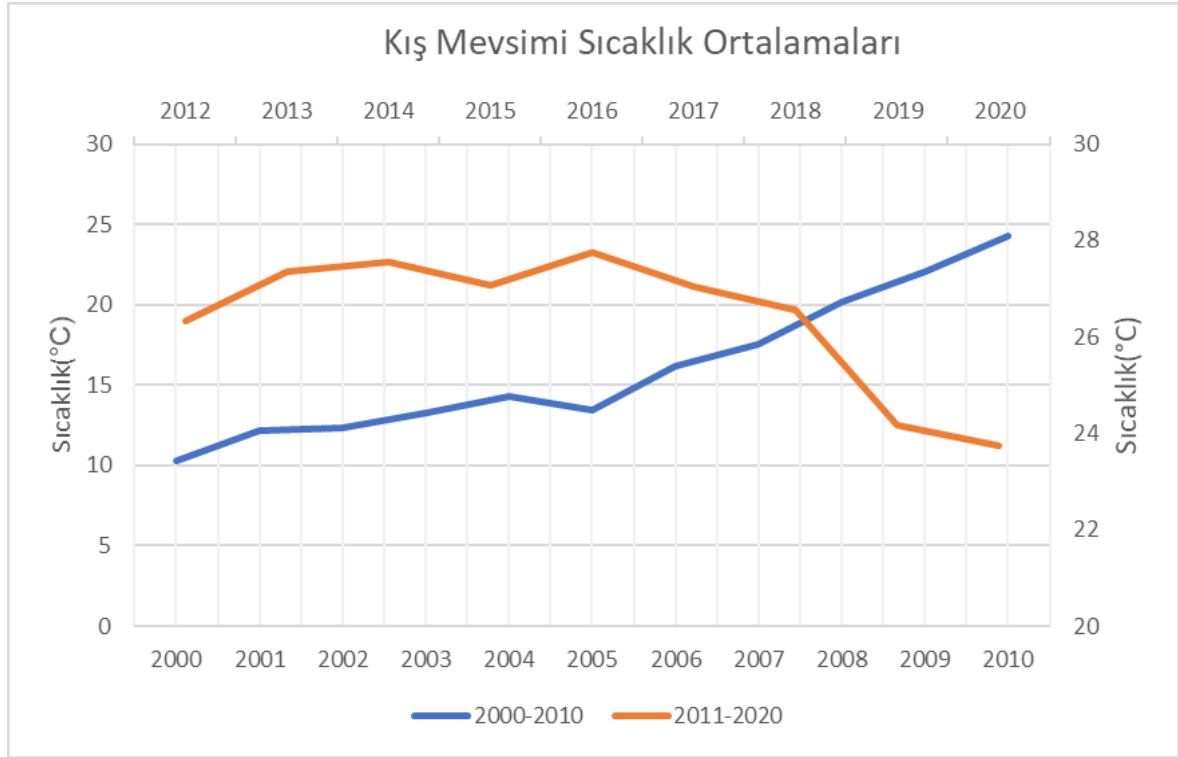
Şekil 4.43 incelendiğinde lagün aylık en yüksek sıcaklık ortalamasına 29,88°C ile 2010 yılının aralık ayında ulaştığı görülmektedir. Mevsimlik en yüksek ortalama ise 2010 yılının kış mevsiminde (24,26°C) ulaşmaktadır. Şekil 4.44'te 2. zaman aralığı (2011-2020

yılları arası) sıcaklıkları verilmektedir.



Şekil 4.44. 2011-2020 Yılları arası kış mevsimi sıcaklık değişimi

Şekil 4.44 incelendiğinde en yüksek aylık sıcaklık ortalamasının 29,81°C ile 2012 Aralık ayında olduğu, kış mevsiminin en yüksek sıcaklık ortalamasının 27,74°C ile 2016 yılında olduğu görülmektedir. Sıcaklık değişimini görebilmek açısından iki zaman aralığının ortalama sıcaklık değerleri Şekil 4.45'te birleştirilmiştir.



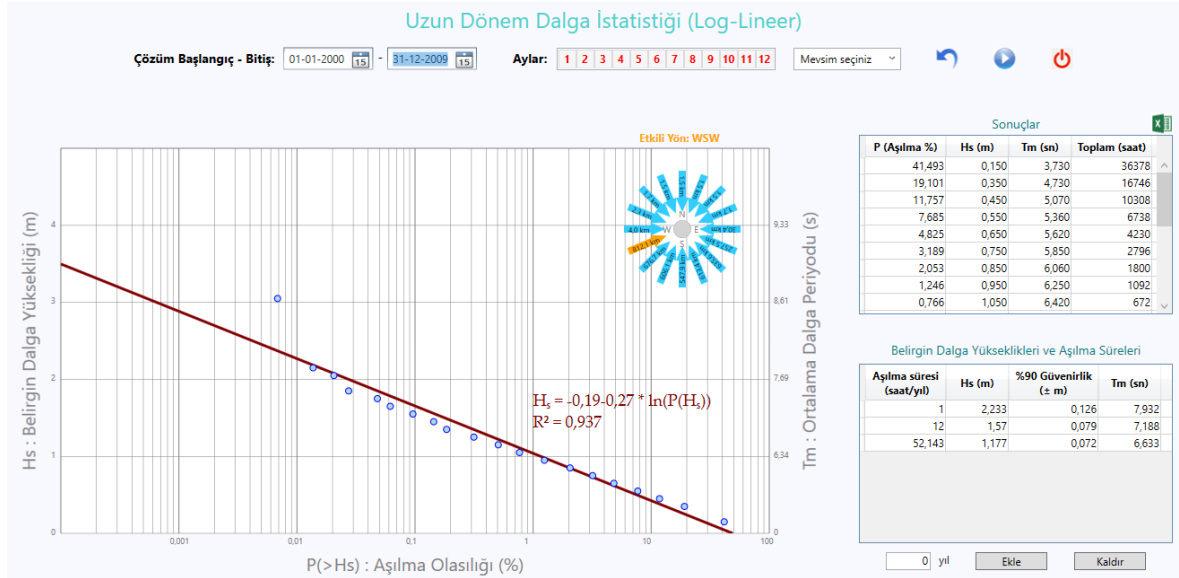
Şekil 4.45. Zaman aralıklarının ortalama sıcaklık değerleri

Şekil 4.45 incelendiğinde 2011-2020 yılları arasındaki kış mevsimi sıcaklık ortalamasının arttığı görülmektedir. 2000-2010 yılları arasındaki kış mevsimi sıcaklık ortalaması 15,99°C iken 2011-2020 yılları arasındaki kış mevsimi sıcaklık ortalaması 26,29°C'dir. İki zaman aralığının arasındaki sıcaklık farkı 10,3°C'dir. İki zaman aralığı ortalama sıcaklık değerlerinde %64,40 artış oluşmuştur.

4.3.4. Beymelek Lagünü fırtına kabarması

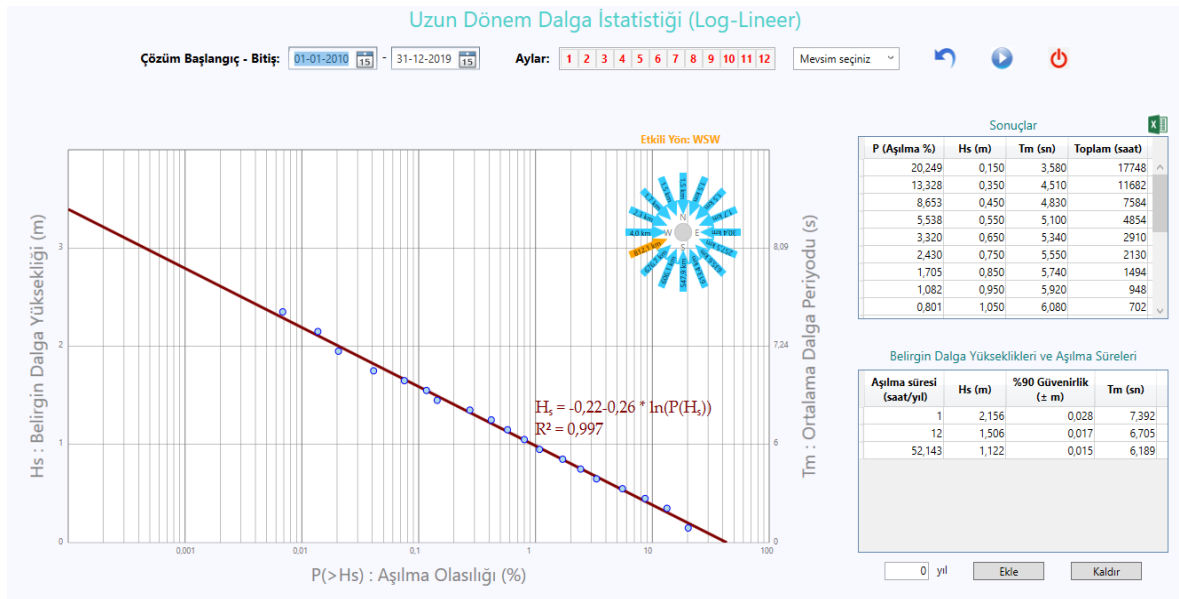
Beymelek Lagünü belirgin dalga yüksekliğine bağlı fırtına kabarması

Lagünün ilk zaman aralığındaki (2000-2010) uzun dönem dalga istatistiği Şekil 4.46'da verilmektedir.



