



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DOKTORA
TEZİ**

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN AKDENİZ
AKINTI SİSTEMİNE ETKİSİNİN
MODELLENMESİ VE YENİLENEBİLİR
ENERJİ KAYNAKLARINDAN OLAN
AKINTI ENERJİ POTANSİYELİNİN
TÜRKİYE KITA SAHANLIĞI
İÇİN ANALİZİ**

Mehmet Uğur GÜÇEL

SU ÜRÜNLERİ
ANABİLİM DALI

EYLÜL 2024





**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN AKDENİZ AKINTI SİSTEMİNE ETKİSİNİN
MODELLENMESİ VE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN
OLAN AKINTI ENERJİ POTANSİYELİNİN TÜRKİYE KITA SAHANLIĞI
İÇİN ANALİZİ**

Mehmet Uğur GÜÇEL

**DOKTORA TEZİ
SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2024

Mehmet Uğur GÜÇEL tarafından hazırlanan “İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN AKDENİZ AKINTI SİSTEMİNE ETKİSİNİN MODELLENMESİ VE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN OLAN AKINTI ENERJİ POTANSİYELİNİN TÜRKİYE KİTASAHANLIĞI İÇİN ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Su Ürünleri Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Abdulla SAKALLI

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....
.....

Başkan: Prof. Dr. Sefa AYHAN DEMİRHAN

Deniz Teknolojileri Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....
.....

Üye: Prof. Dr. Levent CENK KUMRUOĞLU

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....
.....

Üye: Doç. Dr. Hüseyin YAĞLI

Enerji Anabilim Dalı, Gaziantep Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....
.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi. Yunus EROĞLU

Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı, Gaziantep Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....
.....

Tez Savunma Tarihi: 10/09/2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- 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.

İmza

Mehmet Uğur GÜÇEL

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN AKDENİZ AKINTI SİSTEMİNE ETKİSİNİN
MODELLENMESİ VE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN OLAN
AKINTI ENERJİ POTANSİYELİNİN TÜRKİYE KİTA SAHANLIĞI İÇİN ANALİZİ
(Doktora Tezi)

Mehmet Uğur GÜÇEL

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
Eylül 2024

ÖZET

Sanayi devriminden günümüze kadar olan süreçte fosil yakıt kullanımındaki artış Dünya yüzey sıcaklığının ortalama 1,5 °C artmasına sebep olmuştur. Sıcaklık artışıyla karasal ve sucul ekosistemlerde yaşanan değişimler canlıların yaşamsal faaliyetleri üzerinde olumsuz olarak nitelendirilebilecek etkilere neden olmaktadır. Tez kapsamında ele alınan Akdeniz bölgesi iklim değişikliği etkilerinin en fazla görüldüğü yerlerin başında gelmektedir. Son yıllarda bu olumsuz etkilerin azaltılması için yapılan çalışmaların başında yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımların artırılması gelmektedir. Okyanus sirkülasyonu, Koriolis, tuzluluk, deniz suyu sıcaklığı, yoğunluk farkı vb. olguları arasındaki etkileşim deniz akıntılarını meydana getirmektedir. Deniz akıntılarında elde edilen akıntı enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir ve önümüzdeki yıllarda birçok ülkenin enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılayacağı düşünülmektedir. Çalışmada uzaktan algılama yöntemleri sayesinde temin edilmiş ve yerinde ölçüm verileriyle kalibrasyonu yapılmış olan Copernicus Marine Service uydu verileri kullanılmıştır. 1987-2021 çalışma periyodu, 4 x 4 km alansal çözünürlük ve saatlik olan veri setinde 1-20 metre ve 20-50 metre derinlikler göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca çalışmada, akıntı enerjisi sayesinde potansiyel enerji üretimi örnek olarak kullanılan bir su altı türbin sistemi göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Modelleme çalışması kapsamında 2022-2100 periyodu lineer modelleme yapılarak periyotlar arasındaki akıntı hız farklılıkları tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda 1-20 metre derinlik maksimum akıntı hızı Aralık-Ocak-Şubat Sezonu 3,4 m/s, 20-50 metre derinlik maksimum akıntı hızı Aralık-Ocak-Şubat sezonu 3,6 m/s olarak tespit edilmiştir. Türkiye kıta sahanlığı içinde kalan bazı bölgelerde 1-20 metre derinlik için 2,6 m/s, 20-50 metre derinlik için ise 2,2 m/s akıntı hızı olan noktalar saptanmıştır. Mevcut tez kapsamında, Türkiye kıta sahanlığında içinde tespit edilen alanlarda enerji kazanım potansiyeli 1-20 metre derinlik için 960 ile 1200 GWh/yıl, 20-50 metre derinlik için ise 800 ile 1000 GWh/yıl arasında değiştiği belirlenmiştir. Modellemede 1-20 metre derinlik için 2030-2050 ve 2080-2100 yılları arası maksimum akıntı hız farkı 1,2 m/s olarak tespit edilmiştir. 20-50 metre derinlik için 2030-2050 ve 2080-2100 periyodu akıntı hız farkı maksimum 1,3 m/s olarak saptanmıştır. Modelleme kapsamında (2022-2100) derinlikler arasındaki akıntı hız farkı maksimum 0,7 m/s olarak saptanmıştır. Ayrıca 2030-2050 ve 2080-2100 yılları arasında derinlikler arası akıntı hız farkı sırasıyla maksimum 0,3 m/s ve 0,7 m/s olarak tespit edilmiştir. Modelleme çalışması sonucunda Türkiye doğu Akdeniz kıyılarında genellikle 1-20 metre arasındaki akıntının 20-50 metre derinlikteki akıntıya kıyasla daha güçlü olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca akıntı hızının boylamsal olarak bir artış eğiliminde olduğu ve çalışma periyodu kapsamında yaklaşık 2,6 m/s'ye ulaştığı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Deniz akıntı enerjisi, Akdeniz, uzaktan algılama, modelleme

Sayfa Adedi : 71

Danışman : Prof. Dr. Abdulla SAKALLI

MODELLING OF CLIMATE CHANGE IMPACTS
ON THE MEDITERRANEAN CURRENT SYSTEM AND
ANALYSIS OF THE CURRENT ENERGY POTENTIAL
WITHIN CONTINENTAL SHELF OF TURKEY
(Ph.D. Thesis)

Mehmet Uğur GÜÇEL

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
September 2024

ABSTRACT

The increasing use of fossil fuels since the Industrial Revolution has caused the Earth's surface temperature to rise by an average of 1.5°C. The changes in terrestrial and aquatic ecosystems associated with the rise in temperature have negative effects on the vital activities of living organisms. The Mediterranean region, which is the subject of this thesis, is one of the places most affected by climate change. In recent years, one of the main efforts to reduce these negative effects has been to increase investments in renewable energy sources. The interaction between ocean circulation, Coriolis, salinity, temperature, density difference, etc. creates ocean currents. Ocean current energy is one of the renewable energy sources and is expected to provide a significant part of the energy demands of many countries in the future. Copernicus Marine Service satellite data, obtained by remote sensing methods and calibrated with in-situ measurement data, were used in the study. The data set included the study period 1987-2021, 4 x 4 km spatial resolution, hourly data set, depths of 1-20 meters and 20-50 meters. In addition, the study calculated the potential energy production from the current energy by considering an underwater turbine system as an example. As part of the modeling study, the period 2022-2100 was linearly modeled and the current velocity differences between the periods were determined. As a result of the study, the maximum current speed at 1-20 meters depth was determined to reach 3,4 m/s in December-January-February season and the maximum current speed at 20-50 meters depth was determined to reach 3,6 m/s in December-January-February season. In some areas within the Turkish continental shelf, points with current velocities of 2,6 m/s for 1-20 m depth and 2,2 m/s for 20-50 m depth were determined. Within the scope of this thesis, it was determined that the energy recovery potential in the identified areas of the Turkish continental shelf varies between 960-1200 GWh/yr for 1-20m depth and 800-1000 GWh/yr for 20-50m depth. In the modeling, the maximum current velocity difference between 2030-2050 and 2080-2100 for 1-20 meters depth was determined to reach 1,2 m/s. For 20-50 meters depth, the maximum current velocity difference for 2030-2050 and 2080-2100 was determined to reach 1,3 m/s. During the modeling period (2022-2100), the maximum current velocity difference between depths was determined to reach 0,7 m/s. In addition, between 2030-2050 and 2080-2100, the maximum current velocity difference between depths was determined to reach 0,3 m/s and 0,7 m/s, respectively. As a result of the modeling study, it was determined that the current between 1-20 m depth is generally stronger than the current between 20-50 m depth in the eastern Mediterranean coast of Turkey. It was also found that the velocity of the current tends to increase in the longitudinal direction and reaches about 2,6 m/s within the study period.

Key Words : Sea current energy, Mediterranean Sea, remote sensing, modelling
Page Number : 71
Supervisor : Prof. Dr. Abdulla SAKALLI

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitim sürecine başladığım günden itibaren tecrübelerini ve bilgilerini benden esirgemeyen, beraber çalışmaktan onur duyduğum değerli danışmanım Prof. Dr. Abdulla Sakallı'ya teşekkürlerimi sunarım. Doktora tez sürecim boyunca, kıymetli görüş ve değerlendirmeleri ile bana destek olan Tez İzleme Komitesi Üyeleri değerli Prof. Dr. Sefa Ayhan Demirhan ve Doç. Dr. Hüseyin Yağlı hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitim süreci staj kapsamında Chalmers Üniversitesi, Geoscience and Remote Sensing departmanında birlikte çalışma imkanına sahip olduğum Prof. Dr. Johan Mellqvist ve Dr. Alexander Vladimir Conde Jacobo'ya teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitim süreci staj kapsamında Klaipeda Üniversitesi Marine Resarch Institute biriminde birlikte çalışma imkanına sahip olduğum Dr. Jovita Mežinė'ye teşekkürlerimi sunarım.

Akademik kariyerimin ve hayatımın her noktasında yanımda olan kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Değerli görüş ve destekleriyle tezime katkılar sağlayan Dr. Koray Umut Yaraş'a bir teşekkürü borç bilirim.

Lisansüstü eğitim sürecinde beraber çalışma imkanı bulduğum, kıymetli dostluklarıyla bana destek olan Mehmet Ali Devrim ve Umut Bulut'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez İskenderun Teknik Üniversitesi (Proje numarası 2021LTP04) ve Yükseköğretim Kurulu (100/2000, Doktora burs programı) tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Deniz Akıntı Enerjisi.....	2
1.2. İklim Değişikliği ve Akdeniz	5
1.3. Deniz Akıntı Enerjisi ve Türbin Sistemleri.....	7
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. Çalışma Alanı	15
3.2. Uzaktan Algılama Yöntemi ile Verilen Temini	15
3.3. Batimetri Veri Seti.....	16
3.4. Su altı Türbin Sistemi ile Enerji Üretim Hesaplaması.....	17
3.5. Veri Seti Normalizasyonu ve Modelleme	18
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	20
4.1. 1-20 Metre-Derinlik Maksimum Akıntı Hızı Analizi	20
4.2. 1-20 Metre-Derinlik Sezonluk Maksimum Akıntı Hızı Analizi.....	21
4.3. 1-20 metre derinlik Türkiye Kıta Sahanlığı Akıntı Hızı Yüksek Noktalar	24

4.4. 20-50 Metre-Derinlik Maksimum Akıntı Hızı Analizi	30
4.5. 20-50 Metre-Derinlik Sezonluk Maksimum Akıntı Hızı Analizi.....	31
4.6. Akdeniz Potansiyel Enerji Kazanım Analizi.....	34
4.7. 20-50 metre derinlik Türkiye Kıta Sahanlığı Akıntı Hızı Yüksek Noktalar	40
4.8. Akdeniz Standart Sapma Grafikleri	43
4.9. Akdeniz 1987-2021 yılları Enlemsel Ortalama Akıntı Hız Değişimi.....	45
4.10. Akdeniz 1987-2021 Yılları Boylamsal Ortalama Akıntı Hız Değişimi.....	47
4.11. Akdeniz 2022-2100 arası Lineer Modellemesi.....	48
4.12. Akdeniz 2022-2100 Lineer Modelleme Derinlikler Arası Akıntı Hızı Farkı.....	51
4.13. Akdeniz 2030-2050 Lineer Modelleme Derinlikler Arası Akıntı Hızı Farkı.....	52
4.14. Akdeniz 2080-2100 Lineer Modelleme Derinlikler Arası Akıntı Hızı Farkı.....	53
4.15. Akdeniz Lineer Modelleme 1-20 Metre Derinlik Yıllar Arası Akıntı Hızı Farkı..	54
4.16. Akdeniz Lineer Modelleme 20-50 Metre Yıllar Arası Akıntı Hızı Farkı.....	55
5. TARTIŞMA.....	57
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	60
7. KAYNAKLAR	62
DİZİN.....	71

ÇİZELGELERİN LİSTESİ**Çizelge****Sayfa**

Çizelge 1.1. Su altı Yatay ve Dikey Eksenli Türbin Karşılaştırması	10
--	----



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Akdeniz batimetri haritası (metre).....	17
Şekil 3.2. Rastgele seçilen bir noktadaki akıntı hız (m/s) veri dağılım eğrisi.....	19
Şekil 4.1. Akdeniz 1-20 metre derinlik maksimum akıntı hızı (m/s) haritası.....	20
Şekil 4.2 Akdeniz 1-20 metre derinlik Aralık-Ocak-Şubat sezonu maksimum akıntı hızı (m/s).....	21
Şekil 4.3. Akdeniz 1-20 metre derinlik Mart-Nisan-Mayıs sezonu maksimum akıntı hızı (m/s).....	22
Şekil 4.4. Akdeniz 1-20 metre derinlik Haziran-Temmuz-Ağustos sezonu maksimum akıntı hızı (m/s).....	23
Şekil 4.5. Akdeniz 1-20 metre derinlik Eylül-Ekim-Kasım sezonu maksimum akıntı hızı (m/s).....	24
Şekil 4.6. 1-20 metre derinlik Enlem: 36,1875 Boylam: 34,0833.....	25
Şekil 4.7. 1-20 metre derinlik Enlem:36,1875 Boylam:34,041.....	26
Şekil 4.8. 1-20 metre derinlik Enlem:36,2708 Boylam:34,125.....	27
Şekil 4.9. 1-20 metre derinlik Enlem:36,2292 Boylam:34,125.....	28
Şekil 4.10. 1-20 metre derinlik Enlem:36,1458 Boylam:34,0833.....	29
Şekil 4.11. Akdeniz 20-50 metre derinlik maksimum akıntı hızı (m/s) haritası.....	30
Şekil 4.12. Akdeniz 20-50 metre derinlik Aralık-Ocak-Şubat sezonu maksimum akıntı hızı (m/s).....	31
Şekil 4.13. Akdeniz 20-50 metre derinlik Mart-Nisan-Mayıs sezonu maksimum akıntı hızı (m/s).....	32
Şekil 4.14 Akdeniz 20-50 metre derinlik Haziran-Temmuz-Ağustos sezonu maksimum akıntı hızı (m/s).....	33
Şekil 4.15. Akdeniz 20-50 metre derinlik Eylül-Ekim-Kasım sezonu maksimum akıntı hızı (m/s).....	34
Şekil 4.16. 20-50 metre derinlik enlem:36,1875 boylam:30,5467.....	36
Şekil 4.17. 20-50 metre derinlik enlem:36,14583 boylam:30,45833.....	37

Şekil 4.18. 20-50 metre derinlik enlem:36,10417 boylam:34	38
Şekil 4.19. 20-50 metre derinlik enlem:36,0208 boylam:29,5833	39
Şekil 4.20. 20-50 metre derinlik enlem:36,1458 boylam:34,125	40
Şekil 4.21. Akdeniz potansiyel enerji üretim haritası 1-20 metre derinlik	41
Şekil 4.22. Akdeniz potansiyel enerji üretim haritası 20-50 metre derinlik	42
Şekil 4.23. Akdeniz 1-20 metre derinlik standart sapma grafiği	43
Şekil 4.24. Akdeniz 20-50 metre derinlik standart sapma grafiği	44
Şekil 4.25. 1987-2021 yılları 1-20 metre derinlik enlemsel ortalama akıntı hız değişimi.....	45
Şekil 4.26. 1987-2021 yılları 20-50 metre derinlik enlemsel ortalama akıntı hız değişimi.....	46
Şekil 4.27. 1987-2021 yılları 1-20 metre derinlik boylamsal ortalama akıntı hız değişimi.....	47
Şekil 4.28. 1987-2021 yılları 20-50 metre derinlik boylamsal ortalama akıntı hız değişimi.....	48
Şekil 4.29. Akdeniz 2022-2100 1-20 metre derinlik maksimum akıntı hızı (m/s)	49
Şekil 4.30. Akdeniz 2022-2100 20-50 metre derinlik maksimum akıntı hızı (m/s)	50
Şekil 4.31. Akdeniz 2022-2100 derinlikler arası akıntı (m/s) hız farkı	51
Şekil 4.32. Akdeniz 2030-2050 derinlikler arası akıntı hız (m/s) farkı	52
Şekil 4.33. Akdeniz 2080-2100 derinlikler arası akıntı hız (m/s) farkı	53
Şekil 4.34. Akdeniz 1-20 metre derinlik 2080-2100 ile 2030-2050 yılları arası akıntı hız (m/s) farkı.....	54
Şekil 4.35. Akdeniz 20-50 metre derinlik 2080-2100 ile 2030-2050 yılları arası akıntı hız (m/s) farkı	56

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. A) SIT 250 türbin sistemi.....	8
Resim 1.2. İlk ticari su altı türbin sistemi	8
Resim 1.3. A) Open Hydro türbin sistemi. Andritz Hydro HS1000 türbin sistemi.....	9
Resim 1.4. A) SeaGen S türbin sistemi. B) Voith Hydro Türbin sistemi	10
Resim 4.1. Resim 4.1. Türkiye kıta sahanlığı 1-20 metre derinlik akıntı hızı yüksek alanlar sırasıyla (1, 2 ,3 ,4 ve 5).....	25
Resim 4.2. Türkiye kıta sahanlığı 20-50 metre derinlik akıntı hızı yüksek alanlar (6, 7 ve 9)	35
Resim 4.3. Türkiye kıta sahanlığı 20-50 metre derinlik akıntı hızı yüksek alanlar (8 ve 10).....	35

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

m^2

Metrekare

m^3

Metreküp

p

Su yoğunluğu

m/s

Saniye Başına Metre

KWh

Saat başına kilowatt

MWh

Saat başına megawatt

GWh

Saat başına gigawatt

TWh

Saat başına terawatt

Km

Kilometre

pH

Hidrojen potansiyeli

ppm

Milyonda bir birim

Kısaltmalar

Açıklamalar

Ep

Enerji Potansiyeli

A

Taranan Rotor Alanı

CDO

Climate Data Operator

BM

Birleşmiş Milletler

1. GİRİŞ

19. yüzyıl sonlarında hızla artan sanayileşme ile gelen Sanayi Devrimi'nin olumlu etkilerinin yanında, atmosfere salınan ve Dünya yüzey sıcaklığının artmasına yani sera-gazı etkisi yapan gazların miktarındaki artış, iklimde ciddi önemli değişimlere neden olmaktadır. Bu değişimler sadece atmosferdeki fizikokimyasal süreçleri değil, aynı zamanda atmosfer ile beraber çok sıkı etkileşim içerisinde olan karasal ve sucul ekosistemler üzerinde de etkili olmaktadır (Brito ve diğerleri, 2023). Yapılan araştırmalar, atmosferimizdeki CO² miktarının sanayi devrimine kadar son 800 bin yıldır bir denge içinde olduğunu, fakat sanayi devriminden sonra artan kentleşme ve endüstriyel faaliyetlerin bu dengenin bozulmasındaki en önemli sebeplerin başında geldiğini ortaya koymaktadır (Maisha ve diğerleri, 2023; Lüthi ve diğerleri, 2008).