Şekil 4.46. 2000-2010 yılları arası Beymelek Lagünü uzun dönem dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.46 incelendiğinde aşılma süresi 1 saat/yıl olan belirgin dalga yüksekliğinin 2,23 m olduğu görülmektedir. Fırtına kabarması için deniz tarafından esen hakim yönümüz olan Batı Güneybatı (WSW) yönü kullanılmaktadır. Dalga yüksekliğinin %10'u olarak ifade ettiğimiz kabarma miktarı hesaplandığında kabarmanın belirgin dalga yüksekliğine bağlı değerinin 0,23 m olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.47'de 2. zaman aralığına ait uzun dönem dalga istatistiği verilmektedir.



Şekil 4.47. 2010-2020 yılları arası Beymelek Lagünü uzun dönem dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2023)

Şekil 4.47 incelendiğinde 1 saat/yıl aşılma süresine sahip belirgin dalga yüksekliğinin 2,15 m olduğu görülmektedir. Kabarma miktarı ise 0,22 m olarak hesaplanmıştır. İki zaman aralığı kıyaslandığında 1 saat/yıl aşılma olasılığına sahip dalgaların fırtına kabarması değerinde %4,34 azalma hesaplanmıştır.

Beymelek Lagünü rüzgar hızına bağlı fırtına kabarması

Lagün içerisinde fırtına kabarması genliği hesaplanırken, bu nokta için iki zaman aralığının rüzgar hızları dikkate alınıp su derinliği ölçüm verilerinin yılları boyunca değişkenlik göstermediği kabul edilmiştir. Kabarmaya sebep olan rüzgarların denizden esen yönde olması gerekmektedir. Bu nedenle 19 yıllık verilerde denizden esen en yüksek değere sahip iki yönün ortalama rüzgar hızları kullanılmıştır. Çizelge 4.8’de rüzgar hızlarının değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.8. Yıllara göre hakim yönlerin rüzgar hızı ortalamaları

Yıl	Esme Yönü	Rüzgar Hızı(m/s)
2000	S	7,61
2001	SSW	7,87
2002	SSW	8,97
2003	SSE	7,59
2004	SSE	10,06
2005	SSW	6,41
2006	SW	6,28
2007	SSW	6,89
2008	WSW	6,55
2009	WSW	6,61
2010	WSW	8,24
2011	SSE	11,35
2012	WSW	7,94
2013	WSW	7,6
2014	WSW	7,14
2015	SE	10,58
2016	SSE	11,6
2017	SSE	11,41
2018	SSE	10,47
2019	SE	7,91

2000-2010 yılları arasındaki rüzgar hızı ortalamasının 7,48 m/s, 2010-2020 yılları

arasındaki rüzgar hızı ortalamasının ise 9,42 m/s olduğu belirlenmiştir. Fırtına kabarma değeri rüzgar hızının karesi ile orantılı olduğundan iki zaman aralığının kabarma değerleri arasında %58,56 fark oluşmuştur.

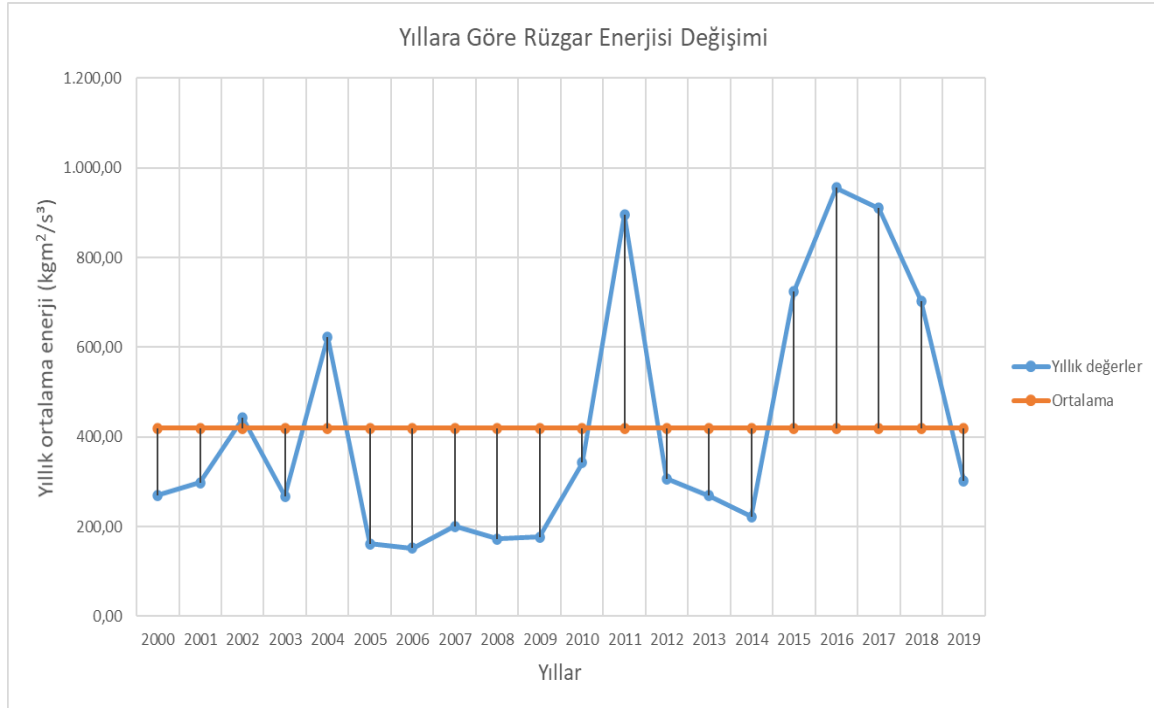
Beymelek Lagünü rüzgar enerjisi

2000-2020 yıllarına ait hakim rüzgar yönünde, fırtına kabarmasına neden olan rüzgarların hız değerleri ve enerjileri Çizelge 4.9’da verilmektedir.

Çizelge 4.9. Yıllara göre rüzgar enerjileri

Yıl	Esme Yönü	Rüzgar Hızı(m/s)	Rüzgar Enerjisi(kgm ² /s ³)
2000	S	7,61	269,94
2001	SSW	7,87	298,56
2002	SSW	8,97	442,06
2003	SSE	7,59	267,81
2004	SSE	10,06	623,59
2005	SSW	6,41	161,32
2006	SW	6,28	151,7
2007	SSW	6,89	200,34
2008	WSW	6,55	172,12
2009	WSW	6,61	176,89
2010	WSW	8,24	342,68
2011	SSE	11,35	895,56
2012	WSW	7,94	306,6
2013	WSW	7,6	268,87
2014	WSW	7,14	222,95
2015	SE	10,58	725,38
2016	SSE	11,6	956,05
2017	SSE	11,41	909,84
2018	SSE	10,47	702,99
2019	SE	7,91	303,13

Çizelge 4.9’daki veriler ile oluşturulan rüzgar enerjisi değişimi Şekil 4.48’de verilmiştir.



Şekil 4.48. 2000-2020 yılları arası rüzgar enerjileri

Şekil 4.48 ve Çizelge 4.9'daki veriler incelendiğinde 2000-2010 yılları arasındaki ortalama rüzgar enerjisinin $276,43 \text{ kgm}^2/\text{s}^3$ olarak hesaplanmıştır. 2010-2020 yılları arasındaki ortalama rüzgar enerjisi ise $563,40 \text{ kgm}^2/\text{s}^3$ olarak hesaplanmıştır. İki zaman aralığı karşılaştırıldığında rüzgar enerjisinde %103,81 artış olduğu hesaplanmıştır.

Beymelek Lagünü fırtına kabarmasına bağlı su seviyesi değişimi

Beymelek lagününün dalga ve rüzgar iklimine bağlı fırtına kabarması değerleri 3 farklı yaklaşım ile hesaplanmıştır. Belirgin dalga yüksekliği kullanılarak kabarma miktarının hesaplandığı yaklaşımda uzun dönem dalga istatistiğinden faydalanılmıştır. Dalga istatistiği verilerinden fırtına kabarması hesabından kullanılacak değer 1 saat/yıl aşılma olasılığına sahip belirgin dalga yüksekliğidir. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla uzun dönem dalga istatistiğinde kullanılan veriler iki zaman aralığına bölünmüş ve ilk zaman aralığı verileri 2000-2010 yıllarını kapsamaktadır. Şekil 4.46'da ilk zaman aralığında 1 saat/yıl aşılma olasılığına sahip belirgin dalga yüksekliği değer verilmektedir. Bu değer 2,23 metredir. Fırtına kabarması miktarı belirgin dalga yüksekliğinin %10'u ile hesaplanmaktadır. 2000-2010 yılları arası kabarma miktarı 0,23 metredir. İkinci zaman aralığı verileri 2010-2020 yıllarını kapsamaktadır. Şekil 4.47'de ikinci zaman aralığına ait uzun dönem dalga istatistiği verilmektedir.

İkinci zaman aralığında 1 saat/yıl aşma olasılığına sahip dalga yüksekliği 2,15 metredir. Kabarma miktarı ise 0,22 metre olarak hesaplanmıştır. İki zaman aralığına ait kabarma miktarları karşılaştırıldığında 2. zaman aralığında kabarma miktarı %4,34 azalma göstermektedir. Lagünün rüzgar iklimine bağlı kabarma hesabı yapılırken 2 farklı yaklaşım kullanılmıştır. Bunlardan birincisi kabarma değeri hesabıdır. Kabarma değeri hesabında rüzgar hızının karesine bağlı değişen kabarma değerleri hesaplanmış ve bu değerler iki zaman aralığına bölünerek karşılaştırılmıştır. Birinci zaman aralığı olan 2000-2010 yılları arasındaki rüzgar hızlarının ortalaması 7,48 m/s hesaplanmıştır. İkinci zaman aralığı ise 2010-2020 yıllarını kapsamakta ve rüzgar hızlarının ortalaması ise 9,42 m/s olarak hesaplanmıştır. İkinci zaman aralığında kabarma değeri %58,56 artmıştır. Rüzgar ikliminden yararlanılarak yapılan bir diğer kabarma yüksekliği analizinde ise rüzgar enerjisinden faydalanılmıştır. Rüzgar enerjisindeki artış kabarma miktarında artış olacağı yorumunun yapılmasını sağladığı için lagünün su seviyesi değişimini yorumlamak adına yıllık rüzgar enerjileri hesaplanmış ve 2000-2020 yılları arasındaki rüzgar enerjileri Çizelge 4.9'da verilmiştir. Hesaplanan değerler sonucu lagünün maksimum rüzgar enerjisine ise 2016 yılında ulaştığı görülmüştür. Rüzgar enerjiler iki zaman aralığına bölünürse ilk zaman aralığı olan 2000-2010 yılları arası rüzgar enerjisi ortalaması $276,43 \text{ kgm}^2/\text{sn}^3$ hesaplanmıştır. 2010-2020 yılları arasındaki rüzgar enerjisi ortalaması ise $563,40 \text{ kgm}^2/\text{sn}^3$ hesaplanmıştır. İkinci zaman aralığının rüzgar enerjileri ortalaması birinci zaman aralığına göre %103,81 artış göstermiştir. Bu üç yaklaşımla elde edilen sonuçlar Beymelek Lagününün fırtına kabarması etkisiyle su seviyesinde yukarı yönlü değişim olacağına dair yorum yapılmasını sağlamaktadır. Rüzgar hızındaki artış ve dolayısıyla rüzgar enerjisi lagün içerisindeki su yüksekliğinin artacağını göstermektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Canlıların yaşam kaynağı olan suyun günümüz ve gelecekteki davranışı yaşamı sürdürebilmek ve olası risklere karşı önlem olabilmek açısından önemlidir. Özellikle günümüzde gündemden düşmeyen ve yerkürenin bir numaralı sorunlarından biri olan iklim değişikliğinin su kütlelerimiz üzerindeki davranışı bu sebepten oldukça önemlidir. İklim değişiminin etkisiyle oluşan su seviyesi değişimi su kütlelerinin biyolojik ve dinamik kimliklerini etkilemektedir. Lagün geçiş suyu adı verilen hassas su kütlelerinin iklim değişimine karşı davranışı çalışmanın ana konusu olarak belirlenmiştir.

Lagün geçiş suları temiz su rezervi olması ve biyolojik çeşitlilik açısından zengin olması sebebiyle bu su kütlelerinin iklim değişimine karşı davranışının tahmin edilmesi gereklidir. Dünyada iklim değişimine karşı su kütlelerinin davranışının incelendiği diğer çalışmalarda Akdeniz bölgesinin su kütlelerinin davranışlarında sıcaklık değişiminin diğer bölgelere göre daha fazla olduğu ve buradaki canlıların tepkisinin incelenmesi gerektiği, bu bölgenin üzerinde bilgi sahibi olmak ve gelecekteki duruma dair tahminde bulunmak gerektiği görülmüştür. Bu durumun sonucunda çalışmada Doğu Akdeniz baseninde bulunan lagünleri incelenmesi gerektiğine karar verilmiştir. Çalışmada üç adet lagün geçiş suyu kütlesi incelenmiştir. Bunlar; Yumurtalık Lagünü, Akyatan Lagünü ve Beymelek Lagünüdür.

Çalışmada Doğu Akdeniz lagünlerinin iklim değişimine karşı davranışını inceleyebilmek açısından üç boyutlu hidrodinamik taşınım ve su kalitesi modelinden yararlanılmıştır. Üç boyutlu hidrodinamik taşınım modelleri ortalama su derinliğinin daha az olduğu su kütlelerindeki davranışı daha doğru ifade etmektedir. Kullanılan üç boyutlu hidrodinamik taşınım ve su kalitesi model sistemi HYDROTAM-3D (HYDROTAM-3D, 2023) ile üç lagünün de iklim değişimine karşı davranışları incelenmiştir. Çalışmada AOVHTM (ECMWF, 2022) verilerinden yararlanılmıştır. Veriler 2000-2020 yıllarının ölçümelerini kapsamaktadır. Ölçümler kesintisizdir. İklim değişimi gibi uzun vadede etkisi görülebilen olaylarda daha doğru yorum yapabilmek açısından veriler onar yıllık iki zaman aralığına bölünerek incelenmiştir. Çalışmada yirmi yıllık süre içerisinde rüzgar, dalga iklimi ve sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Rüzgar ve dalga iklimi verileri ile fırtına kabarma değerleri hesaplanmıştır. Çıkan yüzdesel değişimler belirlenerek artış/azalış belirlenmiştir. Çalışmanın matematiksel modelleme kısmının kontrolünü sağlamak amacıyla geçmiş

yıllarda yapılan tuzluluk ve pH derecesi ölçümleri incelenerek değişim belirlenmiştir. Matematiksel modeller ile geçmiş çalışmaların karşılaştırılması sonucunda model verileri ile çalışmaların birbirini destekler nitelikte olduğu görülmüştür.

Yumurtalık Lagünü için yapılan üç boyutlu modelleme sonucunda lagünün rüzgar iklimi belirlenmiştir. Lagünün hakim denizel yönü Güney Güneybatı (SSW) olarak belirlenmiştir. Çalışmada ilk zaman aralığı olan 2000-2010 yıllarındaki yıllık ve maksimum rüzgar hızları sırasıyla 3,94 m/s ve 16,36 m/s olarak bulunmuştur. İkinci zaman aralığı olan 2010-2020 yılları arasında ise yıllık ortalama rüzgar hızı 4,82 m/s ve maksimum rüzgar hızı ise 16,66 m/s olarak bulunmuştur. İki zaman aralığı karşılaştırıldığında yıllık ortalama rüzgar hızında %22,35 artış, maksimum rüzgar hızında ise %2 artış olduğu belirlenmiştir. Lagünün dalga iklimi incelendiğinde ilk zaman aralığında belirgin dalga yüksekliğinin 0,31 m olduğu belirlenmiştir. İkinci zaman aralığında ise bu değer 0,40 m'ye yükselmiştir. Belirgin dalga yüksekliği ikinci zaman aralığında %30 artmıştır. Lagünün sıcaklık değişimi incelendiğinde ikinci zaman aralığında kış mevsimi sıcaklık ortalamasının 14,32 °C'den 16,11 °C'ye yükseldiği bu artışın da %12,50 değerine karşılık geldiği belirlenmiştir. Lagünün fırtına kabarması yüksekliğini hesaplayabilmek için üç farklı yöntem irdelenmiştir.