Endüstri 1.0 ile beraber hızla artan fosil yakıtların kullanılması ve doğa tahribatı yüzünden, yer yüzeyi yaklaşık 1,5 °C ısınmış ve bu sıcaklık artışının insan sağlığı, yaşam kalitesi ve süresi gibi insan için en önemli olguların ciddi düzeyde kötü etkilenmesine yol açmıştır (Tokarska ve Gillett, 2018; Franchini ve Mannucci, 2015). Küresel ısınma ile birlikte buzulların erime hızındaki artış neticesinde denizlerdeki besin döngüsü ve denizel canlı habitatı üzerinde önemli değişimler meydana gelmektedir (Chen ve diğerleri, 2021).

Son yıllarda iklim değişikliğinden kaynaklanan olumsuz etkilerin azaltılması için atılan en büyük adımların başında, fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin azaltılarak, yenilenebilir enerji kaynaklarına (Rüzgar, Okyanus, akıntı, Güneş vd.) olan yatırımların ve teşviklerin artırılması belirtilmiştir (Ekechukwu, Daramola ve Olanrewaju, 2024). Günümüzde enerji talebi çoğunlukla fosil yakıtlara dayanmaktadır ancak bu durumun önümüzdeki süreçte değişeceği öngörülmektedir (Mathiesen ve diğerleri, 2015; Taqqadus, Khan, Khan ve Magda, 2023). Türkiye'nin içinde bulunduğu 12 Aralık 2015'de Paris'te yapılan Birleşmiş Milletler (BM) İklim Değişikliği Zirvesi sonucunda yapılan Paris anlaşmasına göre, 2030 yılına kadar ülkelerin yerine getirmek zorunda olduğu birtakım taahhütler bulunmaktadır (Höhne ve diğerleri, 2021).

Türkiye'nin BM'ye sunduğu "Niyet Edilen Ulusal Katkı ile Yürütülmesi Öngörülen Plan Politikalar" kapsamında alınacak önlemler ile doğaya 246 milyon ton daha az CO² salınımı olacağını beyan etmiş olmakla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının

arttırılması sanayi, ulaşım ve kentleşme sektörlerinde enerji verimliliği sağlayacak yatırımların yapılması, taahhütlerin temelini oluşturmaktadır (Karakaya, 2016). Ayrıca önümüzdeki yıllarda küresel olarak uygulamaya koyulması planlanan karbon vergisi kapsamında enerji kaynaklarının büyük bir kısmını ithal eden Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarını artması ve enerji ithalatını arttırması gerekmektedir (Karakaya, 2016).

Ülkemizin ulusal enerji hedefleri yakın gelecekte ülkemizin ithal enerji kaynaklarına olan bağımlılığını azaltarak toplam elektrik üretim kapasitesinin yaklaşık %30'unu yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilmesi amaçlanmaktadır (Öziç ve Yılmaz, 2018). 2050 yılına kadar, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının %39 artacağı tahmin edilmektedir (Bhattacharya ve diğerleri, 2016). Yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik büyümeyi arttırdığına yönelik bulguların ağırlık kazanması, küresel ısınma ile mücadele kapsamında bu kaynaklara destek verilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Ntanos ve diğerleri, 2018; Apergis ve Danuletiu, 2014).

Buna bağlı olarak ülkelerin pek çoğunda yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının özendirildiği, enerji politikaları içinde alternatif enerji yatırımlarının teşvik edildiği görülmektedir (Xing, Udemba, Tosun, Abdallah ve Boukhris, 2023). Yenilenebilir enerji kaynakları toplumların enerji talebini karşılamada oldukça güvenilir bir seçenek haline gelmiştir (Halkos ve Gkampoura, 2020). Yenilenebilir enerji kaynakları sayesinde üretilen enerji miktarındaki %1'lik artışın kişi başına düşen gayri safi yurtiçi hasılayı kısa vadede ortalama %0.31, uzun vadede ise %0.39 arttırdığı belirlenmiş, bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılacak yatırımların ekonomik büyümeyi pozitif yönde etkileyeceği saptanmıştır (Bayraç ve Çildir, 2017).

1.1. Deniz Akıntı Enerjisi

Okyanus sirkülasyonu, tuzluluk, deniz suyu sıcaklığı, yoğunluk farkları ve derinlik gibi çok sayıda değişken arasındaki etkileşim deniz akıntılarını meydana getirmektedir (Varna, Singh, Sahoo ve Sengupta, 2021). Bu akıntıların genellikle yüzeyden derinlere doğru hareket ettiği ve dünya üzerindeki iklim sistemlerini etkilediği düşünülmektedir. Ayrıca, deniz canlılarının beslenme, üreme ve göç alışkanlıkları üzerinde önemli bir rol oynadığı vurgulanmaktadır (Perry ve diğerleri, 2010). Deniz akıntı sistemlerinde meydana gelen değişimler sıcaklık, besin dağılımı ve tür dağılımındaki olgular üzerinde etkili olmasının

yanısıra, deniz ekosistemleri üzerinde de etkili olduğu belirtilmektedir (Doney ve diğerleri, 2012). Akıntı sirkülasyonlarında meydana gelen süreçler denizel canlıların üreme, beslenme, göç etme vb. gibi yaşamlar faaliyetlerini etkilemekle beraber, besin piramidi için hayati önem taşımaktadır (Thorstad ve diğerleri, 2021). Analizler sonucunda okyanuslar sayesinde teorik olarak elde edilebilecek enerji toplamının %0,1 den daha azı bile Dünyadaki enerji ihtiyacının yaklaşık 5 katından daha fazla olduğu ifade edilmektedir (Chen ve diğerleri, 2018; Rahman ve diğerleri, 2014; Mohtat, Fagley, Chitale ve Siegel, 2022). Ek olarak deniz akıntı sisteminin çok yüksek bir kinetik enerji potansiyeline sahip olduğu ve enerji üretim sistemlerinde kullanıldığı çalışmalarda belirtilmiştir (O'Rourke, Boyle ve Reynolds, 2010). Deniz akıntılarının önemli bir kısmını oluşturan gel-git akıntıları hareketi aşağı ve yukarı salınım yoluyla ortaya çıkan akıntı şeklini meydana getirmektedir. Açık denizlerde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı belirtilen gel-git akıntısının dar geçitlerde ise açık denizlere kıyasla hızının yükselebileceği ve 7 m/s'ye kadar çıkabileceği belirtilmiştir (Chen ve diğerleri, 2018).

Su altı türbin teknolojisinin gelişmesiyle birlikte son yıllarda bu alanda yapılan çalışmaların oldukça hız kazandığı ifade edilmektedir (Haxel ve diğerleri, 2022). Denizlerden elde edilebilecek enerji kazanımı, sera gazı emisyonlarının azaltımı konusunda oldukça önemli fırsatlar sunmaktadır (Nachtane, Tarfaoui, Goda ve Rouway, 2020). Son yıllarda yapılan çalışmalar denize kıyısı olan ülkelerde denizlerden enerji üretim sistemleri sayesinde elde edilebilecek enerji potansiyeli sayesinde, ülkelerin enerji ithalatına olan ihtiyacının azalacağını ve ekonomik büyümeye ciddi katkılar sağlayacağı belirtilmiştir (Chowdhury ve diğerleri, 2020). Günümüzde birçok Avrupa ülkesi elektrik talebinin önemli bir bölümü denizlerden elde edilen enerji ile karşılamaktadır (Dañobeitia ve diğerleri, 2023). Deniz akıntılarında elde edilen akıntı enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir ve birçok ülkede gelecekteki enerji talebinde önemli bir rol oynama potansiyeline sahiptir (Soukissian ve diğerleri, 2017; Song, 2024).

Ayrıca Akdeniz'e kıyısı olan Güney Avrupa ülkelerinde sürdürülebilir enerji üretimi açısından önemli kaynakların olduğu yapılan çalışmalarda vurgulanmıştır (Pisacane ve diğerleri, 2018). Çalışmalarda, denizel akıntı enerjisi sayesinde kazanım sağlanabilecek enerji üretim potansiyelinin dünya genelinde yaklaşık 75 GW, Avrupa için ise 11 GW olarak tahmin edilmektedir (Magagna ve Uihlein, 2015).

Akıntı hızının yaklaşık 2,5 m/s ya da daha fazla olduğu noktaların oldukça yüksek enerji potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir (Rahuna, Kasharjanto, Suyanto ve Mintarso, 2023). Denizel akıntı sisteminden etkin bir şekilde faydalanabilmek için seçilecek bölgenin uygunluğu çok önemlidir (Martinez, Rockel ve Vieux, 2017:182). Önceki yıllara kıyasla yapılan analizler sonucunda sadece açık denizlerde değil, aynı zamanda sığ sularda enerji kazanımı sağlayacak türbin sistemleri geliştirilmiştir (Korte, Windt ve Goseberg, 2024). Deniz akıntı sisteminden faydalanırken lokal deniz ekosistemini ve bölgede olası etkilenebilecek kırılgan bölgeleri dikkate alınmalıdır (Martinez, Rockel ve Vieux, 2017;182).

Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisi ile karşılaştırıldığında, suyun yoğunluğunun havanın yoğunluğundan yaklaşık 900 kat daha yoğun olmasından dolayı rüzgar enerjisine göre akıntı enerjisinin su altı türbin sistemleri sayesinde az alanda oldukça fazla enerji üretebilmesini mümkün kılmaktadır (Rahman, Badshah, Rafai ve Badshah, 2014). Deniz akıntı sisteminden enerji elde etmek için su altında kurulacak türbinlerin küçük çaplı türbinlerden ziyade daha düşük rotor hızlarına sahip büyük çaplı türbinlerin tercih edilmesinin balıklar için daha az etkili olacağı düşünülmektedir (Encarnacion, Johnstone ve Sánchez, 2019). Ayrıca çevreye olan etkiyi en az seviyede tutmak için iki yönlü türbinlerin kullanılması ve göçmen balıkların geçiş rotaları üzerine kurulmaması oldukça önemlidir (Knott, Mueller, Pander, Geist, 2023).

Enerji kazanımının optimal gerçekleşmesi için gerekli altyapının sağlanması, ekonomik sürdürülebilirlik ve maliyet konuları göz önünde bulundurulmalıdır (Morrison ve diğerleri, 2013). Ek olarak, 24 saat boyunca devamlı bir şekilde enerji elde edilebilir olması tutarlı bir planlamaya olanak sağlaması açısından bulutlu günlerde verimliliği düşen güneş enerjisine kıyasla öne çıkmaktadır (Liu ve Bahaj, 2021). İspanya'nın Bask bölgesinde seçilmesi planlanan alanlarda denizden enerji elde etmek amacıyla 2030 yılına kadar yaklaşık 60 MWh (Megawatt/saat) kurulu gücü kapasitesine sahip enerji üretim sistemlerinin kurulması ulusal enerji stratejileri arasındadır (Ocean Energy Systems, 2016). Singapur'da yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili araştırmalar kapsamında harcanması planlanan yaklaşık 140 milyon dolarlık bütçenin büyük bir kısmını denizlerden elde edilebilecek enerji sistemleri oluşturmaktadır (Poudyal ve diğerleri, 2019). Yapılan bir çalışmada (O'Rourke, Boyle ve Reynolds, 2010) İrlanda bölgesi için teorik olarak gel-git akıntısı enerjisinden elde edilebilecek enerjinin yıllık olarak ortalama 230 Twh (Terawatt/saat) olduğunu ortaya

konulmuştur. Diğer bir çalışmada ise (Grabbe, Lalander, Lundin ve Leijon, 2009) Norveç'te 104 nokta incelemiş ve yıllık ortalama 17 TWh (Terawatt/saat) enerji kazanımı sağlanabileceğini belirtmiştir. İngiltere'de başka bir çalışmada ise, 2050 yılına kadar Birleşik Krallık'ta okyanus enerjisi sayesinde yaklaşık 68 bin kişiye iş istihdamı yaratabileceğini ifade etmiştir (Tingey ve Webb, 2020).

1.2. İklim Değişikliği ve Akdeniz

Okyanuslar ve denizler dünyanın iklim dengesinin sürdürülmesinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Antropojenik faaliyetler sonucu atmosferde biriken fazla miktardaki ısının absorbe edilmesi işlevi sayesinde ısı artışına karşı bariyer görevi görmektedir (Hansen, Sato, Kharecha ve Schuckmann, 2011; Irving, Wijffels, Church, 2019). Denizlerimiz iklim değişikliğinden etkilenen en önemli ekosistemlerin başında gelmesi sebebiyle, değişen akıntı sirkülasyonlarını izlemenin ve analiz etmenin sürdürülebilir denizel ekosistem için hayati önem taşıdığı ifade edilmektedir (Galati, Tulone, Vrontis, Thrassou ve Crescimanno, 2021). Atmosfer ile beraber çok sıkı etkileşim içerisinde olan karasal ve sucul ekosistemler iklim değişikliğinin etkilediği en önemli ekosistemlerin başında gelmektedir (Özbayram ve diğerleri, 2022). Değişen deniz akıntı sistemlerinin bazı deniz türlerinin dağılımı ve adaptasyonu üzerinde olumsuz etkilere açabileceği, aynı zamanda sıcaklık farklılığından dolayı çevresel zorluklar olabileceği belirtilmektedir (Hurtado, Pennino ve Lizaso, 2017).

Küresel iklim değişikliğinin etkilediği en önemli yerlerden biri olan Akdeniz'de son 20 yılda deniz yüzeyi seviyesi yaklaşık 6 cm artış göstermiş, ayrıca pH değerinde her on yılda bir 0,018 ile 0,028 arasında düşüş meydana geldiği belirtilmiştir (Cramer ve diğerleri, 2018). Önümüzdeki süreçte Akdeniz bölgesinde meydana gelecek ısınma miktarının, küresel ortalamanın yaklaşık %25 üstünde olacağı öngörülmektedir. Ayrıca yaz aylarındaki sıcaklık ortalama yükselişinin global düzeydeki artış miktarından %40 daha fazla olabileceği belirtilmiştir (Lionello ve Scarascia, 2018). Bu nedenle Akdeniz'in ısınmasıyla birlikte deniz yaşamının önemli değişikliklere uğrayabileceği öngörülmektedir. Bu durumun bölgedeki ekosistemlerin dengesini ve balıkçılık endüstrisini olumsuz etkileyebileceği öngörülmektedir (Moullec ve diğerleri, 2023). Yapılan çalışmalar Akdeniz'in giderek ısınmasıyla beraber özellikle ticari değeri olan balıkların soğuk denizlere göç edebileceği belirtilmiştir (Tintoré ve diğerleri, 2019). Analizlerde Akdeniz'de deniz suyu sıcaklık artışları ile bazı deniz türlerinde toplu ölümlerin giderek arttığı ifade edilmiştir (Marbà ve

diğerleri, 2015; Grenier, Idan, Chevaldonné ve Pérez, 2023; Schultz, 2023). Biyoçeşitlilik bakımından oldukça zengin olan Akdeniz aynı zamanda kompleks termohalin, yüksek miktarda atmosfer-deniz etkileşimine ve sirkülasyon sistemine sahiptir (Gačić ve Bensi, 2020). Akdeniz havzasının kendine özgü bir deniz tabanı mevcuttur (Schroeder ve diğerleri, 2014). Sicilya kanalı, Akdeniz'in batı ve doğu havzasını birleştirmektedir (Coll ve diğerleri, 2010). Doğu havzasının batı havzasına kıyasla buharlaşma hızının yüksek olmasından dolayı tuzluluk miktarı batıdan doğuya gittikçe artmaktadır (Coll ve diğerleri, 2010). Bu tuzluluk farklılığı, Akdeniz'in ekosistemlerini etkileyen önemli bir faktördür. Ayrıca, bu farklılık deniz yaşamının dağılımını ve tür çeşitliliği üzerinde etkilidir (Wang, 2023).

1.3. Deniz Akıntı Enerjisi ve Türbin Sistemleri

Son yıllarda yapılan çalışmalar deniz akıntı enerjisinden yararlanmak için geliştirilen türbin sistemlerinin oldukça fayda sağladığı bilinmektedir (Zhou ve diğerleri, 2017; Yahya ve Satrio, 2023). İlerleyen teknoloji ile beraber farklı yatay eksenli ve dikey eksenli deniz akıntı türbinleri geliştirilmiş ve literatürde rapor edilmiştir. Bu türbin tasarımları üzerine akademik araştırmalar son yıllarda büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Sayısal modellerin kullanımı, hidrodinamik analizler ve kavitasyon değerlendirme, türbin tasarımları için önemlidir. Endüstriyel deniz akıntı türbin ekipmanlarının çoğunluğu yatay dönme eksenliyle akım akış yönüne paralel olan bir eksen türbinine sahiptir (Bedoya, Clemente, Velásquez, Chica, 2019).

Yatay eksenli türbin tipine kıyasla, dikey eksenli türbinlerin ana dezavantajları, kendi kendine çalışma kabiliyetinin düşüklüğü, yüksek tork dalgalanmaları ve yatay eksenli türbinlere göre daha düşük verimlilik olarak görülmektedir (Zhou ve diğerleri, 2017). (Myers ve Bahaj, 2012) türbin kurulum yeri belirlenirken çalışma alanında türbin kanatlarının gelecekte oluşturabileceği çevresel etkileri dikkate almak ve ek olarak ilerleyen süreçte eğer türbin kapasitesi arttırılması söz konusu ise bu çevresel değerlendirme bütün türbinler için yapılması gerektiğini belirtmiştir. Bu çalışmada, bölgedeki türbinlerin çevresel etkilerinin birbirinden farklı olabileceği tespitinin göz önünde bulundurulması gerektiği saptanmıştır. Çalışmalarda su altına kurulacak türbin sistemleri tasarımı için, denizel ortamın durağan olmamasının yanı sıra denizel itme gücünün dikkate alınması gerektiği tespit edilmiştir (Rosli ve diğerleri, 2019). Analizler neticesinde (Merigaud ve Ringwood, 2016) su altı türbin sistemlerinin deniz suyu hidrolik basıncından kaynaklı

oluşabilecek yüksek basınçlara dayanması için rüzgar türbinlerinin aksine, daha kısa ve kalın olması gerektiği ifade edilmiştir. Diğer bir çalışmada ise akıntı enerjisi türbin sistemlerinden enerji kazanımı için akıntı hızının 2,5 m/s ve üzeri olduğu yerlerin uygun olduğu belirtilmektedir (Lewis, Neill, Robins ve Hahemi, 2015).