Belirgin dalga yüksekliği kullanılarak kabarma miktarının hesaplandığı yaklaşımda uzun dönem dalga istatistiğinden faydalanılmıştır. Dalga istatistiği verilerinden fırtına kabarması hesabından kullanılacak değer 1 saat/yıl aşılma olasılığına sahip belirgin dalga yüksekliğidir. Fırtına kabarması miktarı belirgin dalga yüksekliğinin %10'u ile hesaplanmaktadır. İki zaman aralığına ait kabarma miktarları karşılaştırıldığında ikinci zaman aralığında kabarma miktarı %25 artış göstermektedir. Lagünün rüzgar iklimine bağlı kabarma hesabı yapılırken iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Bunlardan birincisi kabarma değeri hesabıdır. Kabarma değeri hesabında rüzgar hızının karesine bağlı değişen kabarma değerleri hesaplanmış ve bu değerler iki zaman aralığına bölünerek karşılaştırılmıştır. İkinci zaman aralığında kabarma değeri %24,89 artmıştır. Rüzgar ikliminden yararlanılarak yapılan bir diğer kabarma yüksekliği analizinde ise rüzgar enerjisinden faydalanılmıştır. Rüzgar enerjisindeki artış kabarma miktarında artış olacağı yorumunun yapılmasını sağladığı için lagünün su seviyesi değişimini yorumlamak adına yıllık rüzgar enerjileri hesaplanmıştır. İkinci zaman aralığının rüzgar enerjileri ortalaması birinci zaman aralığına göre %37,36 artış göstermiştir. Lagündeki fiziksel değişimlerin kontrolünü sağlamak amacıyla biyolojik parametrelerin değişikliklerini içeren çalışmalardan yararlanılmıştır. Buna göre yapılan çalışmalardaki

tuzluluk ve pH verileri incelenmiştir. İncelenen verilere göre 1999-2009 yılları arasında lagündeki tuzluluk %49,10 artmıştır. PH derecesi ise %8,10 artmaktadır.

Akyatan Lagünü için yapılan üç boyutlu modelleme sonucunda lagünün rüzgar iklimi belirlenmiştir. Lagünün hakim denizel yönü Güney Güneybatı (SSW) olarak belirlenmiştir. Çalışmada ilk zaman aralığı olan 2000-2010 yıllarındaki yıllık ve maksimum rüzgar hızları sırasıyla 4,22 m/s ve 14,96 m/s olarak bulunmuştur. İkinci zaman aralığı olan 2010-2020 yılları arasında ise yıllık ortalama rüzgar hızı 4,42 m/s ve maksimum rüzgar hızı ise 16,80 m/s olarak bulunmuştur. İki zaman aralığı karşılaştırıldığında yıllık ortalama rüzgar hızında %4,80 artış, maksimum rüzgar hızında ise %12,30 artış olduğu belirlenmiştir. Lagünün dalga iklimi incelendiğinde ilk zaman aralığında belirgin dalga yüksekliğinin 0,46 m olduğu belirlenmiştir. İkinci zaman aralığında ise bu değer 0,56 m'ye yükselmiştir. Belirgin dalga yüksekliği ikinci zaman aralığında %22 artmıştır. Lagünün sıcaklık değişimi incelendiğinde ikinci zaman aralığında kış mevsimi sıcaklık ortalamasının 11,33 °C'den 11,53 °C'ye yükseldiği bu artışın da %1,76 değerine karşılık geldiği belirlenmiştir. Lagünün fırtına kabarması yüksekliğini hesaplayabilmek için üç farklı yöntem irdelenmiştir.

Belirgin dalga yüksekliği kullanılarak kabarma miktarının hesaplandığı yaklaşımda uzun dönem dalga istatistiğinden faydalanılmıştır. Dalga istatistiği verilerinden fırtına kabarması hesabından kullanılacak değer 1 saat/yıl aşılma olasılığına sahip belirgin dalga yüksekliğidir. Fırtına kabarması miktarı belirgin dalga yüksekliğinin %10'u ile hesaplanmaktadır. İki zaman aralığına ait kabarma miktarları karşılaştırıldığında ikinci zaman aralığında kabarma miktarı %22,85 artış göstermektedir. Lagünün rüzgar iklimine bağlı kabarma hesabı yapılırken iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Bunlardan birincisi kabarma değeri hesabıdır. Kabarma değeri hesabında rüzgar hızının karesine bağlı değişen kabarma değerleri hesaplanmış ve bu değerler iki zaman aralığına bölünerek karşılaştırılmıştır. İkinci zaman aralığında kabarma değeri %13,62 artmıştır. Rüzgar ikliminden yararlanılarak yapılan bir diğer kabarma yüksekliği analizinde ise rüzgar enerjisinden faydalanılmıştır. Rüzgar enerjisindeki artış kabarma miktarında artış olacağı yorumunun yapılmasını sağladığı için lagünün su seviyesi değişimini yorumlamak adına yıllık rüzgar enerjileri hesaplanmıştır. İkinci zaman aralığının rüzgar enerjileri ortalaması birinci zaman aralığına göre %20,35 artış göstermiştir.

Beymelek Lagünü için yapılan üç boyutlu modelleme sonucunda lagünün rüzgar iklimi belirlenmiştir. Lagünün hakim denizel yönü Güneybatı (SW) olarak belirlenmiştir. Çalışmada ilk zaman aralığı olan 2000-2010 yıllarındaki yıllık ve maksimum rüzgar hızları sırasıyla 3,29 m/s ve 14,23 m/s olarak bulunmuştur. İkinci zaman aralığı olan 2010-2020 yılları arasında ise yıllık ortalama rüzgar hızı 4,18 m/s ve maksimum rüzgar hızı ise 16,80 m/s olarak bulunmuştur. İki zaman aralığı karşılaştırıldığında yıllık ortalama rüzgar hızında %27,06 artış, maksimum rüzgar hızında ise %18 artış olduğu belirlenmiştir. Lagünün dalga iklimi incelendiğinde ilk zaman aralığında belirgin dalga yüksekliğinin 0,42 m olduğu belirlenmiştir. İkinci zaman aralığında ise bu değer 0,48 m'ye yükselmiştir. Belirgin dalga yüksekliği ikinci zaman aralığında %15 artmıştır. Lagünün sıcaklık değişimi incelendiğinde ikinci zaman aralığında kış mevsimi sıcaklık ortalamasının 15,99 °C'den 26,29 °C'ye yükseldiği bu artışın da %64,40 değerine karşılık geldiği belirlenmiştir. Lagünün fırtına kabarması yüksekliğini hesaplayabilmek için üç farklı yöntem irdelenmiştir.

Belirgin dalga yüksekliği kullanılarak kabarma miktarının hesaplandığı yaklaşımda uzun dönem dalga istatistiğinden faydalanılmıştır. Dalga istatistiği verilerinden fırtına kabarması hesabından kullanılacak değer 1 saat/yıl aşılma olasılığına sahip belirgin dalga yüksekliğidir. Fırtına kabarması miktarı belirgin dalga yüksekliğinin %10'u ile hesaplanmaktadır. İki zaman aralığına ait kabarma miktarları karşılaştırıldığında ikinci zaman aralığında kabarma miktarı %4,34 azalma göstermektedir. Lagünün rüzgar iklimine bağlı kabarma hesabı yapılırken iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Bunlardan birincisi kabarma değeri hesabıdır. Kabarma değeri hesabında rüzgar hızının karesine bağlı değişen kabarma değerleri hesaplanmış ve bu değerler iki zaman aralığına bölünerek karşılaştırılmıştır. İkinci zaman aralığında kabarma değeri %58,56 artmıştır. Rüzgar ikliminden yararlanılarak yapılan bir diğer kabarma yüksekliği analizinde ise rüzgar enerjisinden faydalanılmıştır. Rüzgar enerjisindeki artış kabarma miktarında artış olacağı yorumunun yapılmasını sağladığı için lagünün su seviyesi değişimini yorumlamak adına yıllık rüzgar enerjileri hesaplanmıştır. İkinci zaman aralığının rüzgar enerjileri ortalaması birinci zaman aralığına göre %103,81 artış göstermiştir.

Lagünlerin bulunduğu Doğu Akdeniz Bölgesi lesepsiyeen göçe yoğun olarak maruz kalmaktadır. Kızıldeniz'den gelen balık türleri Doğu Akdeniz'e yerleşmiş ve uyum sağlamışlardır. Bunun en önemli sebebi Akdeniz'in sıcaklığının artmasıdır. Bu türlerin uzun vadede yerel türlere zarar verdiği belirlenmiştir. Gelecek çalışmalarda bu türlerin üzerinde

alışmalar yapılması gerekli gör÷lmektedir.

Bu alışmalar kapsamında Yumurtalık, Akyatan ve Beymelek Lag÷nleri su alanlarında,

- Rüzgar hızları ve yönlerinin, ve dalga yüksekliği ve periyotlarının, 2000-2020 yılları arası altışar saatlik kesintisiz zaman serisi tahminlerine dayanılarak yüzdesel değişimleri hesaplanmış,
- 2000-2020 yılları arası sıcaklık değişimleri tespit edilmiş,
- Fırtına kabarması değerleri hesaplanarak incelenmiş,
- Rüzgar ve dalga iklimi parametrelerinin değişimleri analiz edilmiştir.

Gelecekte yapılması önerilen alışmalar,

- Kıyı geçiş sularında kıyı mühendisliği açısından rüzgar, dalga, su seviyesi, fizyokimyasal ve biyolojik kalite parametrelerinde ölçümsel veri eksikliği mevcuttur. Eşlenik ve sürekli izleme çalışmaları yapılması ve modelleme çalışmaları ile daha geniş alanlara ve geleceğe yönelik tahminler elde edilmesi önemli ve gereklidir.
- Uzun dönemde incelenmesi gereken iklim değişimi parametrelerinin izleme ve modelleme çalışmaları artırılmalıdır.
- Kıyı geçiş sularındaki canlıların izlenmesi, mevcut durum tesbitinin yapılması, iklim değişimi parametreleri ile ilişkilerinin araştırılması ve gelecekteki değişimlerin tahmin edebilmesi için karmaşık sistem modellemelerinin yürüt÷lmesi gereklidir.

KAYNAKLAR

- Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü. (2016). Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları. Ankara, Türkiye: *T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı*, 40-42.
- Avşar, D., (1999). Yeni Bir Skifomedüz (*Rhopilema nomadica*)’ün Dağılımı ile İlgili Olarak Doğu Akdeniz’in Fiziko-Kimyasal Özellikleri. *Turkish Journal of Zoology*, 23(2), 605-616.
- Aydın, H., (2015). The Salinity Problem at Yelkoma Lagoon (Yumurtalık-Adana) and Its Restoration by Mixing with Freshwater from Ceyhan River. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24, 235-243.
- Balas, L.(2002). Kıyı Lagünlerindeki Çevrintilerin Üç Boyutlu Matematiksel Modelle İncelenmesi. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 13, 2691- 2708.
- Balas L., İnan A., Yıldız İ. (2006). Numerical modelling of coastal currents, *Lecture Notes in Computer Science*, 3980, 547-555.
- Balas, L., Numanoğlu Genç, A., Eser, E., (2020). Transitional waters typology in Turkey: Melen estuary case study, *Journal of Coastal Research*, 95, 18-22.
- Balas, L., Numanoğlu Genç, A., Inan, A. (2012). *HYDROTAM: 3D model for hydrodynamic and transport processes in coastal waters*. International Congress on Environmental Modelling and Software, 376.
- Balas L., Özhan E., (2000). An implicit three dimensional numerical model to simulate transport processes in coastal water bodies. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, USA: John Wiley and Sons Yayınevi, 34, 307-339.
- Balas, L., Özhan, E., (2001). Applications of a 3-D Numerical Model to Circulation in Coastal Waters. *Coastal Engineering Journal*, 43(2), 99-120.
- Balas L., Özhan E., (2002). Three dimensional modelling of stratified coastal waters, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56, 75-87.
- Bae, M.-J., (2019). Evaluation of precipitation impacts on benthic macroinvertebrate communities at three different stream types. *Ecological Indicators*, 102, 446-456.
- Buyruk, T. (2018). *Türkiye kıyıları rüzgar ve dalga iklimi ile enerji potansiyelinin CBS tabanlı elektronik atlası*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Cebe, K., Balas, L., (2016). Water quality modelling in Kaş Bay, *Applied Mathematical Modelling*, 40, 3, 1887-1913.
- Cebe K., Balas L., (2018). Monitoring and modeling land-based marine pollution. *Regional Studies in Marine Science*. 24, 23-39.

- US Army Corps of Engineers. (2006). *CEM, Coastal Engineering Manual*. Washington DC, USA: Coastal Engineering Research Center, 623.
- Cramer, W., (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8, 972-980.
- Cross, W. F., Hood, J. M., Benstead, J. P., Huryn, A. D., Nelson, D., (2015). Interactions between temperature and nutrients across levels of ecological organization. *Global Change Biology*, 21(3), 1025-1040.
- Çevik, F., (2008). Seasonal variations of phytoplankton in the Akyatan and Tuzla lagoons (Adana, Turkey). *Journal of Fisheries Sciences*, 19-29.
- Daniel, V. (2001). Phytoplankton. *Encyclopedia of life sciences*. New York: Macmillan Publishers Ltd, 1-5.
- Demir, A., (2008). *Akyatan Lagününde Tuzluluk ve Bazı Kirlilik Düzeylerinin Saptanarak Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Dağılımlarının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Dural, M. (2006). Çamlık Lagünü (Karataş, Adana), Seston, Bento ve Sedimentinde Mevsimsel Ağır Metal Değişimi. *Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 23, 65-69.
- Ergenler, A. (2016). *İskenderun Körfezi'nde Beyaz Sokar (Siganus Rivulatus (Forsskal, 1775)'ın Bazı Biyolojik Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay.
- Ergüden, D., (2009). Weight–Length Relationships for 20 Lessepsian Fish Species Caught By Bottom Trawl on the Coast of Iskenderun Bay (NE Mediterranean Sea, Turkey). *Journal of Applied Ichthyology*, 25, 133-135.
- Ergüden, D., (2018). Türkiye'nin Güney Kıyılarında Dağılım Gösteren Yabancı Balık (Hint Pasifik ve Atlantik Kökenli) Faunasındaki Yeni Gelişmeler. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4).
- Eser, E. (2021). *Türkiye Kıyı ve Geçiş Sularında Tipoloji Belirleme Çalışmaları*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Fichez, R., Archundia, D., Grenz, C., Douillet, P., Gutiérrez Mendieta, F., Origel Moreno, M., Denis, L., Contreras Ruiz Esparza, A., Zavala-Hidalgo, J., (2016). Global climate change and local watershed management as potential drivers of salinity variation in a tropical coastal lagoon (Laguna de Terminos, Mexico). *Aquatic Sciences*, 79(2), 219-230.
- Genç, A.N., Vural, N., Balas, L. (2020). Modeling transport of microplastics in enclosed coastal waters: A case study in the Fethiye Inner Bay. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110747.
- Google Earth (Cartographer). (2022). *Google Earth Electronic Map*

- Gözcüoğlu, B. (2012). Tropikleşen Akdeniz ve Beklenen Ziyaretçiler. *Bilim ve Teknik*, 535, 57.
- Hersbach, H, Bell, B, Berrisford, P, et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146, 1999–2049.
- Huang, P., Hennig, K., Kala, J., Andrys, J., Hipsey, M. R., (2020). Climate change overtakes coastal engineering as the dominant driver of hydrological change in a large shallow lagoon. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(11), 5673-5697.
- HYDROTAM-3D, (2023). Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım ve Su Kalitesi Modeli, <http://hydrotam.com>
- Imaz-Lamadrid, M., Wurl, J., Ramos-Velázquez, E., (2019). Future of Coastal Lagoons in Arid Zones under Climate Change and Anthropogenic Pressure. A Case Study from San Jose Lagoon, Mexico. *Resources*, 8(1), 57.
- İboş D., Balas L., Yıldırım P. (2022). *Kıyı Lagünlerinde İklim Değişikliğinin Etkileri*, IV. International Ankara Multidisciplinary Studies Congress, Ankara, 342-350.
- İnan, A., Balas L., (2009). Numerical modeling of extended mild slope equation with Mac Cormack Method. *Mathematics and Computers in Science and Engineering*, 1, 195-210.
- İnan, A., Balas, L., (2021). Modeling of dilutions of heated discharges in Iskenderun Bay. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30, 6B,7723-7734.
- İspirli, S. (2009). *İzmir Tahtalı Baraj Gölü'nün toksik siyanobakteri türleri ve bazı mikrosistin varyantları yönünden araştırılması*. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- İnternet: Yumurtalık Lagünü, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü. URL: <https://www.tarimorman.gov.tr/DKMP/Belgeler/Korunan%20Alanlar%20Listesi/M-P-WEB-Son.pdf>, Son Erişim Tarihi:12.03.2023.
- İnternet: Orman Genel Müdürlüğü, CBS Elektronik Harita. URL: <https://cbs.ogm.gov.tr/vatandas/>, Son Erişim Tarihi:12.03.2023.
- İnternet: ECMWF. (2022). ECMWF Datasets. URL: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets>, Son Erişim Tarihi: 12.10.2022.
- Kadak, A. (2017). Su Sıcaklığının Diğer Su Özelliklerine Olan Etkileri. *Menba Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*. 2147-2254.
- Kayhan, F. (2021). Türkiye Kıyılarında İstilacı Zehirli Balon Balığı (*Lagocephalus sceleratus* Gmelin, 1789). *Doğanın Sesi*, 4(8), 35-46.
- Kenneth, R. H. (2002). Effects of pH on coastal marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 238, 281-300.