Yapılan çalışmalarda (O'Rourke, Boyle ve Reynolds, 2010; Carballo ve diğerleri, 2009) maksimum akıntı hızının 1,5 m/s ve üzeri olduğu noktaların enerji kazanımı için verimli olduğu ifade edilmiştir. (Roberts, Thomas ve Sewell, 2016) tarafından yapılan çalışmada rüzgar türbinlerindeki çalışma prensibinde olduğu gibi su altı türbinlerinde aerodinamik sürtünmeden faydalanmak için aerofil kesitli kanatlar bulunduğu ve aerodinamik prensiplerine göre çalıştığı belirtilmiştir. Fakat yapılan bu çalışmada iki teknoloji arasında büyük farklılıkların bulunduğu, en belirgin farklılıkların başında gelen fiziksel farklılık olarak deniz suyunun yoğunluğu yaklaşık 1025 kg/m³ iken oda sıcaklığında 1 atmosfer basınçta hava için bu değer yaklaşık 1,25 kg/m³ olduğu ifade edilmiştir. Bir türbinin sınırsız bir sıvı akışından elde edebileceği güç miktarı, momentum teorisi kullanılarak matematiksel olarak formül (1.1)'deki gibi tanımlanabilir. Bu denklemde P üretilen enerjinin kazanımını (Watt/saat), p su yoğunluğunu (1025 kg/m³), C_p türbin verimliliğini (%59,26), u akıntı hızını (m/s) ifade etmektedir.

$$P = \frac{1}{2} p A C_p u_{\infty}^3 \quad (1.1)$$

Metrekare başına düşen toplam enerji üretim yoğunluğunu hesaplamak için ise formül (1.2) kullanılmaktadır. Bu formülde P_d enerji üretim yoğunluğunu ifade etmektedir.

$$P_d = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} p C_p u_{\infty}^3 \quad (1.2)$$



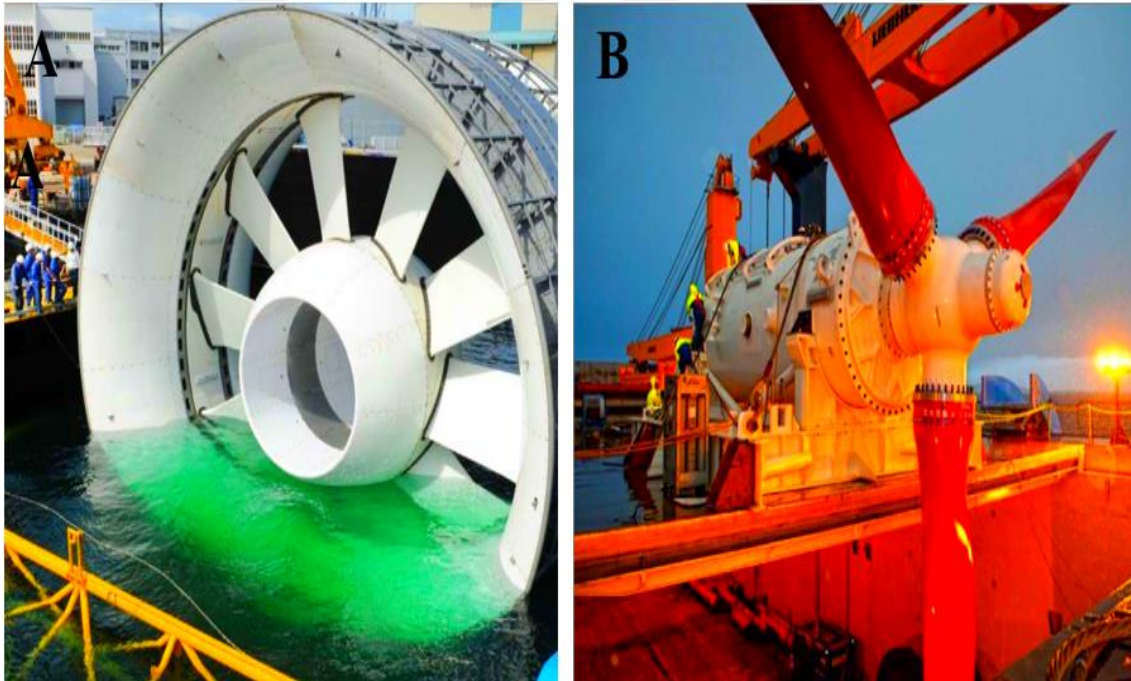
Resim 1.1. SIT 250 türbin sistemi (ARENA, 2016)

Resim 1.1’de görülen türbin 3 bıçaklı rotor sistemine sahip, 360 derece dönebilen 4 metre çapında olan türbin sistemi resim 1.’de gösterilmiştir. Bu türbin sistemi az alanda optimal enerji kazanımı amacıyla tasarlanmıştır. Akıntı hızının 2,5 m/s’nin üstünde olduğu noktalarda yüksek enerji üretim potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir. Gövde ve diğer bölümleri için yaklaşık 20 yıl tasarım ömrüne sahip olduğu ifade edilmektedir.



Resim 1.2. İlk ticari su altı türbin sistemi (Westwood, 2008)

Resim 1.2’de gösterilen türbin SeaGen firması tarafından geliştirilen türbin sistemi ise denizel akıntı sisteminden enerji kazanımı sağlamak için kurulan ilk çalışmalardan biridir. 43 metre kanat açıklığına sahip olan bu türbin derinliğin 50 metreye kadar olan bölgelerde enerji kazanım sağlayabilmektedir (Westwood, 2008). Bu türbin sayesinde yaklaşık 1500 evin elektrik ihtiyacını karşılayabildiği ortaya konulmuştur. Türbin jeneratörü akıntı hızının 1 m/s’nin üstünde olduğu yerlerde çalışmaktadır. Aynı zamanda akıntının maksimum 12 m/s’ye ulaştığı noktalarda çalışabilmektedir. Dünyanın ilk ticari deniz altı türbin sistemi olarak görülen SeaGen kurulduğu yıllarda geliştirilmiş olan su altı türbinlerine göre daha verimli olduğu saptanmıştır. Dakikada 14 devir dönebilen türbin bıçakları ve vitesli bir sisteme sahiptir (Westwood, 2008).



Resim 1.3 A) Open Hydro türbin sistemi, B) Andritz Hydro HS1000 türbin sistemi (Zhou, Benbouzid, Charpentier, Scuiller ve Tang, 2017)

Resim 1.3 A’da gösterilen türbin sistemi 16 metre kanat açıklığına sahip olup 35 metre derinliğe kurulabilmektedir. Yaklaşık 500 kilowatt üretim kapasitesine sahip olan bu türbin sistemin kurulumu 2011 yılında tamamlanmıştır. Resim 1.2 B’ de görülen su altı türbin sistemi ise 2012 yılında enerji kazanımı sağlanmaya başlanmıştır. Yaklaşık 300 kilowatt enerji üretim kapasitesine sahiptir.



Resim 1.4. A) SeaGen S türbin sistemi, B) Voith Hydro Türbin sistemi (Zhou, Benbouzid, Charpentier, Scuiller ve Tang, 2017)

Resim 1.4 A'da belirtilen türbin sisteminin kanat açıklığı yaklaşık 16 metre olup 1.2 Megawatt enerji üretim kapasitesine sahiptir. Akıntı hızının yaklaşık 2,4 m/s olduğu zamanlarda enerji kazanımı optimal seviyelerde olmaktadır. Akıntı hızının yüksek olduğu bir günde ortalama 20 megawatt/saat enerji kazanımı potansiyeli olduğu belirtilmiştir. Resim 1.3 B'de gösterilen türbin çeşidi yaklaşık 1 megawatt üretim kapasitesine sahiptir. Korezyona karşı geliştirilen teknoloji sayesinde türbin verimliliği ve sürdürülebilirliği yüksek olduğu belirtilmiştir. 16 metre kanat açıklığına sahip olan türbin akıntı hızının yaklaşık 2,9 m/s olduğu yerlerde verimli çalışmaktadır.

Çizelge 1.1 Su altı Yatay ve Dikey Eksenli Türbin Karşılaştırması (Chen ve diğerleri, 2018)

Parametreler	Yatay Eksenli	Dikey Eksenli
Tasarım Kolaylığı	Kompleks	Basit
Maliyet	Yüksek	Düşük
Jeneratör Bağlantısı	Dik açılı dişli takımı kullanımı	Şaftın bir ucuna ya da su yüzeyinin üzerine yerleştirme
Gürültü Emisyonu	Yüksek	Düşük
Yüzdürme ve Güçlendirme	Kolay değil	Kolay
Eğri Akış	Sorun çıkarma eğilimli	Normal
Başlangıç torku	Yüksek	Düşük
Çıkış Torku	Dalgalanma sorunu yok	Dalgalanma sorunu
Verimlilik	Yüksek	Düşük
Kontrol	Kolay	Kolay değil
Kurulum	Zor	Daha kolay
Yapılabilirlik	Deneyim yüksek	Deneyim az

Çizelge 1.1’de deniz akıntı enerji kazanımında çoğunlukla kullanılan yatay ve dikey eksenli türbinlerin verilen parametreler kapsamında karşılaştırması yapılmıştır. Verimlilik ve kontrol parametrelerinde yatay eksenli türbin sistemlerinin öne çıktığı görülmektedir. Ayrıca dalgalanma sorunu olmaması ve yapılabirlik hususunda yatay eksenli türbinlerin öne çıktığı görülmektedir. Ayrıca, dikey eksenli türbinlerin özellikle tasarım ve maliyet kapsamında yatay eksenli türbinlere göre öne çıkmasına rağmen, yatay eksenli türbinlerin enerji üretiminde azımsanmayacak sayıda çalışmada kullanıldığı ifade edilmektedir. (O’Rourke, Boyle ve Reynolds, 2010). Diğer taraftan tasarım, maliyet ve gürültü emisyonu gibi parametreler dikkate alındığında dikey eksenli türbin sistemlerinin öne çıktığı çizelge 1.1.’de belirtilmiştir. Yapılan çalışmalarda türbin kanatlarının her iki yöne dönebilen değişken manevra kabiliyetine sahip bir şekilde tasarlanabilmesine rağmen, deniz suyunun mekanik parçalarda yaratabileceği tahribat sebebiyle yatay türbinlerinin bakım maliyetinde artış olabileceği ifade edilmiştir. Bu sebeple yatay eksenli türbinlerde sabitlenmiş türbin sistemi kullanılmasının daha az maliyetli olacağı belirtilmiştir (Chen ve diğerleri, 2018).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Cucco ve diğerleri (2016) tarafından yapılan bir çalışmada Akdeniz bölgesindeki Messina kanalındaki maksimum akıntı hızının 1,8 m/s ile 3 m/s arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada yüksek çözünürlüklü hidrodinamik model SHYFEM kullanılmıştır. Çalışma yapılan bölgede alansal çözünürlük 2x2 km olarak hesaplanmıştır. Kontoyiannis ve diğerleri (2015) tarafından Yunanistan'ın Chalkis kenti yakınlarındaki Euripuskanal bölgesinde türbin kurulumu için uygun yerleri belirlemek amacıyla, ortalama derinliği 1,5 m olan bölgelerde akıntı hızı analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda akıntı hızı yaklaşık 0,15 m/s olarak tespit edilmiştir. Çalışmadan çıkarılan sonuçlar, alanın büyük ölçekli enerji üretimi için ideal olmasa da küçük ölçekli uygulamalar için düşünülebileceğini göstermektedir. Çalışmanın veri seti, bir akım ölçüm cihazı kullanılarak iki aylık bir süre boyunca toplanmıştır.

Diğer bir çalışmada ise (Korte, Windt ve Goseberg, 2024), deniz akıntı sisteminden enerji elde etmek için geliştirilen teknolojilerin yaklaşık %59'unun Avrupa bölgesinde bulunduğu belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada sığ olarak tabir edilen sularda yıllık ortalama akıntı hızının 0,5 m/s ile 2 m/s arasında olmasının türbin kurulumu ve enerji kazanımı açısından ekonomik olarak uygun olduğu belirtilmektedir. Bu açıdan Almanya'nın bazı bölgelerinde deniz akıntı enerjisi sayesinde enerji kazanımı potansiyel noktaların olduğu ifade edilmiştir.

Estaban ve diğerleri (2019) tarafından yapılan bir çalışmada İspanya kıyılarında özellikle Estaca de Bares ve Menorca alanlarında denizel enerji kazanımı yüksek olabilecek yerler belirtilmiştir. Ayrıca Biskay körfezi kıyılarında sezonluk dalga ve akıntı yoğunluğunun yüksek olduğu belirtilmiştir.

(Chong ve Lam, 2013) tarafından yapılan çalışmada Malezyada denizel enerji potansiyelinin özellikle Malakka boğazı kıyılarında oldukça potansiyeli yüksek olarak belirtilmiştir. Çalışmada okyanus enerji tipleri birbirleri arasında değerlendirilmiş olup deniz akıntı enerjisinin diğer enerji kazanım çeşitlerine göre (termal enerji, dalga enerjisi vb.) daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Hazim ve diğerleri (2019) tarafından yapılan analizler sonucunda Atlantik kıyısına ve Cebelitarık Boğazı'na komşu olan Fas'ta sualtı türbinlerinin kurulumunu ve enerji üretim kapasiteleri analiz edilmiştir. Çalışma, Tangier ve Tetouan bölgelerindeki akıntı hızının 2

m/s'yi aştığını, ortalama hızın ise 0,9 m/s ile 1,8 m/s arasında değiştiğini ortaya koymaktadır.

Ayrıca, metrekare başına enerji üretim kapasitesi yaklaşık 1,6 kW/saat gibi yüksek bir değere ulaşmıştır. Hazim ve diğerleri (2021) tarafından yapılan çalışma Fas'ın Atlantik Okyanusu kıyı bölgesindeki akıntı hızlarını hesaplamayı amaçlamıştır. Copernicus Marine Environment Services ve Med-MFC model veri seti kullanılarak 2018 yılı için yaklaşık 4x4 km çözünürlükte dört nokta analiz edilmiştir.

Çalışma sonucunda maksimum akıntı hızlarının 10 ve 50 metre derinliklerde sırasıyla yaklaşık 2,4 m/s ve 1,5 m/s olduğu tespit edilmiştir. (Lewis, Neill, Robins ve Hashemi, 2015) tarafından yapılan çalışmada akıntı hızından enerji kazanımında derinlik, çalışma periyodu ve hız profiline oldukça önemli olduğu ifade edilmiştir. Ek olarak türbin sistemlerinin en verimli çalışma aralığının ilkbahar sezonunda ve 2,5 m/s akıntı hızının uygun olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, derinlik olarak 25 ile 50 metre derinliğin türbin kurulumu için ideal derinlik olduğu saptanmıştır.

Orhan, Mayerle ve Pandoe (2015) tarafından yapılan çalışmada Larantuka Boğazı'nın akıntı enerjisi potansiyeli Delft3D modeli aracılığıyla veri analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda yıllık yaklaşık toplam 20 Gigawatt/saat enerji üretim kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir. (Wang, Yuan, Li ve Jiao, 2011) tarafından yapılan çalışmada okyanuslardan elde edilebilecek enerji kazanımı konularında teknolojik gelişmelerle türbin ve dalga enerji konvertörleri sayesinde özellikle dalga ve akıntı enerjisinin ilerleyen yıllarda önemli aşamalar kaydedileceğini vurgulamıştır.

Goundar ve Ahmed (2014) tarafından yapılan çalışmada 3 aylık analizler sonucunda çalışma alanında maksimum akıntı hızının 2,5 m/s'nin üzerine çıktığı noktalar tespit edilmiştir. Ayrıca, yatay eksenli bir su altı türbin sistemi sayesinde metrekare başına yaklaşık 525 W enerji kazanımı olabileceği saptanmıştır. Ortalama akıntı hızı ise 0,85 m/s saptanmıştır. Ortalama derinlik 17,5 metre olarak belirtilmiştir. Ek olarak türbin çapının 5 ile 8 metre arasında olmasının enerji kazanımı için uygun olduğu ifade edilmiştir. Kullanılan türbin sisteminde akıntı hızının 0,5 m/s'nin altına inmesi ve 3 m/s'nin üstünde çalışması durumunda türbin çalışmamaktadır.

Hammar, Ehnberg, Mavume, Francisco ve Molander (2012) tarafından yapılan bir çalışmada Mozambik bölgesinde kıyıya yakın yerlerde mikro ölçekli türbin kurulumu ve enerji kazanımı amacıyla akıntı ölçer sayesinde akıntının 1 m/s üzeri olduğu noktalar tespit edilmeye çalışılmıştır. Farklı noktalardan alınan veri setleri karşılaştırılarak potansiyel yüksek akıntı noktaları analiz edilmiştir. Bu çalışmada küçük ölçekli kurulum maliyeti az olan türbinler sayesinde enerji kazancı sağlamaktır.

(Esteban, Espada, Ortega, Gutiérrez ve Negro, 2019) tarafından yapılan çalışmada İspanya kıyılarında kurulan enerji kazanım sistemleri sayesinde 2007 ile 2016 çalışma periyodunda maksimum ve ortalama akıntı hızı analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda ortalama akıntı hızının özellikle Cebelitarık kıyılarında yaklaşık 1,5 m/s'nin üzerinde, maksimum akıntı hızının ise 2,5 m/s'nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada (Batten, Bahaj, Molland ve Chaplin, 2008), deniz akıntı hızının 2 m/s'yi aştığı noktalarda enerji kazanımı olabileceği vurgulanmıştır. Ayrıca çalışmada yapılan türbin tasarımında kavitasyon problemini çözmek için geliştirilen model tasarımında kanat açıklığında meydana gelen sürtünme güç kazanımında küçük bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Teorik tahminlerin model çıktılarıyla uyum içinde olduğu belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak seçilen Akdeniz'in ortalama derinliği 1500 m'dir. Cebelitarık Boğazı aracılığıyla Atlantik Okyanusu'na ve Süveyş Kanalı aracılığıyla Kızıldeniz'e bağlanmaktadır (Schroeder ve diğerleri, 2020). Akdeniz bölgesi biyolojik çeşitlilik açısından zengindir ve yüksek düzeyde rüzgar ile su etkileşimi ve sirkülasyona sahip karmaşık bir termohalin sistem ile karakterize edilmektedir (Meli ve diğerleri, 2023; Sakalli, 2017). Batı Akdeniz havzası düz bir deniz tabanına sahipken, doğu Akdeniz havzası farklı bir deniz tabanı oluşumuna sahiptir (Schroeder ve diğerleri, 2020). Sicilya Kanalı, batı Akdeniz ve doğu Akdeniz havzalarını birbirine bağlar (Criado ve Navarro, 2020). Doğu Akdeniz batı Akdeniz'e göre daha yüksek bir tuz konsantrasyonuna sahiptir (Maslova, Voskresenskaya, Lubkov ve Yurovsky, 2021).