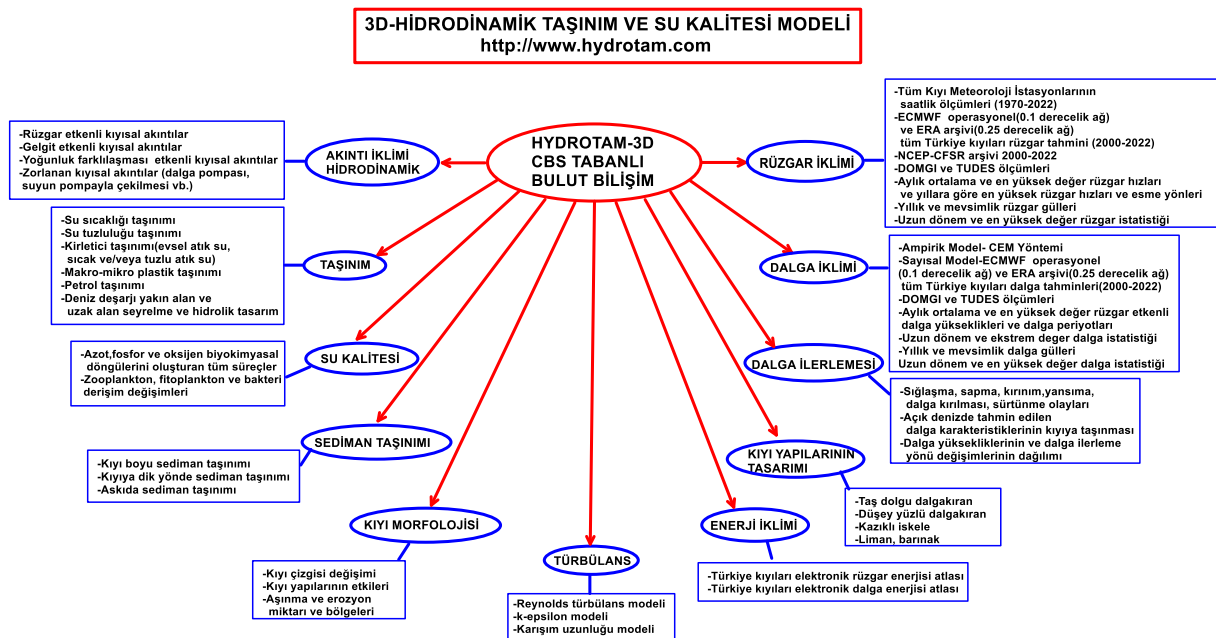
- Keser, N. (2011). Limnologic and Geomorphic Properties of Beymelek Lagoon. *Marmara Geographic Journal*, 1303-2429, 258-286.
- Kılar, H. (2017). Göksu Deltası'nda Fırtına Kabarmasına Bağlı Deniz Seviyesi Değişimleri. *International Journal of Human Sciences*, 14(3), 3268-3281.
- Kırdağlı, M. (1999). Lagün-Deniz Etkileşiminin İncelenmesi. *Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi Bildiri Kitabı*. İstanbul: İTÜ Yayınevi, 367-377.
- Lentz, E. E., Zeigler, S. L., Thieler, E. R., Plant, N. G. (2020). Probabilistic patterns of inundation and biogeomorphic changes due to sea-level rise along the northeastern U.S. Atlantic coast. *Landscape Ecology*, 36(1), 223-241.
- Lopes, D. (2019). Climate Change Impact in the Ria de Aveiro Lagoon Ecosystem: A Case Study. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(10), 352.
- Manaşırılı, M., Mavruk, S., Yeldan, H., Avsar, D. (2020). Population Dynamics of Suez Pufferfish (*Lagocephalus suezensis*) in Iskenderun Bay. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 20(10), 749-754.
- Mastrocicco, B., Colombani, Vigliotti, Ruberti. (2019). Modelling Actual and Future Seawater Intrusion in the Variconi Coastal Wetland (Italy) Due to Climate and Landscape Changes. *Water*, 11(7), 1502.
- Öztürk, T. (2014). Analysing Projected Changes in Future Air Temperature and Precipitation Climatology of Turkey by Using RegCM4.3.5 Climate Simulations. *Aegean Geographical Journal*, 23(1), 1-24.
- Polat N. (2011). İstilacı Balık Türleri ve Hayat Stratejileri. *The Black Sea Journal of Sciences*, 1(4), 63-86.
- Perker M. (2014). *İskenderun Körfezi'nde Dağılım Gösteren Lesepsiye Balık Türlerinin Avdaki Bulunurluğu ve Trol Torba Seçiciliğinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Pytkowicz, R. M., Riley, J. P., and G. Skirrow. (1976). Chemical oceanograph. *Limnology and Oceanography*, 21(2), 345-347.
- Shalby, A., Elshemy, M., Zeidan, B. A. (2021). Modeling of climate change impacts on Lake Burullus, coastal lagoon (Egypt). *International Journal of Sediment Research*, 36(6), 756-769.
- Scott, D. M., Lucas, M. C., Wilson, R. W. (2005). The effect of high pH on ion balance, nitrogen excretion and behaviour in freshwater fish from an eutrophic lake: A laboratory and field study. *Aquatic Toxicology*, 73(1), 31-43.
- Suh, K.-D., Kim, S.-W., Mori, N., Mase, H. (2012). Effect of Climate Change on Performance-Based Design of Caisson Breakwaters. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 138(3), 215-225.

- Şahin, C. (2020). Sakarya Nehri Deltası'nda Uzun Süreli Rüzgar ve Dalga İklimi Değişimleri. *Dokuz Eylul University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*, 22(65), 353-368.
- Şanlı, B. (2017). Effects Of the Global Climate Change and International Initiatives Aimed at Preventing Such Effects. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1), 201-212.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2019). Akyatan Ve Tuzla Lagünleri Yönetim Planı *Tarım ve Orman Bakanlığı*. Adana.
- Ülker, D., Burak, S., Balas, L., Çağlar, N. (2022). Mathematical modelling of oil spill weathering processes for contingency planning in Izmit Bay, *Regional Studies in Marine Science*, 50, 102155.
- Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., Hyde, K. J. W., Morelli, T. L., Morissette, J. T., Munoz, R. C., Pershing, A. J., Peterson, D. L., Poudel, R., Staudinger, M. D., Sutton-Grier, A. E., Thompson, L., Vose, J., Weltzin, J. F., Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Science of The Total Environment*, 733, 137782.
- Wider, E. (2009). *Simple Moving Averages: A Ten-Year Test*. Yüksek Lisans Tezi, Oregon State University, Oregon.
- World Meteorological Organization (2011). Guide to Storm Surge Forecasting. *WMO*. 1-3.
- Yıldırım, P. (2019). Monitoring and Evaluation of Coastal Water Quality Parameters in Fethiye Bay, Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(5).
- Yıldırım, P. (2017). Kıyısıl Sularda Su Kalitesi Parametrelerinin İzlenmesi ve Değerlendirilmesi, *TÜBİTAK 3001 projesi*.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2014). Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik. *Orman ve Su İşleri Bakanlığı*. Ankara, 4-6.

EKLER

EK-1. HYDROTAM-3D Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım ve Su Kalitesi Modeli

Kıyı ve geçiş suları için geliştirilen HYDROTAM-3D, 1990 yılından bugüne dek, çok sayıda bilimsel araştırma ve uygulama projeleri, bilimsel kaynaklarda yayınlanan analitik ve deneysel sonuçlar ve saha ölçümleri ile doğrulanmış bir üç boyutlu hidrodinamik, taşınım ve su kalitesi modelleme sistemidir (Balas vd., 2020, Balas ve Özhan, 2000, 2001; Cebe ve Balas, 2016, 2018; Genç vd., 2020; İnan ve Balas, 2021; Ülker vd., 2022). Türkiye'nin tüm kıyı ve geçiş sularına uyarlanmış olup ilişkisel bir veri tabanına sahiptir (Yıldırım ve Balas, 2021). Coğrafi Bilgi Sistem (CBS) ve bulut bilişim teknolojisi desteklidir. Görsel bir "Karar Destek" sistemi içermekte olup web arayüzü sayesinde kullanıcı dostudur (Balas vd., 2011). Model kullanıcısının tek ihtiyacı internet erişimi ve internet tarayıcısıdır. Model yazılımının tüm girdi veri tanımlamaları ve çıktı analizleri CBS üzerinden yapılmaktadır. Model sistemi çok sayıda birbirleri ve veri tabanı ile etkileşim halinde olan alt modellerden oluşmaktadır. HYDROTAM-3D model sistemi Şekil 1 de gösterilmiştir. Başlıca alt modeller: rüzgar iklimi, dalga iklimi, dalga ilerlemesi, türbülans, akıntı iklimi, taşınım, su kalitesi, sediman taşınımı, kıyı morfolojisi ve enerji iklimidir.



Şekil 1. HYDROTAM-3D model sistemi alt modülleri

Bu tez çalışmasında HYDROTAM-3D model sisteminin rüzgar ve dalga iklimi alt modülleri kullanılmıştır.

EK-1. (devam) HYDROTAM-3D Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım ve Su Kalitesi Modeli

1.1 Rüzgâr İklimi Alt Modeli

Bir kıyı bölgesini etkileyen rüzgâr özelliklerini belirten rüzgâr iklimi, hemen hemen tüm kıyı ve deniz etkinlikleri için göz önüne alınması gereken temel unsurdur. HYDROTAM-3D, veri tabanında, Türkiye kıyılarının tüm Meteoroloji İstasyonlarının kuruluşlarından günümüze saatlik rüzgâr (1970-2021 dönemi) ölçüm verilerini içermektedir. Diğer veri setleri modeller tarafından altı saat aralıklı olarak tahmin edilen rüzgarlar olup, 33° ila 45° kuzey enlemleri ve 22° ila 42° doğu boylamları arasında ve 10 metre seviyesindeki rüzgârın yatay (u) ve dikey (v) bileşeni olacak şekilde Avrupa Orta Vadeli Tahminler Merkezi'nin (ECMWF, European Centre for Medium Range Weather Forecast) Meteorolojik Arşivleme Sistemi (Meteorological Archiving and Retrieval System-MARS) veri tabanından elde edilmiştir. HYDROTAM-3D modelinin rüzgâr iklimi modülünde 2000-2021 dönemi 0,1x0,1 derece çözüm ağı aralıklı ECMWF-OA (Operasyonel Arşivi) ve 0,25x0,25 derece çözüm ağı aralıklı ERA5 (ECMWF Renalysis) arşivinin (Hersbach, 2020), “u” ve “v” hız bileşenleri formatındaki tahminleri rüzgar bileşke hızı ve yönü formatına çevrilmektedir. Benzer şekilde HYDROTAM-3D modeli veri sisteminde, Ulusal Çevresel Tahmin Merkezleri (NCEP) İklim Tahmin Sistemi Yeniden Analizi (CFSR) (The National Centers for Environmental Prediction, Climate Forecast System Reanalysis NCEP-CFSR) 0,5x0,5 derece çözüm ağı aralıklı arşivinin 1979-2014 dönemi altı saat aralıklı tahminleri de bulunmaktadır. Tüm “Meteoroloji ölçüm” ve “Model Tahmini” istasyonlarının yerleri, Türkiye haritası üzerinde CBS ortamında gösterilmektedir. Çalışılmak istenen denizel alan, harita üzerinde işaretlenebilmekte ve alana en yakın meteoroloji istasyonları harita üzerinde gösterilmektedir. Kullanıcı çalışmak istediği istasyonu harita üzerinden seçebilmektedir. Seçilen istasyona ait kesintisiz rüzgâr verilerinin zaman serisi analiz edilmekte, aylık, yıllık ve mevsimlik rüzgâr gülleri sunulmaktadır. Yıllık rüzgâr gülü, istasyonlardaki ölçüm süresi ya da rüzgar tahmin süresi boyunca, farklı yönlerden farklı hızlar ile esen rüzgârların oluşma oranlarını göstermektedir. Rüzgârın hangi yönden hangi yöne doğru esmekte olduğunu gösteren yön dilimleri, coğrafik yönlerle aynı seçilmiştir. Bu yönler Kuzey (N) yönünden başlayarak saat yönünde, N (Kuzey), NNE (KuzeyKuzeyDoğu), NE (KuzeyDoğu), ENE (DoğuKuzeyDoğu), E (Doğu), ESE (DoğuGüneyDoğu), SE (Güney Doğu), SSE (GüneyGüneyDoğu), S (Güney), SSW (GüneyGüneyBatı), SW (GüneyBatı), WSW (BatıGüneyBatı), W (Batı), WNW (BatıKuzeyBatı), NW (KuzeyBatı)

EK-1. (devam) HYDROTAM-3D Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım ve Su Kalitesi Modeli NNW(KuzeyKuzeyBatı) olarak sıralanmaktadır. Rüzgâr hızları, rüzgâr gülünün yanında ölçek olarak sunulmaktadır. Rüzgârın herhangi bir yönden oluşma sayıları rüzgâr gülünde gösterilmektedir. Mevsimsel rüzgâr gülleri, kış, sonbahar, ilkbahar ve yaz mevsimi aylarının rüzgâr verilerini gruplandırarak, yıllık rüzgâr gülüyle benzer çizimde sunmaktadır. Kış mevsimi, Aralık, Ocak, Şubat, ayları saatlik rüzgâr verilerini; İlkbahar mevsimi Mart, Nisan, Mayıs ayları saatlik rüzgâr verilerini; Yaz mevsimi Haziran, Temmuz, Ağustos ayları saatlik rüzgâr verilerini; Sonbahar mevsimi ise Eylül, Ekim, Kasım saatlik rüzgâr verilerini kapsamaktadır. Aylık ortalama ve en yüksek değer rüzgâr hızları da bir grafik olarak sunulmaktadır. Rüzgâr hızlarının aylık ortalamaları, meteoroloji istasyonlarının kurulduğu tarihten günümüze dek, o ay içindeki tüm rüzgâr hızlarının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Aylık en yüksek değerler olarak, aynı sürelerde o ay içerisinde gözlenen en yüksek, en düşük ve ortalama en büyük değerler (herhangi bir ay için, her yılın en yüksek değerlerinin ortalaması) verilmektedir.

Tüm istasyonların, aylık ortalama ve en yüksek değer rüzgâr hızları da bir grafik olarak sunulmaktadır. Rüzgâr hızlarının aylık ortalamaları, istasyonlarının ilgili veri aralığında, o ay içindeki tüm rüzgâr hızlarının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Aylık en yüksek değerler olarak, aynı sürelerde o ay içerisinde gözlenen en yüksek, en düşük ve ortalama en büyük değerler (herhangi bir ay için, her yılın en yüksek değerlerinin ortalaması) verilmiştir. Rüzgâr istatistiği olarak, “uzun dönem” ve “en büyük değer (ekstrem)” olmak üzere iki tür istatistiksel dağılım kullanılmıştır. Uzun dönem istatistik zamansal olarak süreklilik gösteren verileri yani istasyonların kesintisiz zaman serilerini kullanmaktadır. Uzun dönem rüzgâr hızı, log-normal dağılım istatistiği ile incelenmiştir. Tüm saatlik rüzgâr verilerinin, yönler göre aşılma olasılıkları sunulmaktadır. İstenen yönden istenilen rüzgâr hızının yılda kaç saat aşıldığı hesaplanabilmektedir. En büyük değer istatistiğinde ise, istasyonların tüm verileri içinden yıllık en büyük rüzgâr hızları kullanılmıştır. Yıllık en büyük rüzgâr hızları Gumbel olasılık dağılımı ile incelenmiş ve Gumbel dağılım kağıdına yerleştirilerek sunulmuştur. Noktalara en iyi uyan doğru çizilmiş ve verilerin kapsadığı süre dışına da uzatılmıştır. Herhangi bir yineleme dönemiyle oluşması beklenen rüzgâr hızları, çizimin üst yatay ekseninde gösterilmektedir.