Akdeniz bölgesinde konsantrasyon hızlı buharlaşma nedeniyle batıdan doğuya doğru artmaktadır (Zhang, 2021). Cebelitarık Boğazı'ndan giren Atlantik su kütlesi Afrika kıyısı boyunca kuzeye ve batıya doğru hareket ederek siklonik ve antisiklonik girdaplar oluşturur (Lionello, Conte ve Reale, 2019). Sicilya Boğazı'ndan geçtikten sonra, bir akıntı Tiren Denizi'ne doğru dallanarak kıyı boyunca siklonik akıntılar oluştururken, diğer akıntı Sicilya Kanalı'ndan akarak Akdeniz'in kuzey kıyılarına ve Levanten Havzası'na ulaşır. Yüze, orta ve derin akıntılar oluşturur (Pascual, Rives, Schunter ve Macpherson, 2017).

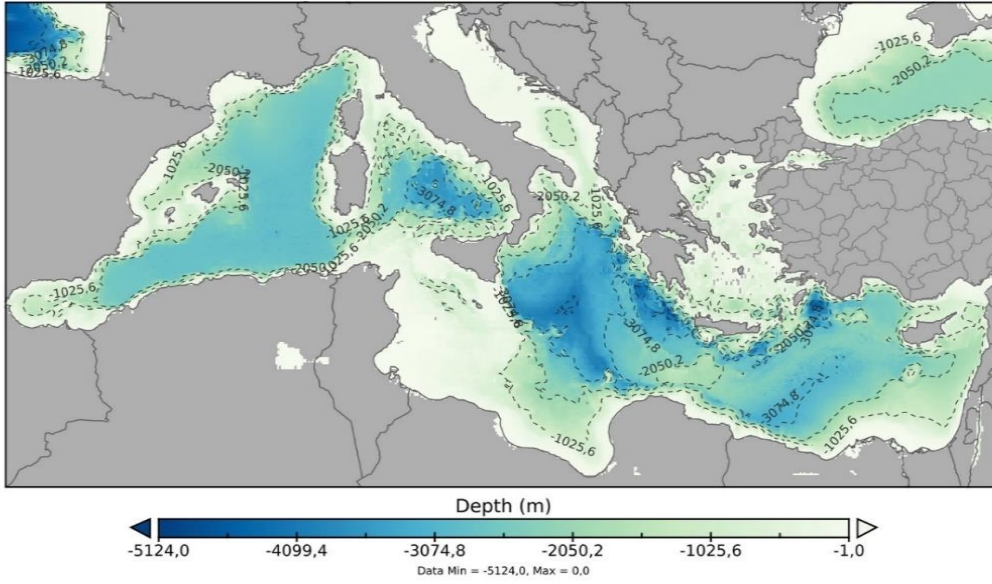
3.2. Uzaktan Algılama Yöntemiyle Elde Edilen Veriler

Bu çalışma için, Copernicus uydu verileri verileri kullanılarak 1987 ile ve 2021 yıllarını kapsayan akıntı hızı veri seti, saatlik olarak analiz edilmiştir (Escudier ve diğerleri, 2020). Veri seti özelliklerine bakıldığında 4x4 km alansal çözünürlüğe sahip 1-20 metre ve 20-50 metre derinlikteki akıntı hız verilerini içermektedir. Ayrıca veri seti Akdeniz akıntı sistemlerini matematiksel olarak ortaya koyan NEMO modeli çıktılarıyla hesaplanarak kalibrasyonu yapılmıştır ve doğrulanmıştır. Bu model hava-yüze etkileşimi, akıntı sirkülasyonlarını hesaplayan, su kütlesinin hareket denklemlerini, sucul ekosistemdeki fiziksel parametrelerden sıcaklık, basınç, tuzluluk gibi parametreleri göz önünde bulundurarak bölgeye özgün modellemeler yapar (Gurvan ve diğerleri, 2022). Atmosferik

veri seti olarak ERA5 veri setleriyle kalibrasyonu yapılmış saatlik ECMWF veri seti kullanılmıştır. Yerinde ölçüm verisi olarak Argo Ocean Data, nehir suları için ise aylık klimatoloji veri seti kullanılmıştır. Başlangıç veri seti olarak SeaDataNet FP6 Project verileri kullanılmıştır. Modelin biyokimyasal süreçlerin analizi için doğruluk oranı yüksek, verimli fiziksel ve sayısal algoritmalar modele entegre bir şekilde geliştirilmiştir. Veri setini görselleştirmek için Climate Data Operator (CDO) sürüm 1.6.0 kullanılmıştır. Ek olarak, çalışma dönemi boyunca (1987-2021) farklı derinlerdeki maksimum akıntı hızları haritalandırılmıştır. Ayrıca Türkiye kıta sahanlığında akıntı hızı yüksek noktalar belirlenmiş ve analiz edilmiştir. Farklı derinliklerdeki akıntı hızlarının standart sapmaları grafik olarak verilmiştir.

3.3. Batimetri Verileri

Akdeniz batimetrik haritası, kıyı şeridi ve denizlerin derinliklerini ortaya koyan Şekil 3.1' de sunulmuştur. Akdeniz bölgesinin batimetrik haritalaması için GEBCO (Bathymetric Compilation Group) (GEBCO, 2021) veri seti kullanılmıştır. Batimetri haritasında batı Akdeniz kıyı şeridi ortalama 1020 metre derinliğe sahipken, Tiren Denizi 3074 metre derinliğe ulaşmaktadır. Ayrıca, İyon Denizi kıyıları ve orta kesimleri boyunca bazı noktalar 3000 metre'yi aşarken, doğu Akdeniz giriş noktaları 2050 ila 2500 metre arasında değişmektedir. Levanten Denizi kıyı ve iç bölgelerindeki derinlikler 500 ila 1025 metre arasında değişmekte ve Ege Denizi'ndeki bazı noktalar 4800 m derinliğe ulaşmaktadır.



Şekil 3.1. Akdeniz batimetri haritası (metre)

3.4. Su Altı Türbin Sistemi ile Potansiyel Enerji Üretimi Hesaplaması

Önceki araştırmalar, su altına kurulan hidrokinetik türbin sistemlerinin önemli miktarlarda çevre dostu enerji sağlayabileceğini göstermiştir, Hazim, Salih, Janan, Ouatouati ve Ghennioui (2021) tarafından türetilen aşağıdaki Formül (3.1), bir türbinin birim zaman başına enerji kazancını (E) teorik olarak ifade etmektedir.

$$E = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3 \quad (3.1)$$

Bu formülde, ρ su yoğunluğunu (1025 kg/m^3), A rotor tarafından taranan alanı (m^2) ve V deniz akıntı hızını (m/s), C_p ise türbin verimliliğini ifade etmektedir. Seçilen türbinin çapı 9 metre olarak belirlenmiş, türbin verimliliği ise yaklaşık %59,26 olarak hesaplanmıştır (Ranjbar, Nasrazadani, Kia ve Gharali, 2020) ve Betz limitini aşmaması sağlanmıştır. Çalışma, bir su altı türbininin potansiyel enerji kazancını belirlemek için Atlantis Resources'ın AR1500 türbin tipini örnek olarak seçmiştir (Korte, Windt ve Goseberg, 2024).

Önceki çalışmalar, denizin yoğunluğunun rüzgar türbinine benzer şekilde çalışan bu türbine fayda sağladığını göstermiştir. Potansiyel enerji kazancı, güçlü akıntı hızlarının olduğu yerlerde hesaplanmıştır. Formül (3.2)'de ifade edilen Elde edilen değer daha sonra 365

(gün), 24 (saat) ve 3600 (saniye) ile çarpılarak yıllık saatlik potansiyel enerji kazancı belirlenmiştir. Son olarak, gigawatt birimi cinsinden enerji kazancını temsil etmek için değer 10^{-9} ile çarpılmıştır.

$$Ep = E \times 10^{-9} \quad (3.2)$$

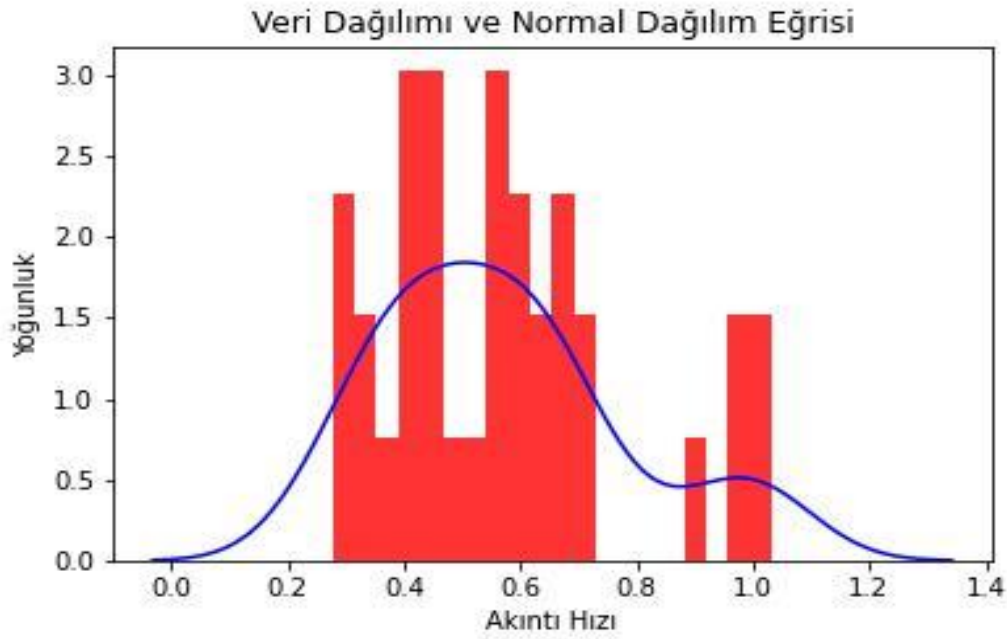
Çalışma alanı için farklı derinliklerdeki maksimum akıntı hızlarının yıllar içerisindeki standart sapma değerini (σ) hesaplamak için Formül (3.3) kullanılmıştır. Burada x , maksimum akıntı hızını, \bar{x} ise ortalama akıntı hızını belirtmektedir. i ve n ifadeleri ise çalışma zaman aralığını ifade etmektedir.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.3)$$

3.5. Veri Seti Normalizasyonu ve Modelleme

Tez kapsamında kullanılan veri seti normal bir dağılım göstermesine rağmen minimum-maksimum normzalizasyon yöntemi kullanılarak veri normalizasyonu yapılmıştır. Normalizasyon için kullanılan formül (3.4)'de ifade edilen X değeri, veri setindeki her noktanın çalışma periyodu içindeki değerini, X_{max} ve X_{min} ise sırasıyla her grid için çalışma zaman aralığındaki maksimum ve minimum değerlerini belirtmektedir. Akıntı hızının yüksek olduğu noktalarda rastgele seçilen noktalarda akıntı hızının lineer bir dağılım gösterdiği tespit edilmiş ve modelleme çalışması 2022-2100 yılları için lineer olarak yapılmıştır. Yapılan lineer modellemede her grid noktasının çalışma zaman aralığındaki lineer fonksiyonu kullanılmıştır. Bu kapsamda gridlerdeki lineer değişim modellenmiştir.

$$X = \frac{x - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (3.4)$$

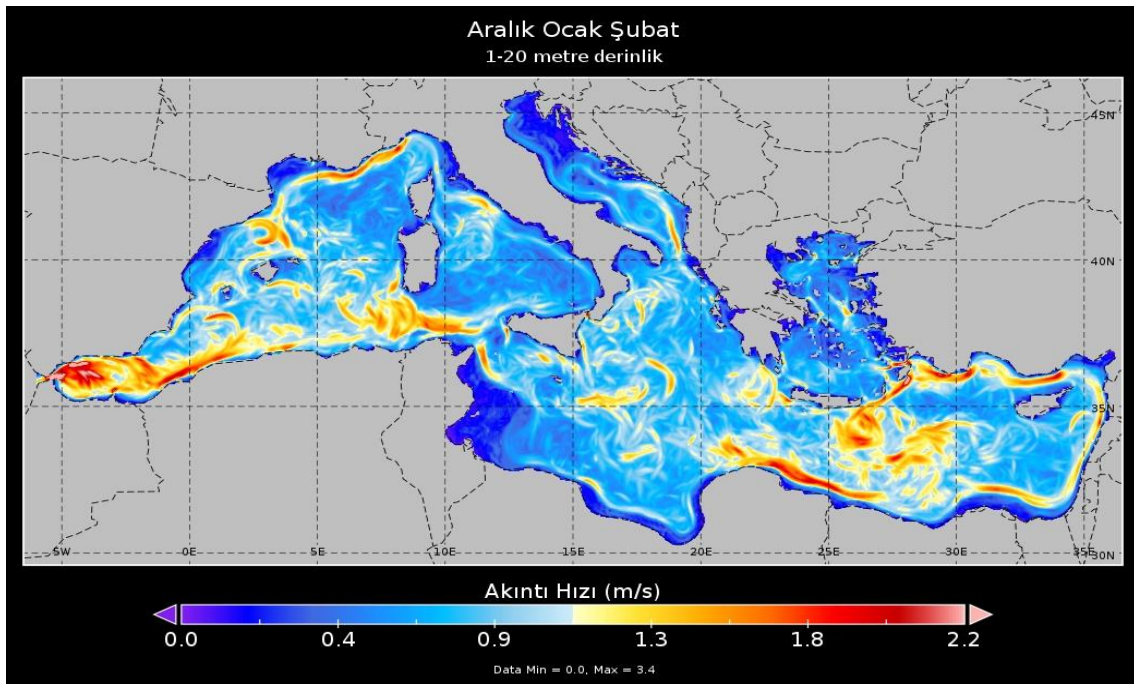


Şekil 3.2 Rastgele seçilen bir noktadaki akıntı hızı (m/s) veri dağılım eğrisi

Şekil 3.2. veri seti içerisinde seçilen bir noktadaki akıntı hızı dağılımı ve yoğunluğu gösterilmiştir. Buradaki normal dağılım grafiği göz önünde bulundurularak modelleme çalışması yapılmıştır.

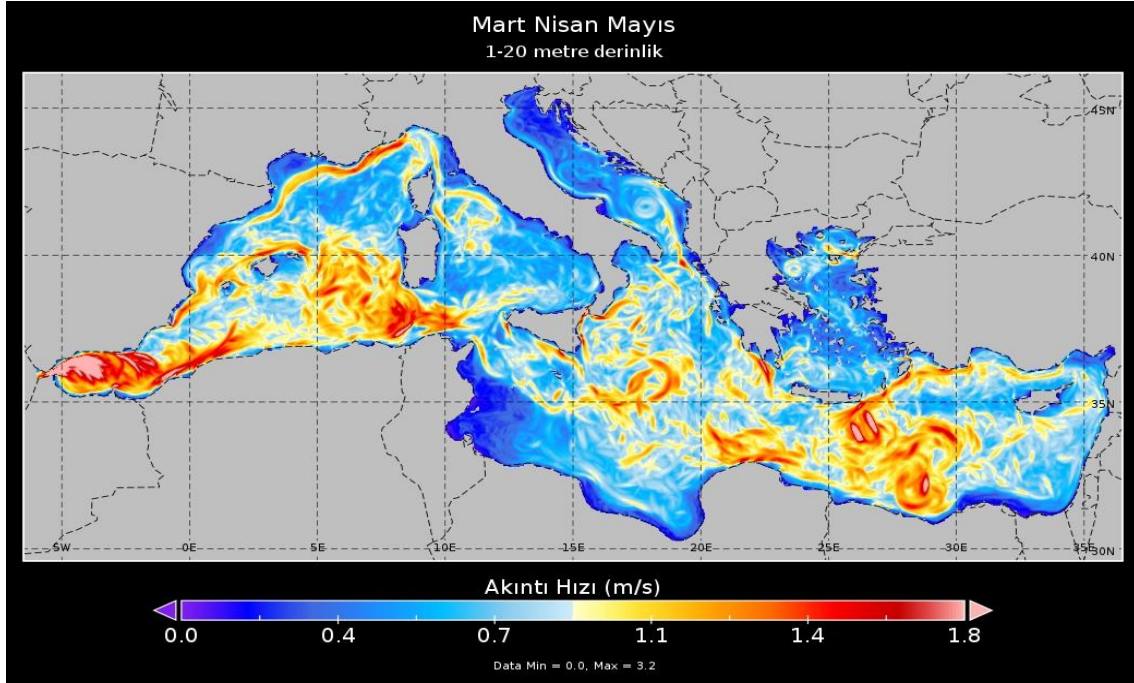
doğru ilerleyen akıntı kolunun hızının yaklaşık 1,8 m/s ile 2,2 m/s arasında değiştiği görölmektedir. Ayrıca, Libya kıyılarında Bingazi ve Tobruk ile Yunanistan'ın Girit Adası arasındaki bölgede akıntı hızının 2,5 m/s'yi aştığı noktalar bulunmaktadır. Benzer şekilde, Kıbrıs ve Türkiye'nin doğu kıyıları arasındaki bölgede, özellikle Antalya, Mersin açıklarında sularda, hızın 1,8 m/s ile 2,2 m/s arasında değiştiği alanlar olduğu da tespit edilmiştir. Ayrıca, Ege Denizi'nin Rodos ve Sakız adaları arasındaki sularında hızın 2,8 m/s ile 3 m/s arasında değiştiği noktalar tespit edilmiştir.

4.2. 1-20 Metre-Derinlik Sezonluk Maksimum Akıntı Hızı Analizi



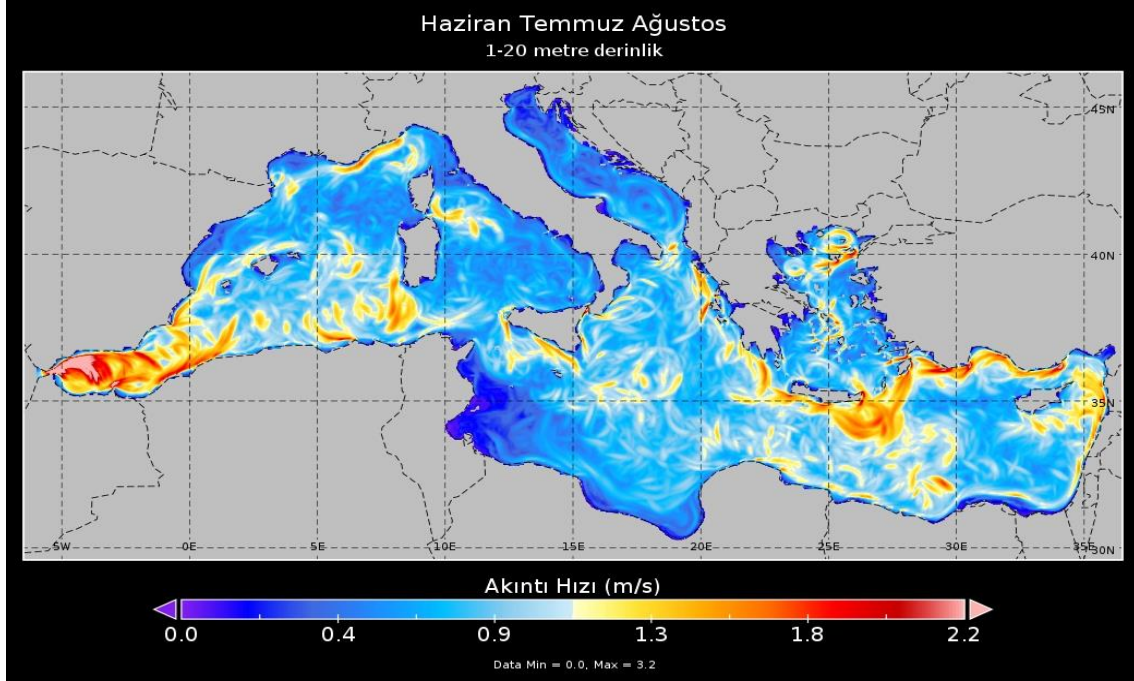
şekil 4.2. Akdeniz 1-20 metre derinlik Aralık-Ocak-şubat sezonu maksimum akıntı hızı (m/s)

şekil 4.2'de en yüksek akıntı hızı 3,4 m/s olarak belirlenmiştir. Batı Akdeniz kıyılarının bazı noktalarında 2 m/s ve üzerinde olduğu bölgeler mevcuttur. Almeria-Oran bölgesinde akıntının 2,8 m/s ile 3,2 m/s arasında hıza ulaştığı alanlar bulunmaktadır. Ek olarak, akıntı kolu Sicilya kıyıları ve girişindeki alanlarda yaklaşık 1,3 m/s olarak tespit saptanmıştır. Ayrıca, Afrika'nın kuzey kıyılarından doğu Akdeniz'in iç kısımlarına doğu ilerleyen akıntı kolunun hızının yaklaşık 1,2 m/s ile 2 m/s arasında değiştiği görölmektedir. İyon denizi kıyılarında bulunan bölgelerde ise akıntı hızının 2,2 m/s üzerine çıktığı bölgeler mevcuttur. Türkiye'nin doğu Akdeniz kıyılarında ise genellikle 1,5 ile 2,2 arasında olduğu görölmektedir.



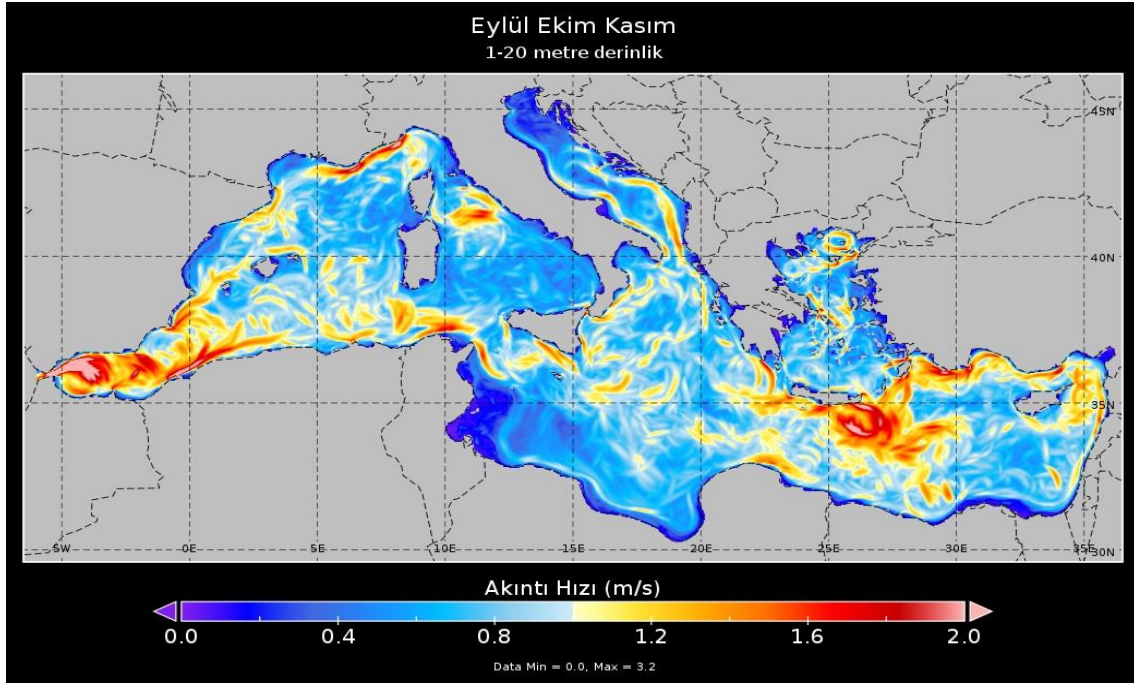
Şekil 4.3. Akdeniz 1-20 metre derinlik Mart-Nisan-Mayıs sezonu maksimum akıntı hızı (m/s)

Şekil 4.3’de en yüksek akıntı hızı 3,2 m/s olarak belirlenmiştir. Batı Akdeniz kıyılarının bazı noktalarında 1,8 m/s üzerinde alanlar saptanmıştır. Almeria-Oran bölgesinde akıntının 1,8 m/s ile 2,5 m/s arasında hıza ulaştığı alanlar bulunmaktadır. Ek olarak, akıntı kolu Sicilya kıyıları ve girişindeki bölgelerde yaklaşık 1,1 m/s ile 1,4 m/s arasında olduğu görülmüştür. Doğu Akdeniz’ in giriş bölgelerinde akıntı kolunun hızının yaklaşık 2,5 m/s ve üzeri olduğu alanlar mevcuttur. İyon denizi kıyılarında bulunan bölgelerde ise akıntı hızının 1,6 m/s’nin üzerine çıktığı bölgeler mevcuttur. Türkiye’nin doğu Akdeniz kıyılarında ise genellikle 0,9 m/s ile 1,2 m/s arasında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4. Akdeniz 1-20 metre derinlik Haziran-Temmuz-Ağustos sezonu maksimum akıntı hızı (m/s)

Şekil 4.4’de en yüksek akıntı hızı 3,2 m/s olarak belirlenmiştir. 1987-2021 yılları arası maksimum akıntı hızı, Almeria ile Oran bölgesi kıyılarında 2,2 m/s ve üzeri bazı noktalarında tespit edilmiştir. Tiren denizi’nin doğu bölgelerinden batı kıyılarına doğru hareket eden akıntı kolunun genellikle 1,3 m/s ile 2 m/s arasında olduğu belirlenmiştir. Levantin denizi’nin giriş noktalarında akıntının genellikle 1,4 m/s ile 2,2 m/s olduğu görülmüştür. Türkiye’nin doğu Akdeniz kıyılarında Antalya, Mersin açıklarında akıntı hızının 2,2 m/s ile 2,5 m/s arasında olduğu bazı noktalar mevcuttur. Afrika kıyılarını takip ederek Samandağ açıkları ve İskenderun körfezine ulaşan akıntının ise 1 m/s ile 1,4 m/s arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.5. Akdeniz 1-20 metre derinlik Eylül-Ekim-Kasım sezonu maksimum akıntı hızı (m/s)

Şekil 4.5’de analiz sonucu en yüksek akıntı hızı 3,2 m/s olarak belirlenmiştir. Cebelitarık girişi Cezayir kıyılarında 2,5 m/s ve üzeri İbiza kanalı kıyılarında bazı noktalarda 1,8 ile 2 m/s arasında olduğu görülmüş, Almeria-Oran bölgesi kıyılarında ise 2 m/s ile 2,5 m/s arasında olduğu belirlenmiştir. Doğu Akdeniz ile İyon denizi arasında kalan bölgede akıntı sirkülasyonunun yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Bu bölgede akıntı hızının 1,6 m/s ile 2,4 m/s arasında değiştiği belirlenmiştir. Levantin denizinin giriş noktalarından Kıbrıs üzerinden geçerek Türkiye kıyılarına hareket eden akıntı kolunun genellikle 1,2 m/s ile 1,6 m/s arasında olduğu görülmüştür. Türkiye’nin doğu Akdeniz kıyılarında Antalya, Mersin açıklarında akıntı hızının genellikle 1,4 m/s ile 2 m/s arasında değiştiği görülmektedir.

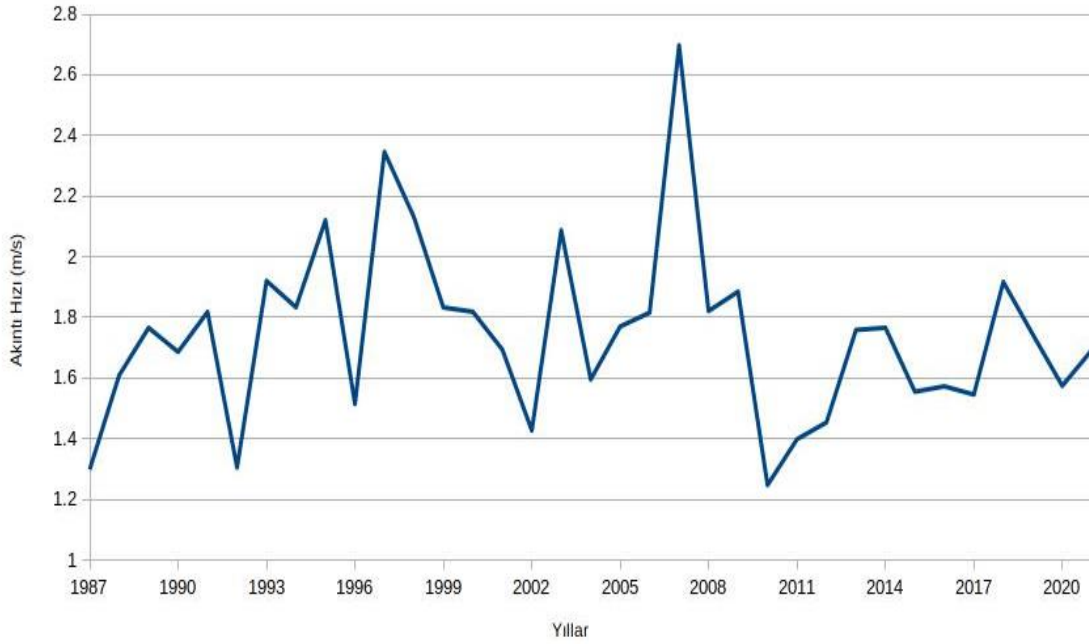
4.3. 1-20 metre derinlik Türkiye Kıta Sahanlığı Akıntı Hızı Yüksek Alanlar

Bu bölümde 1-20 metre derinlik için Türkiye kıta sahanlığında kalan bazı alanların çalışma periyodu kapsamında akıntı hız grafikleri verilmiştir.



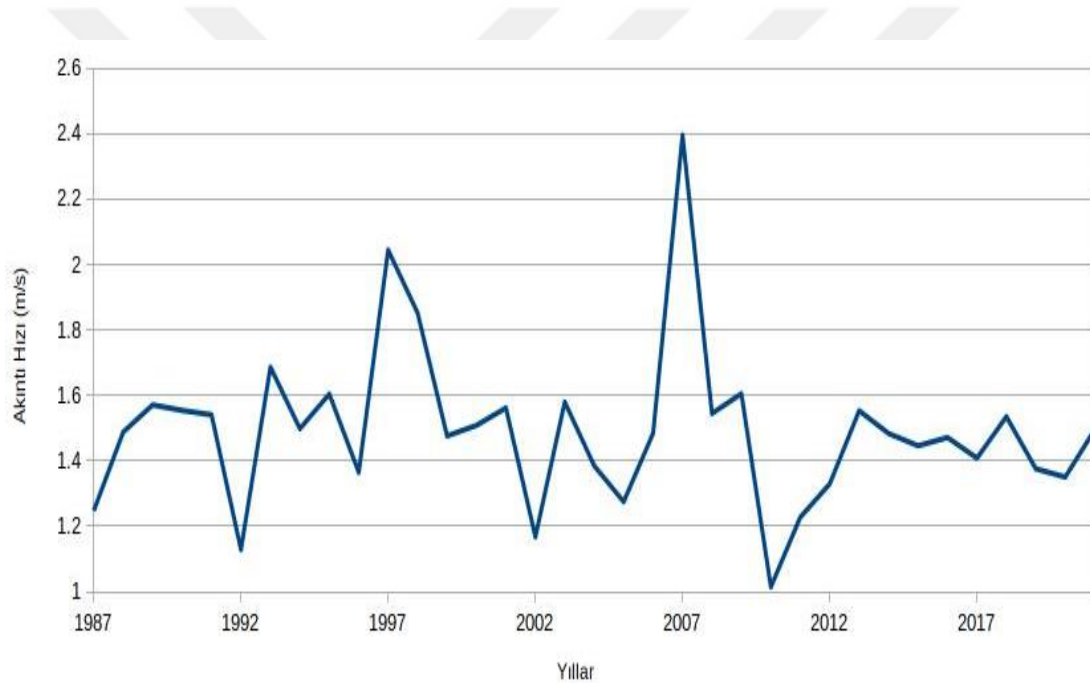
Resim 4.1. Türkiye kıta sahanlığı 1-20 metre derinlik akıntı hızı yüksek alanlar sırasıyla (1, 2, 3, 4 ve 5) [Google Maps, 2024]

Resim 4.1’de çalışma periyodu kapsamında Türkiye kıta sahanlığı 1-20 metre derinlik akıntı hızı yüksek bazı alanlar gösterilmiştir. Birbirine yakın olduğu görülen bu alanların Mersin açıkları Taşucu, Silifke ve Atakent konumları arasında kaldığı ve yaklaşık 15 km mesafede olduğu görülmektedir.



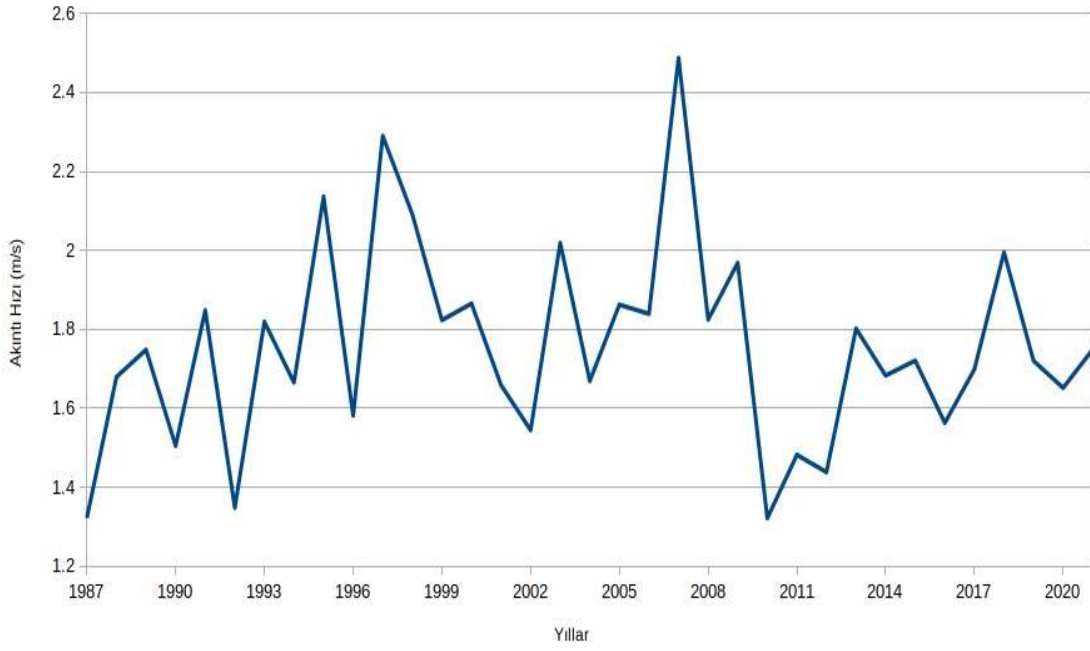
Şekil 4.6. 1-20 metre derinlik Enlem: 36,1875 Boylam: 34,0833

Şekil 4.6’da koordinatları verilen noktanın yıllar içindeki maksimum akıntı hızı m/s analiz edilmiştir. Analiz sonucunda akıntı hızının 1987 yılından 1992 yılına kadar 1,3 m/s ile 1,8 m/s arasında değiştiği görülmektedir. 1993 ile 1996 yılına kadar olan süreçte akıntı hızının 2 m/s’ye çıktığı görülmüştür. Özellikle 1998 yılından itibaren 2002 yılına kadar olan periyotta akıntı hızının düşüş eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu zaman diliminde akıntı hızı 2,3 m/s’den 1,4 m/s’ye kadar düşüş göstermiştir. Akıntı hızının maksimum seviyeye ulaştığı yıl ise 2007 olarak görülmektedir. Daha sonra 2007 yılından 2010 yılına kadar olan periyotta akıntı hızı 1,2 m/s’ye kadar düşmüştür. 2011 yılı ile 2021 yılları arasındaki süreçte 1,4 m/s ile 1,9 m/s arasında değişmekte olduğu tespit edilmiştir.