EK-1. (devam) HYDROTAM-3D Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım ve Su Kalitesi Modeli

1.2. Dalga İklimi Alt Modeli

Türkiye Kıyılarında dalga iklimi çalışmalarında kullanılabilecek ölçülmüş dalga verisi bulunmamaktadır. Bugün dünyada olduğu gibi, Türkiye’de de dalga tahminleri, rüzgâr ölçümlerine ya da modellerine dayanmaktadır. Rüzgâr dalgalarının modellenmesinde, iki türlü yaklaşım bulunmaktadır; ampirik modeller ve sayısal modeller. Birçok sayısal model, batimetrik, topografik ve çözümleme ağı uzunluğu ve kara sınırları problemleri nedeni ile kıyısız alanlarda doğru sonuçlar üretememektedir. Özellikle, Türkiye’nin Ege Denizi ve Marmara Denizi kıyılarında sayısal modellerin çözüm ağları ve kara sınırı uyarlamalarında hata oranları yükselmektedir. Birçok kıyı mühendisliği tasarımlarında, doğruluğu kanıtlanmış ampirik modeller kullanımı tercih edilmektedir. Dalga iklimi çalışmalarında, dünyada da yaygın olarak kullanılan, CEM(US Army, 2006) ampirik modeli ve ECMWF operasyonel arşivi (OA) ve ERA5 arşivi sayısal model tahminleri kullanılmaktadır. CEM ampirik modelinde, rüzgâr hızları deniz yüzeyinden 10 m. yükseklikteki rüzgâr hızlarına dönüştürülmektedir. Seçilen denizel noktadan, tüm yönlerde, noktanın karşısındaki karayı kesen dikmenin uzunluğu, o yöndeki dalga kabarma mesafesidir (feç). Feç alt modülünde, seçilen noktada, tüm yönlerdeki etkin dalga kabarma uzunluğunun (etkin feç uzunluğu) belirlenmesi için kosinüs ortalama metodu uygulanmaktadır. Tüm ana yönler için $\pm 22,5$ derece aralığında, $\theta=3,75$ derecelik açılarla dalga kabarma uzunluklarının ortalamaları alınmaktadır;

$$X_{ef} = \frac{\sum X_i \cos^2 \theta_i}{\sum \cos \theta_i} \quad (1)$$

burada X dalga kabarma uzunluğu, X_{ef} etkin dalga kabarma uzunluğudur.

CEM yönteminde üç temel parametre önem kazanmaktadır. Bunlar, dalga kabarması uzunluğu (feç), rüzgarın esme süresi (t) ve rüzgarın hızıdır (U). CEM yönteminde rüzgarın belirli bir feç alanında, belirli bir süre boyunca sabit hızla estiği varsayılmaktadır. Bu varsayım, rüzgar hızlarının ve yön değişimlerinin belirli bir feç alanı için sabit kabul.

EK-1. (devam) HYDROTAM-3D Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım ve Su Kalitesi Modeli edilebileceği bir tanımla yapılmaktadır. Hesaplamalarda belirli bir feç alanında sabit kabul edilebilecek rüzgar hızı değişimleri 2,5 m/s ve yön değişimleri ise 15 derece alınmıştır. Buna göre, saatlik değişen bir rüzgar kayıdındaki herhangi bir hız U_i ve yön D_i ile kendinden önceki tüm kayıt edilen hızların ortalamaları ($\bar{U}$) ve yönlerinin ortalamaları ($\bar{D}$) arasında fark Eşitlik (2)'de tanımlandığı gibi 2,5 m/s den ve 15 dereceden küçük ise, o feç alanında ortalama hız ve ortalama yön sabit kabul edilmiştir.

$$\begin{aligned} |U_i - \bar{U}| &< 2,5 \text{ m/s} \\ |D_i - \bar{D}| &< 15^\circ \end{aligned} \quad (2)$$

HYDROTAM-3D veri tabanında, Türkiye denizel alanını kapsayan $0,1^\circ$ aralıklı yatay çözüm ağı üzerindeki her bir nokta için ECMWF-OA ve ERA5 arşivlerinin altı saat aralıklı 2000-2021 dönemi tüm dalga yüksekliği sonuçları da bulunmaktadır. CEM ampirik modeli ya da WAM modeli derin deniz belirgin dalga yüksekliklerinin “uzun dönem” ve “en yüksek değer” istatistikleri çalışılabilmektedir. Uzun-dönem dalga istatistiği zamansal olarak süreklilik gösteren verileri içermektedir. Bir denizel alanda oluşan dalga yüksekliklerinin istatistiksel değerlendirilmesi için değişik olasılık dağılımları üretilmiştir. Bu dağılımlardan en çok uygulanmakta olanı tüm fırtınalarda yaratılan belirgin dalga yükseklikleri ile bunların oluşma olasılıkları arasındaki ilişkiyi gösteren “Log-normal dağılım”dır. Uzun dönem dalga istatistiği log-normal dağılım ile incelenmiştir. Böylelikle, iskele ya da yanaşma yerlerinde ya da limanlarda dalgaların yol açtığı çalkantıların ne sürelerde olduğu bulunabilmektedir. Log-normal olasılık dağılım denklemi;

$$Q(H_{1/3}) = e^{2,3(H_{1/3} - B)/A} \quad (3)$$

Denklemden; aşılma olasılığı $Q(H_{1/3})$, fırtınalarda oluşan belirgin dalga yüksekliğinin $H_{1/3}$ değerine eşit ya da daha büyük olma olasılığı, $H_{1/3}$ belirgin dalga yüksekliğinin değeri, A ve B olasılık dağılım parametreleridir. Log-normal olasılık dağılım denklemi aşağıdaki biçimde de yazılabilir:

$$H_{1/3} = A \cdot \text{Log}Q(H_{1/3}) + B \quad (4)$$

EK-1. (devam) HYDROTAM-3D Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım ve Su Kalitesi Modeli

Seçilen denizel alanın uzun dönem dalga istatistikleri tüm yönler için sunulmakta, istenilen dalga yüksekliğinin yılda kaç saat aşılma olasılığı olduğu hesaplanabilmektedir. Hesaplanan derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ve dalga periyotları kullanılarak yıllık ve mevsimlik dalga gülleri hazırlanmaktadır. Yıllık dalga gülleri, belirgin dalga yüksekliğinin tüm yıl boyunca değişik yönlerden oluşma oranlarını göstermektedir. Dalgaların nereden geldiğini gösteren yön dilimleri, coğrafik yönlerle aynı seçilmiştir. Dalga yüksekliği, kullanıcı tarafından belirlenen değerden (örneğin $0,5 \text{ m} < H_{1/3}$) küçükse, denizin durumu “sakin” olarak kabul edilmektedir. Bu durumda herhangi bir dalga yönü belirtilmemekte ve oluşma oranı gülün ortasındaki çember içinde verilmektedir. Belirgin dalga yükseklikleri için en büyük değer (ekstrem) istatistiği de uygulanmıştır. Belirgin dalga yüksekliğinin yıllık en büyük değerlerinin, Gumbel dağılımına uydukları düşünülmüştür. Değerlere lineer regresyon analizi ile en iyi uyan doğru çizilmekte ve verilerin kapsadığı sürenin dışına da uzatılmaktadır. Herhangi bir yenileme dönemiyle (örneğin 50 yıl, 100 yıl vb.) oluşması beklenen belirgin dalga yükseklikleri, hem çizimin üst yatay eksenini yardımıyla elde edilebilmekte, hem de elde edilen eşitlikle hesaplanabilmektedir. Denizel alanda en yüksek dalga yüksekliklerinin genellikle oluştuğu “etken” ve eğer bulunuyorsa “ikincil” yön dilimleri verilmektedir.

1.3. Dalga Transformasyonu Alt Modeli

Geliştirilen dalga ilerlemesi sayısal modelinde, geniş ve düzensiz batimetriye sahip alanlarda açık denizden eğik açıyla yaklaşan dalgaların ilerlerken uğrayacakları değişimleri ve bunların sonucunda dalgaların sahip olacakları dalga yüksekliklerini benzeştirmek amacıyla, geliştirilmiş yumuşak eğim denklemleri çözülmektedir (İnan ve Balas, 2009). Açık deniz dalgaları derin denizden sığ sulara doğru ilerlerken, taban topoğrafyası ve değişen su derinliklerine bağlı olarak, sığlaşma, sapma, dönme, yansıma, taban sürtünmesi ve kırılma etkileriyle oluşan dalga transformasyonu benzeştirilmektedir. Dalga ilerleme alt modeli kullanılarak, derin denizde oluşan dalgalar kıyı bölgesine taşınmakta ve kıyı boyu dalga kırılma bölgesi belirlenerek bu bölgede sediman taşınımına etken olan gerilme akısı dağılımı hesaplanmaktadır. Dalga ilerleme alt modelinden elde edilen kıyı bölgesi dalga yükseklikleri, yaklaşım açıları ve gerilme akıları, dalga etkisiyle oluşan akıntı düzeninin benzeştirilmesinde girdi olarak kullanılmaktadır (Balas vd, 2006).



Gazili olmak ayrıcalıktır