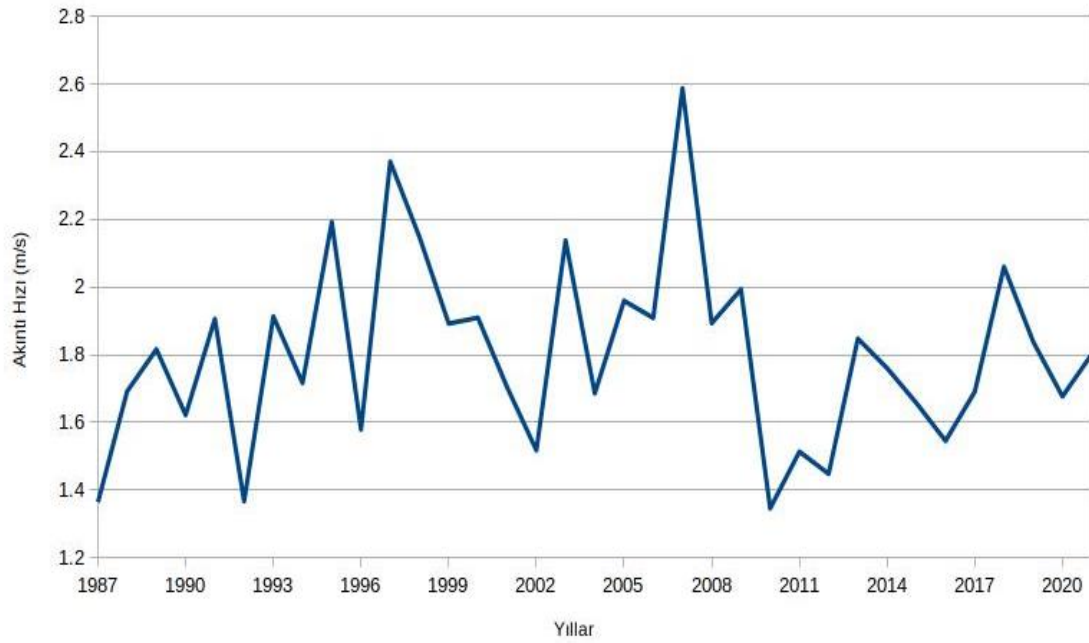
Şekil 4.7. 1-20 metre derinlik Enlem:36,1875 Boylam:34,0417

Şekil 4.7’de tespit edilen noktada maksimum akıntı hızının 1987 ile 1991 yılları arasında 1,2 m/s ile 1,5 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Daha sonra 1992-1997 zaman diliminde akıntı hızı 1,2 m/s ile 1,7 m/s arasında olduğu tespit edilmiştir. Maksimum akıntı hızının 2007 yılında 2,4 m/s ‘ye çıktığı belirlenmiştir. Daha sonra 2010 yılına kadar oldukça sert bir düşüş olduğu ve akıntı hızının 1 m/s hıza kadar düşüş yaşadığı analiz edilmiştir. 2010 yılından 2021 yılına kadar periyotta ise akıntı hızı 1 m/s ile 1,5 m/s arasında değişmektedir.



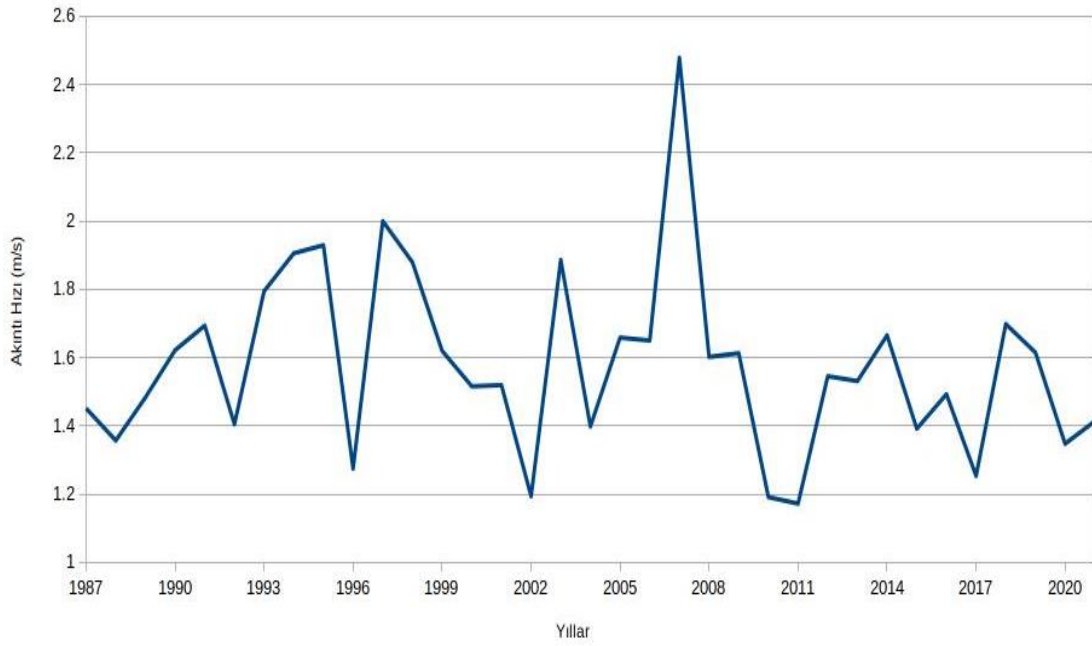
Şekil 4.8. 1-20 metre derinlik Enlem:36,2708 Boylam:34,125

Şekil 4.8’de akıntı hızının 1987 yılından 1989 yılına kadar olan süreçte artış eğiliminde olduğu görülmüştür. 1996 yılında 1,6 m/s, 1999 yılında ise 2,3 m/s’ye yakın değerler tespit edilmiştir. Bu dönemden itibaren 2002 yılına kadar olan süreçte akıntı hızı devamlı düşüş eğilimi göstermiştir. Çalışma dönemi kapsamında maksimum akıntı hızının 2007-2008 yılları arasında olduğu belirlenmiştir. Bu dönemde akıntı hızı 2,5 m/s’ye yaklaşmıştır. 2008 yılından itibaren 2010 yılının sonunda kadar süreçte düşme eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. 2011 yılından 2021 yılına kadar süreçte ise akıntı hızı yaklaşık 1,4 m/s ile 1,7 m/s arasında değişmektedir.



Şekil 4.9. 1-20 metre derinlik Enlem:36,2292 Boylam:34,125

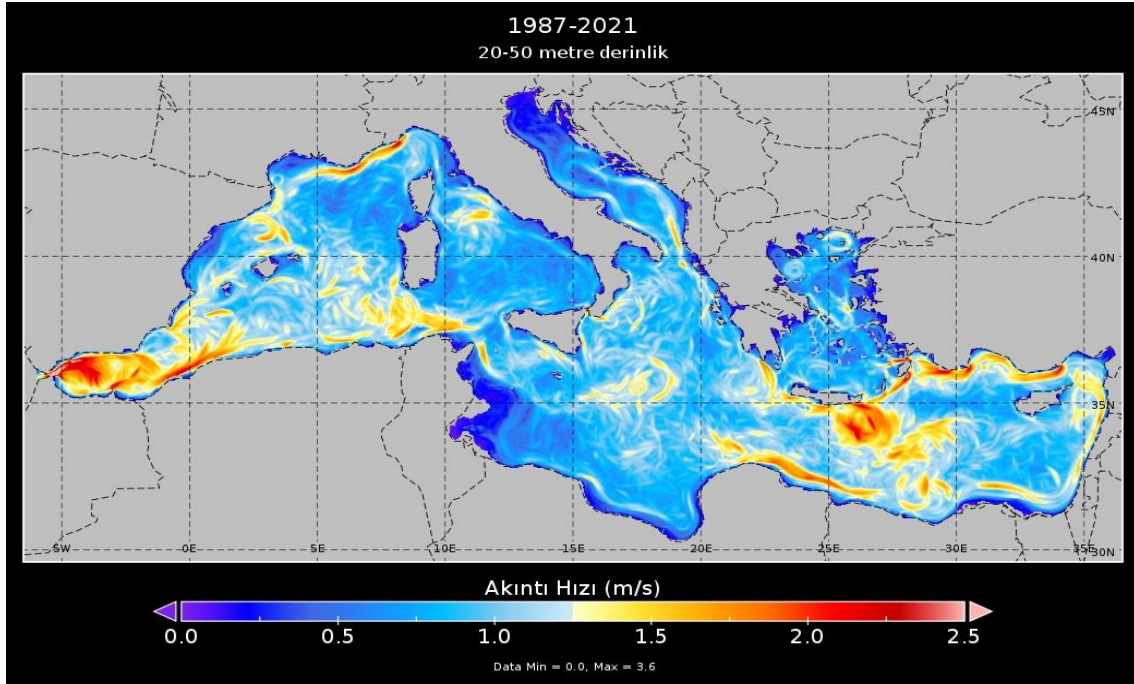
Şekil 4.9’da 1987-1992 yılları arasında akıntı hızındaki değişimin 1,4 m/s ile 1,9 m/s arasında değiştiği görülmüştür. Daha sonra, 1993-1997 yılları arasındaki periyotta ağırlıklı olarak artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir. 1997 yılından itibaren 2002 yılına kadar olan süreçte sürekli düşüş eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu periyotta akıntı hızı 2,4 m/s ‘den 1,5 m/s’ye kadar düşüş göstermiştir. 2007 yılında maksimum akıntı hızının yaklaşık 2,6 m/s olduğu tespit edilmiştir. 2008-2010 yılları arasında ise akıntı hızında belirgin bir düşüş meydana gelmiştir. 2010 yılında akıntı hızı 1,3 m/s ye kadar düşmüştür. 2021 yılına kadar olan süreçte ise akıntı hızı genellikle 1,3 m/s ile 1,8 m/s arasında değişmektedir.



Şekil 4.10. 1-20 metre derinlik Enlem:36,1458 Boylam:34,0833

Şekil 4.10'da 1987-1992 yılları arasında akıntı hızının 1,4 m/s ile 1,7 m/s arasında değiştiği görülmüştür. Daha sonra, 1993-1997 yılları arasındaki periyotta ağırlıklı olarak artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir. 1997 yılından itibaren 2002 yılına kadar olan süreçte sürekli düşüş eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu periyotta akıntı hızı 2 m/s hıza ulaşmış ve 1,2 m/s'ye kadar düşüş göstermiştir. 2007 yılında maksimum akıntı hızının yaklaşık 2,5 m/s olduğu tespit edilmiştir. 2008-2010 yılları arasında ise akıntı hızında belirgin bir düşüş meydana gelmiştir. 2010 yılında akıntı hızı 1,2 m/s ye kadar düşmüştür. 2021 yılına kadar olan süreçte ise akıntı hızı genellikle 1,2 m/s ile 1,4 m/s arasında değişmektedir.

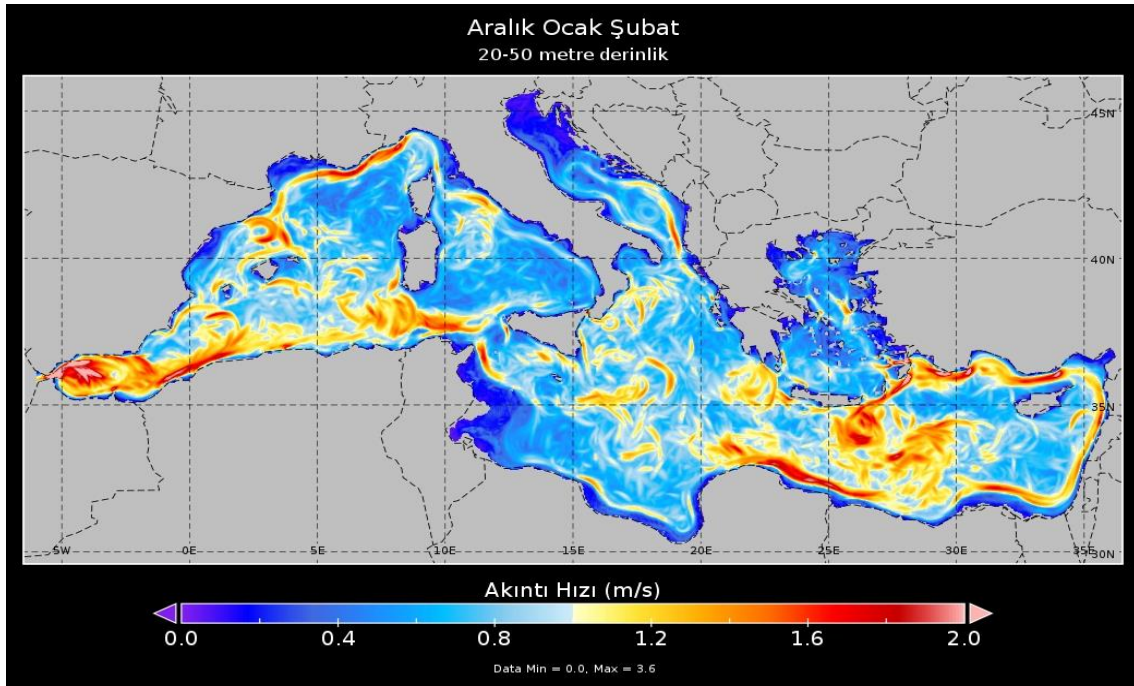
4.4. 20-50 Metre-Derinlik Maksimum Akıntı Hızı Analizi



Şekil 4.11. Akdeniz 20-50 metre derinlik maksimum akıntı hızı (m/s) haritası

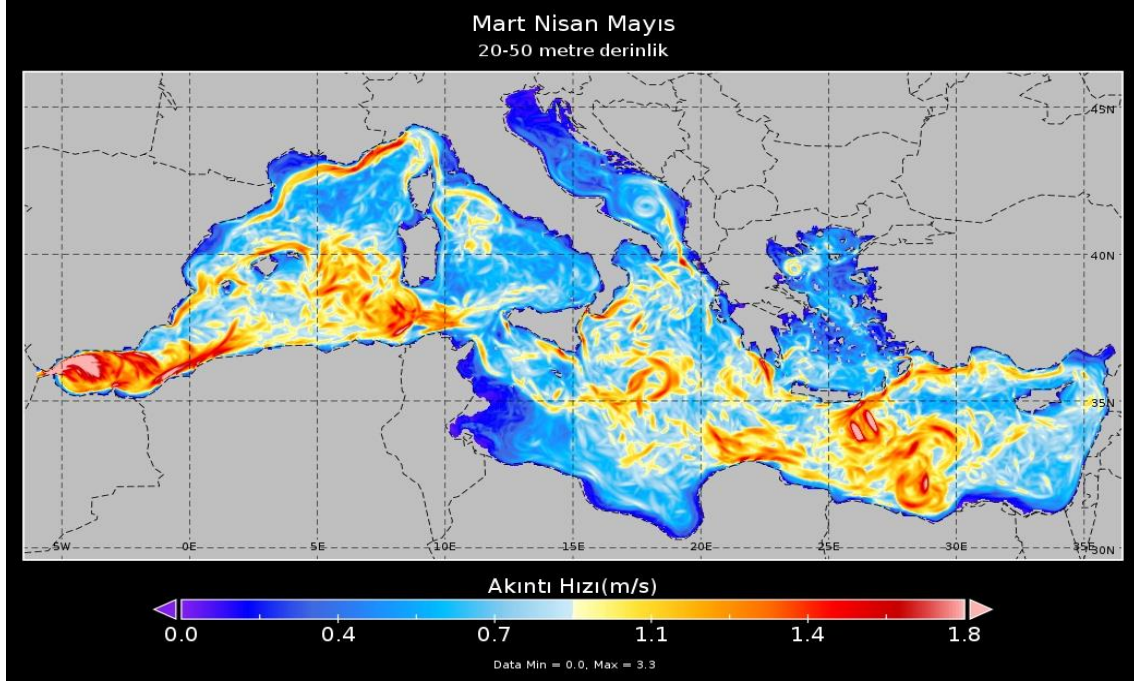
Şekil 4.11’de en yüksek akıntı hızı 3,6 m/s olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında maksimum akıntı hızı, batı Akdeniz kıyılarının bazı noktalarında 2 m/s ve üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Almeria ile Oran arasında kalan alanlarda akıntının 2,5 m/s değere ulaştığı noktalar tespit edilmiştir. İkinci olarak, ilerlemeye devam eden bu akıntı kolu Sicilya Kanalı’na kadar olan bölgede yaklaşık 1,4 m/s ve üzeri bir hıza ulaşmaktadır. Öte yandan, Afrika’nın kuzey kıyılarından doğu Akdeniz’ in iç kısımlarına doğru ilerleyen akıntı kolunun hızının yaklaşık 1,6 m/s ile 2,2 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca, Libya kıyılarında Bingazi ve Tobruk 1,8 m/s ile Yunanistan’ın Girit Adası arasındaki bölgede akıntı hızının 2 m/s’ yi aştığı noktalar bulunmaktadır. Benzer şekilde, Kıbrıs ve Türkiye’nin doğu kıyıları arasındaki bölgede, özellikle Antalya, Mersin açıklarında sularda, hızın 2 m/s ile 2,5 m/s arasında değiştiği alanlar olduğu da tespit edilmiştir. Ayrıca, Ege Denizi’nin Rodos ve Sakız adaları arasındaki sularda hızın 2,2 m/s ile 2,5 m/s arasında değiştiği noktalar tespit edilmiştir.

4.5. 20-50 Metre-Derinlik Sezonluk Maksimum Akıntı Hızı Analizi



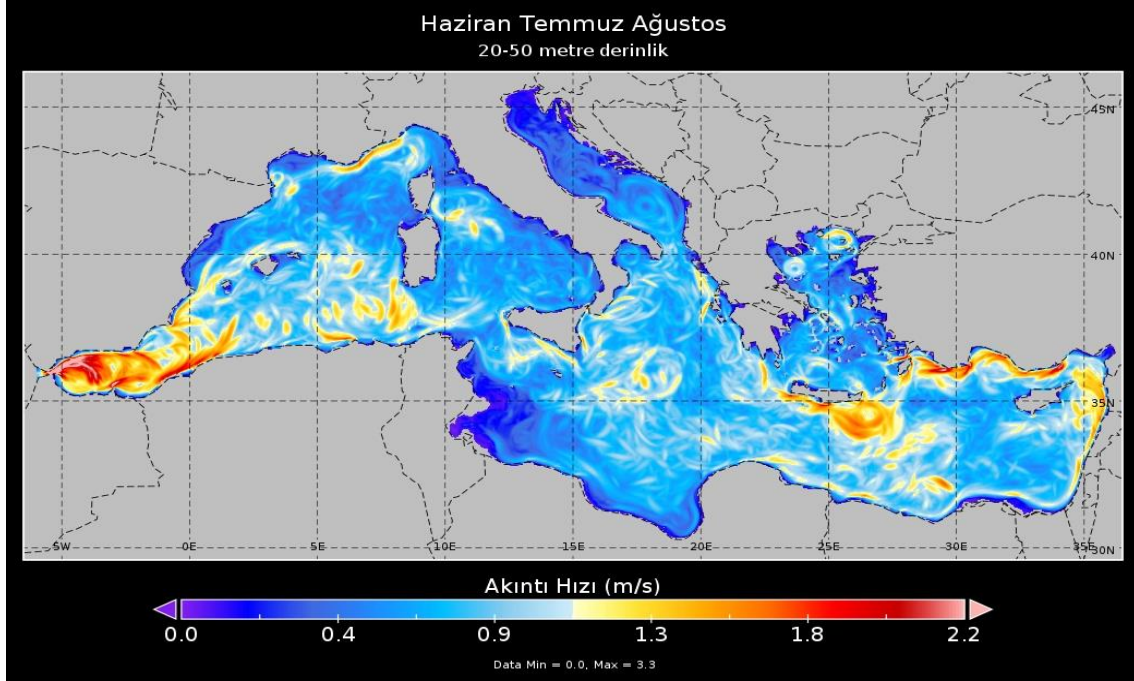
Şekil 4.12. Akdeniz 20-50 metre derinlik Aralık-Ocak-Şubat sezonu maksimum akıntı hızı (m/s)

Şekil 4.12’de en yüksek akıntı hızı 3,6 m/s olarak belirlenmiştir. Çalışma periyodu maksimum akıntı hızı, batı Akdeniz kıyılarının bazı noktalarında 2,5 m/s ve üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Almeria-Oran bölgesinde akıntının 2,5 m/s ile 3 m/s arasında hıza ulaştığı alanlar bulunmaktadır. Ek olarak, akıntı kolu Sicilya kıyıları ve girişindeki alanlarda yaklaşık 1,2 m/s olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, Afrika’nın kuzey kıyılarından doğu Akdeniz’in iç kısımlarına doğru ilerleyen akıntı kolunun hızının yaklaşık 1,6 m/s ile 2,2 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Afrika kıyılarında Mısır Libya açıklarında 2 m/s ve üzeri olduğu noktalar tespit edilmiştir. İyon denizi kıyılarında bulunan bölgelerde ise akıntı hızının 2,2 m/s üzerine çıktığı bölgeler mevcuttur. Türkiye’nin doğu Akdeniz kıyılarında ise genellikle 1,6 m/s ile 2,3 m/s arasında olduğu görülmektedir.



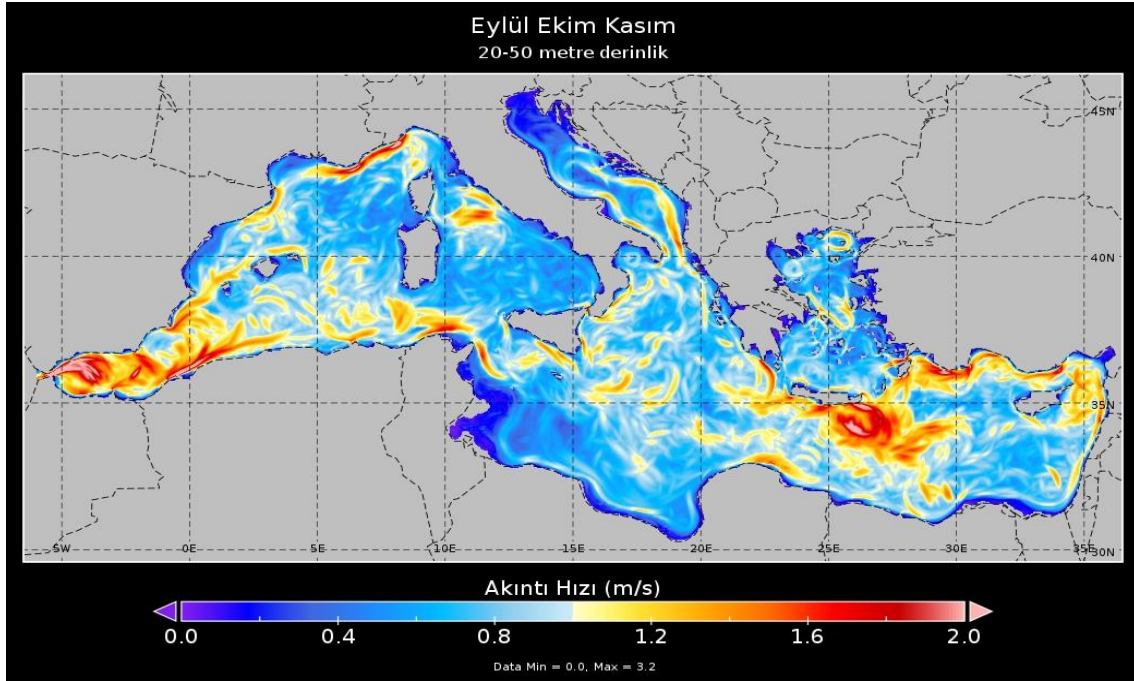
Şekil 4.13. Akdeniz 20-50 metre derinlik Mart-Nisan-Mayıs sezonu maksimum akıntı hızı (m/s)

Şekil 4.13'de en yüksek akıntı hızı 3,3 m/s olarak belirlenmiştir. 1987-2021 yılları arası maksimum akıntı hızının batı Akdeniz kıyılarının bazı alanlarında 1,6 m/s ve üzerinde olduğu saptanmıştır. Almeria ile Oran arasındaki bölgede ise akıntı hızının 1,8 m/s ile 2,5 m/s arasında hıza ulaştığı saptanmıştır. Ek olarak, akıntı kolu Sicilya kıyıları ve girişindeki alanlarda yaklaşık 1,2 m/s ile 1,5 m/s arasında değişmektedir. Doğu Akdeniz'in giriş bölgelerinde akıntı kolunun hızının yaklaşık 2,2 m/s ve üzeri olduğu alanlar mevcuttur. İyon denizi kıyılarında bulunan bölgelerde ise akıntı hızının 1,6 m/s'nin üzerine çıktığı bölgeler tespit edilmiştir. Türkiye'nin doğu Akdeniz kıyılarında ise genellikle akıntı hızı 1 m/s ile 1,3 m/s arasında değişmektedir.



Şekil 4.14. Akdeniz 20-50 metre derinlik Haziran-Temmuz-Ağustos sezonu maksimum akıntı hızı (m/s)

Şekil 4.14’de en yüksek akıntı hızı 3,3 m/s olarak belirlenmiştir. 1987-2021 yılları arası maksimum akıntı hızı, Almeria ile Oran arasında ve çevresinde kalan bölgede 1,8 m/s ile 2,2 m/s arasında değiştiği saptanmıştır. Tiren denizi’nin doğu bölgelerinden batı kıyılarına doğru hareket eden akıntı kolunun genellikle 1 m/s ile 1,3 m/s arasında olduğu belirlenmiştir. Levantin denizi’nin giriş noktalarında akıntının genellikle 1,2 m/s ile 2,4 m/s olduğu görülmüştür. Türkiye’nin doğu Akdeniz kıyılarında Antalya, Mersin açıklarında akıntı hızının 2,2 m/s ile 2,4 m/s arasında olduğu bazı noktalar mevcuttur. Afrika kıyılarını takip ederek Samandağ açıkları ve İskenderun Körfezi’ne ulaşan akıntının ise 0,9 m/s ile 1,4 m/s arasında değiştiği görülmektedir.

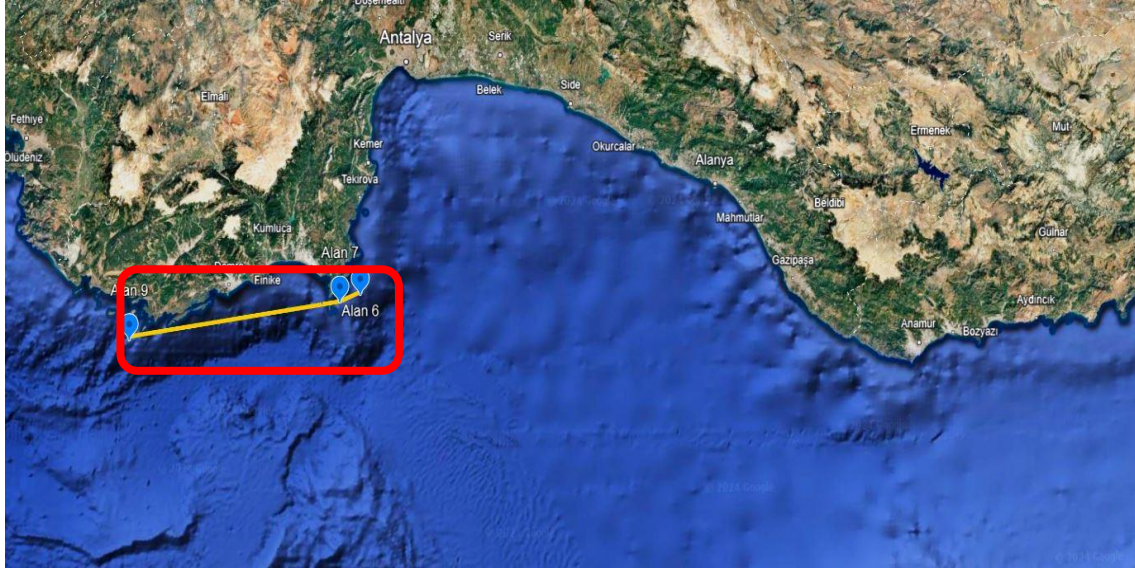


Şekil 4.15. Akdeniz 20-50 metre derinlik Eylül-Ekim-Kasım sezonu maksimum akıntı hızı (m/s)

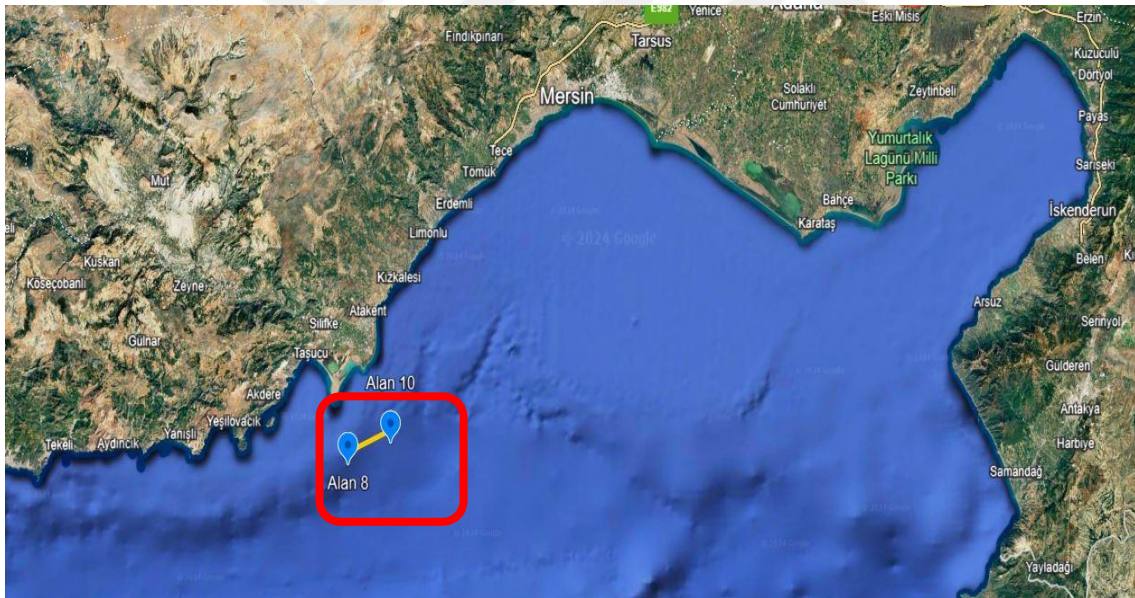
Şekil 4.15’de çalışma periyodu boyunca en yüksek akıntı hızı 3,2 m/s olarak belirlenmiştir. 1987-2021 yılları arası maksimum akıntı hızı, Cebelitarık girişinde 3 m/s ve üzeri tespit edilmiştir. İbiza kanalı kıyılarında bazı noktalarda ise 2 m/s ile 2,2 m/s arasında olduğu saptanmıştır. Almeria-Oran bölgesi kıyılarında ise 2 m/s ile 2,5 m/s arasında olduğu belirlenmiştir. Doğu Akdeniz ile İyon denizi arasında kalan bölgede akıntı sirkülasyonunun yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Bu bölgede akıntı hızının 1,5 m/s ile 2,8 m/s arasında değiştiği belirlenmiştir. Levantin denizinin giriş noktalarından Kıbrıs üzerinden geçerek Türkiye kıyılarına hareket eden akıntı kolunun genellikle 1 m/s ile 1,5 m/s arasında olduğu görülmüştür. Türkiye’nin doğu Akdeniz kıyılarında Antalya, Mersin açıklarında akıntı hızının genellikle 1,5 m/s ile 2 m/s arasında değiştiği görülmektedir.

4.6. 20-50 metre derinlik Türkiye Kıta Sahanlığı Akıntı Hızı Yüksek Alanlar

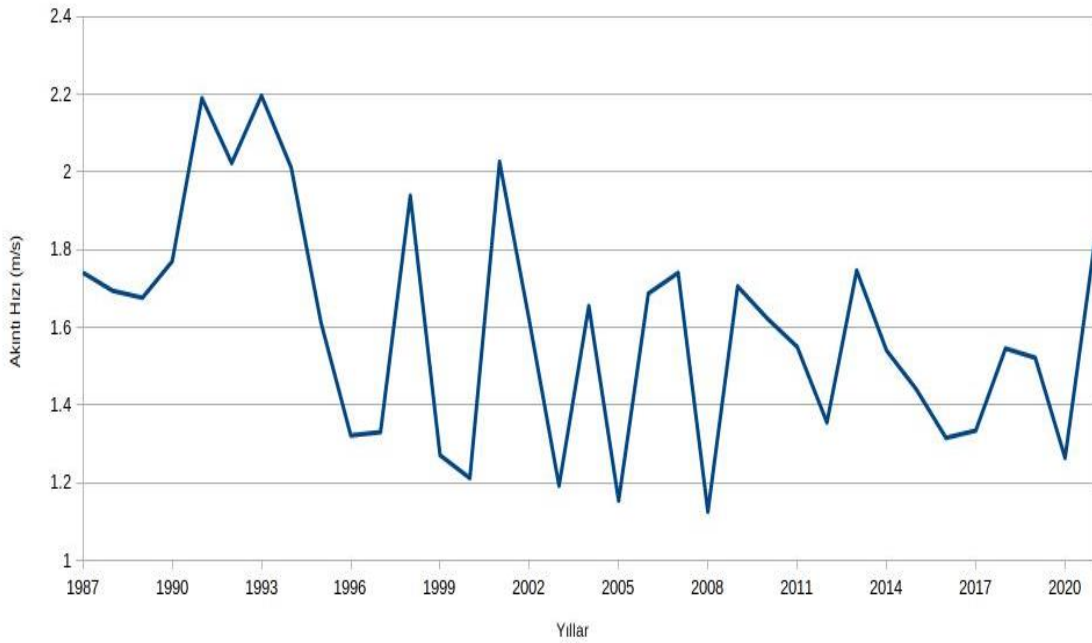
Bu bölümde 20-50 metre derinlik için Türkiye kıta sahanlığında kalan bazı alanların çalışma periyodu kapsamında akıntı hız grafikleri verilmiştir.



Resim 4.2. Türkiye kıta sahanlığı 20-50 metre derinlik akıntı hızı yüksek alanlar (alan 6, 7 ve 9) [Google Maps, 2024]

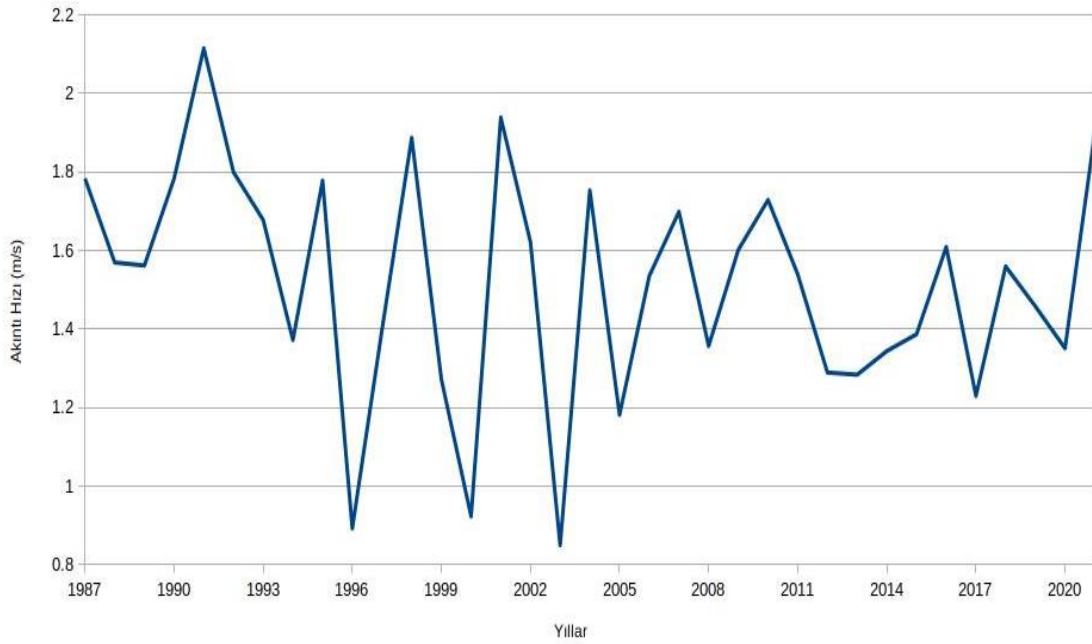


Resim 4.3. Türkiye kıta sahanlığı 20-50 metre derinlik akıntı hızı yüksek alanlar (8 ve 10) [Google Maps, 2024]



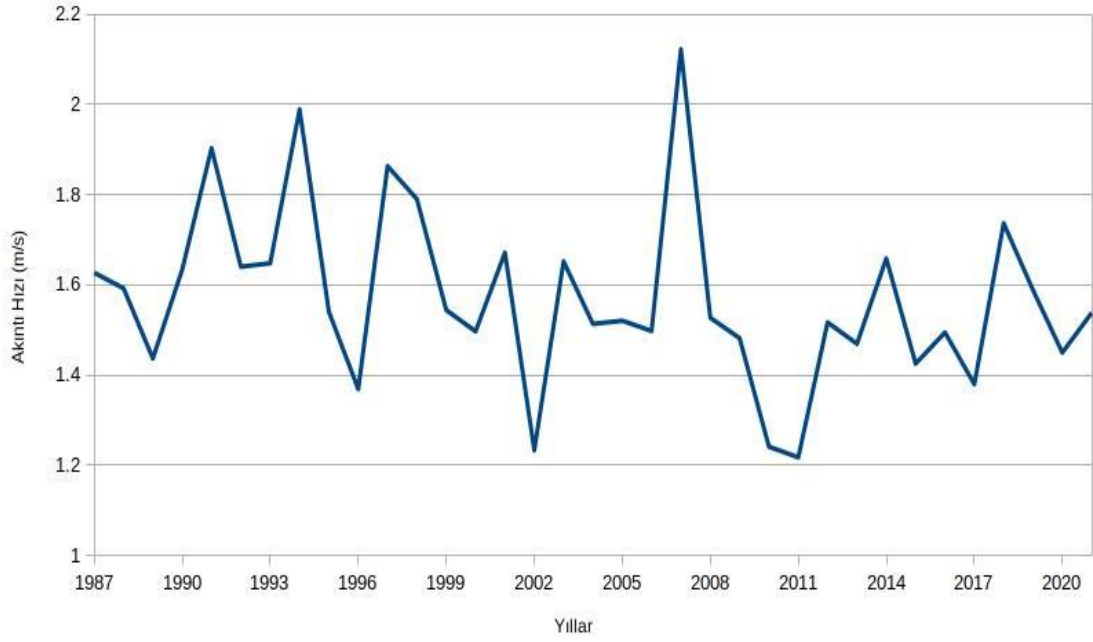
Şekil 4.16. 20-50 metre derinlik enlem:36,1875 boylam:30,5467

Şekil 4.16’da koordinatları verilen noktanın yıllar içindeki maksimum akıntı hızı m/s analiz edilmiştir. Analiz sonucunda akıntı hızının 1987 yılından 1992 yılına kadar 1,7 m/s ile 2,1 m/s arasında değiştiği görülmektedir. 1994 yılının başından itibaren 1996 ya kadar olan süreçte akıntı hızı düşme eğilimindedir. 1997-2003 yılları arasında hızlı yükseliş ve düşüşler meydana geldiği görülmüştür. 2003 ile 2021 yılları arasındaki süre zarfında akıntı hızı 1,2 m/s ile 1,8 m/s arasında değişmektedir.



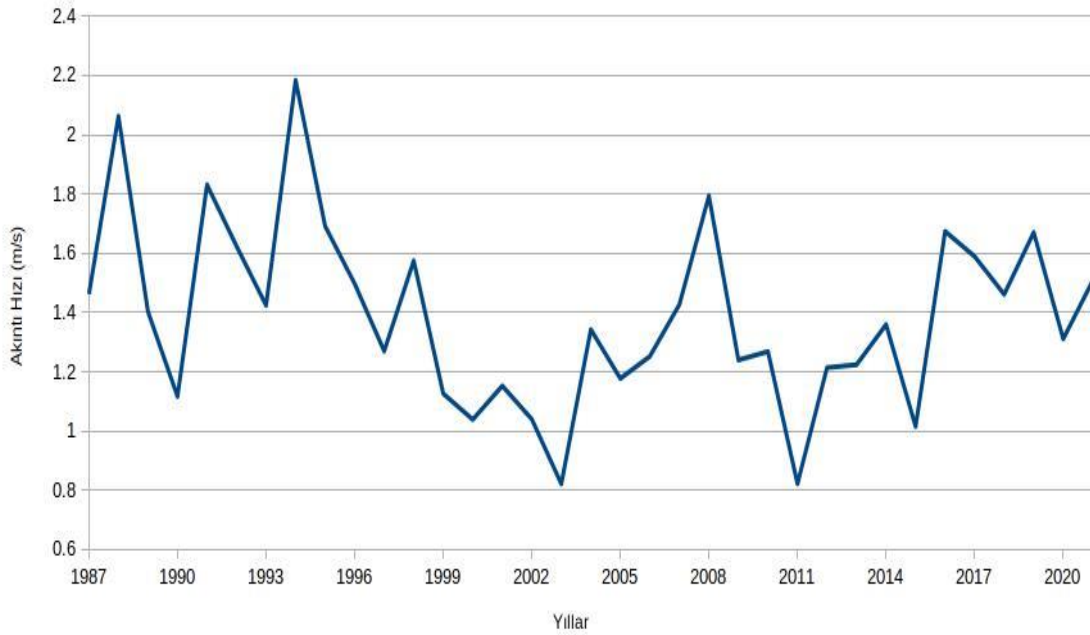
Şekil 4.17. 20-50 metre derinlik enlem:36,14583 boylam:30,45833

Şekil 4.17 çalışma periyodu içinde 1987-1990 yılları arasındaki süreçte 1,8 m/s'den 1,5 m/s'ye kadar akıntı hızında azalma saptanmıştır. 1990-1992 arasında akıntı hızı yaklaşık 2,1 m/s'ye kadar ulaşmıştır. 1993 yılının başından 1995 yılına kadar olan periyotta akıntı hızında sert bir düşüş meydana geldiği görülmektedir. Bu süreçte yaklaşık 1,4 m/s'ye kadar akıntı hızının düştüğü belirlenmiştir. 1996 ile 2003 yılları arasındaki süre zarfında akıntı hızında sert düşüşler ve yükselişler meydana gelmiştir. Bu periyotta akıntı hızı 2 m/s'ye yaklaşmıştır. 2003 yılından 2005 yılına kadar olan süreçte ise yaklaşık 0,8 ye yaklaşmış olan akıntı hızı 1,7 m/s'ye kadar yükseliş göstermiştir. 2008 yılından 2021 yılına kadar olan dönemde ise akıntı hızının 1,4 m/s ile 1,9 m/s arasında değiştiği tespit edilmiştir.



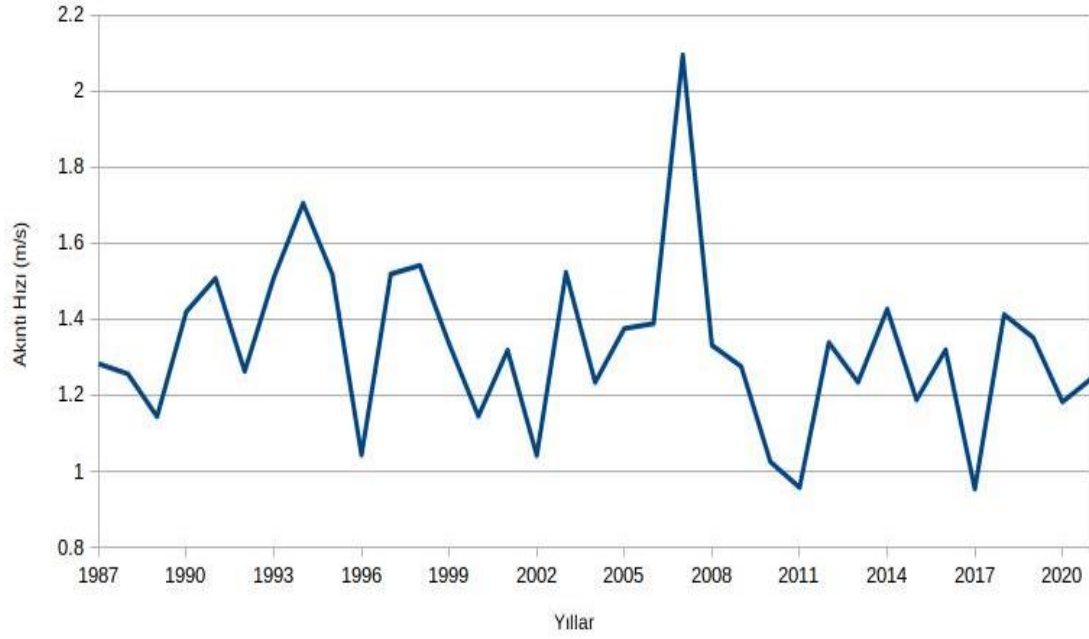
Şekil 4.18. 20-50 metre derinlik enlem:36,10417 boylam:34

Şekil 4.18'de görüldüğü üzere akıntı hızı 1987 ile 1996 yılları arasında 1,4 m/s ile 2 m/s arasında değişmektedir. 1994 yılında yaklaşık 2 m/s hıza ulaştığı tespit edilmiştir. Daha sonra, 1996 yılına kadar akıntı hızında sert bir şekilde düşüş meydana geldiği görülmektedir. 2007 yılında yaklaşık 2,1 m/s ile maksimum hızına ulaştığı görülen akıntı hızınının 2007 ile 2011 arasında tekrardan sert bir şekilde düşüş yaşadığı tespit edilmiştir. 2011 ile 2021 yılları arasında geçen zaman diliminde akıntı hızı yaklaşık 1,2 m/s ile 1,7 m/s arasında değişmektedir.



Şekil 4.19. 20-50 metre derinlik enlem:36,0208 boylam:29,5833

Şekil 4.19'da akıntı hızı 1987 yılından 1989 yılına kadar olan periyotta yaklaşık 1,5 m/s'den 2,1 m/s'ye kadar çıkmıştır. 1989 yılından itibaren 1991 yılına kadar akıntı hızında yaklaşık 1 m/s'lik düşüş meydana gelmiştir. 1991 yılı itibarı ile tekrar artış eğilimine girmiş ve 1995 yılında yaklaşık 2,2 m/s'ye ulaşmıştır. Daha sonra 1997 yılına kadar olan zaman diliminde akıntı hızı yaklaşık 1,3'e kadar düşmüştür. 2003 yılında 0,8'e kadar düştüğü görülen akıntı hızının 2008 yılında artış eğilimi gösterip 1,8'e kadar yükseldiği tespit edilmiştir. 2011 ile 2021 yılları arasında akıntı hızı 0,8 ile 1,5 m/s arasında değişmektedir.

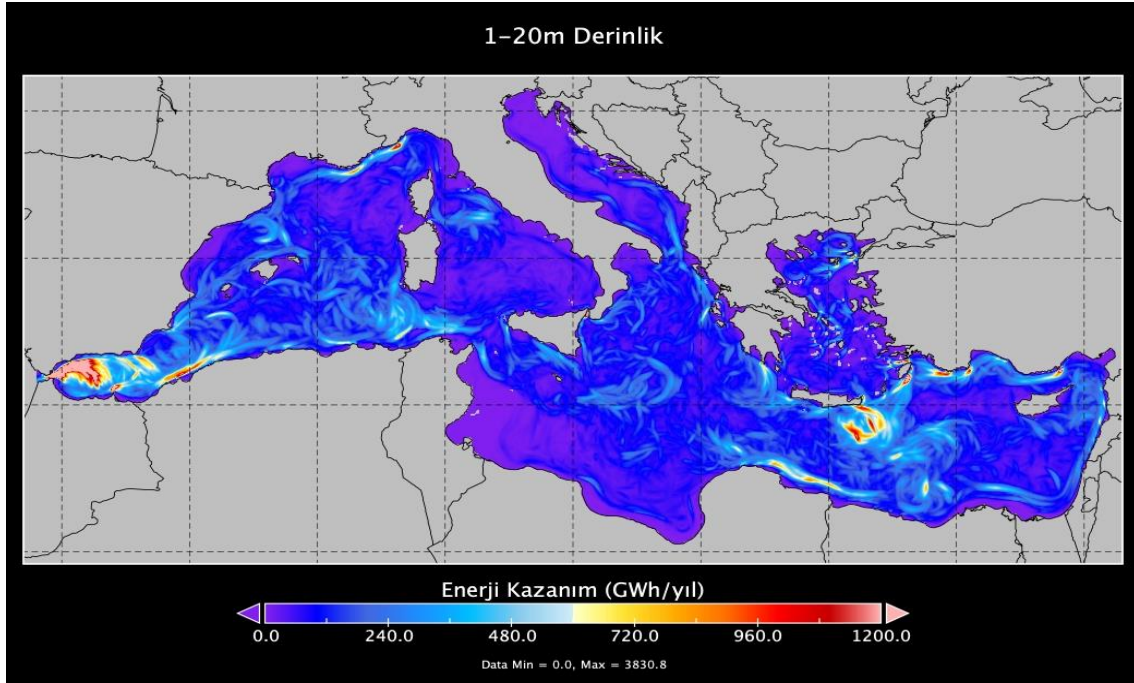


Şekil 4.20. 20-50 metre derinlik enlem:36,1458 boylam:34,125

Şekil 4.20’de 1987 yılından 1991 yılına kadar olan süreçte akıntı hızının artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu süreçte akıntı hızı 1,1 m/s’den yaklaşık 1,5 m/s’ye kadar çıkmıştır. 1995 yılından 1996 yılına kadar süreçte akıntı hızı yaklaşık 1,7 m/s’den 1,1 m/s’ye kadar düşmüştür. 1997 yılının başından itibaren tekrar artış eğilimine geçen akıntı hızı 2002 yılında tekrardan 1 m/s’ye yaklaşmıştır. Çalışma zaman aralığında akıntı hızının en yüksek olduğu değerin yaklaşık 2,1 olarak belirlenmiştir. Bu değer 2007 yılında görülmüştür. 2007 yılından itibaren sert bir düşme eğilimi göstermiştir. 2011 yılının başlarında akıntı hızı 1 m/s’nin altına düşerek yaklaşık 0,9 m/s tespit edilmiştir. 2017 ile 2019 yılları arasında artış gösteren akıntı hızı 1,4 m/s hıza ulaşmış daha sonra 1,2 m/s’ye kadar düşmüştür.

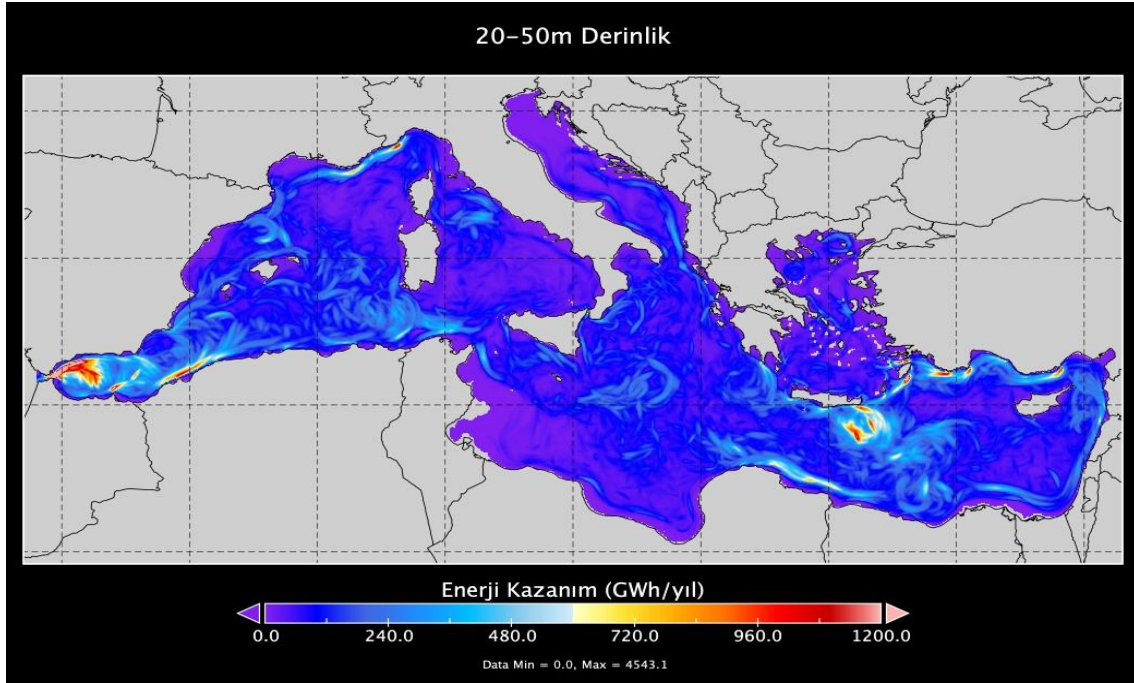
4.7. Akdeniz Potansiyel Akıntı Enerjisi Üretimi

Bu bölümde Akdeniz akıntı enerjisi potansiyel üretimi farklı derinlikler için analiz edilmiştir.



Şekil 4.21. Akdeniz potansiyel enerji üretim haritası 1-20 metre derinlik

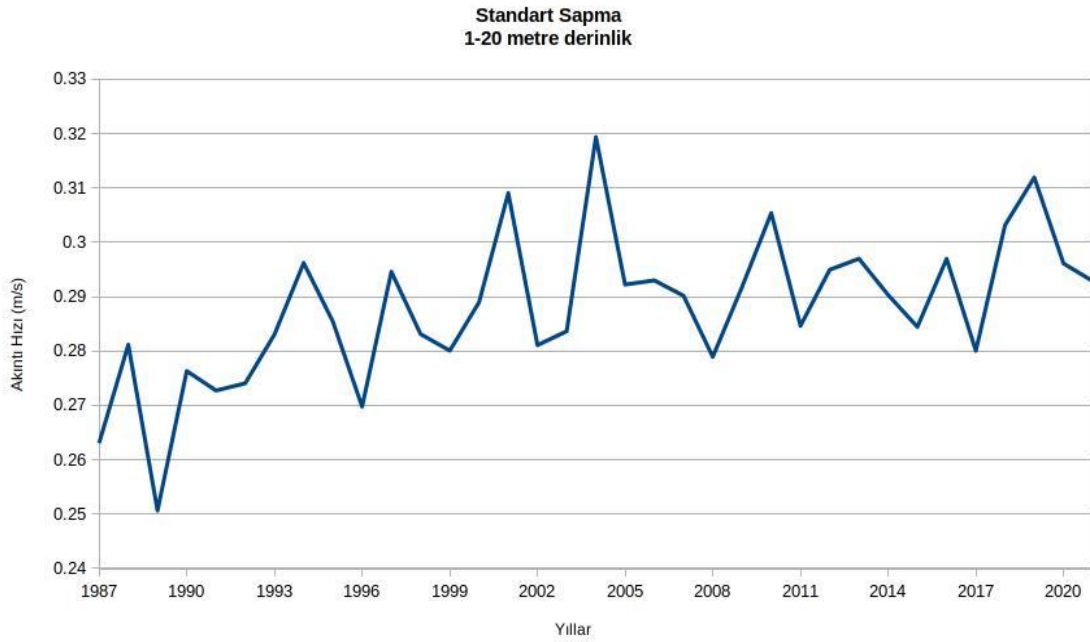
Şekil 4.21’de Akdeniz enerji potansiyel kazanımı 1-20 metre derinlik için hesaplanmış ve haritalandırılmıştır. Yapılan analiz sonucunda 1-20 metre derinlik için Akdeniz bölgesinde maksimum enerji kazanımı yaklaşık 3830 GWh/yıl olarak tespit edilmiştir. Çalışmada doğu Akdeniz bölgesinin batı Akdeniz bölgesine kıyasla Enerji kazanım alanlarının daha fazla olduğu görülmektedir. İtalyanın Cenova bölgesindeki kıyıları takip ederek Balear denizine doğru giden akıntı kolunda enerji kazanım bazı noktalarda 1200 GWh/yıl ve üzeri olarak görülmektedir. Ayrıca Girit adasının bazı alanlarında enerji kazanım potansiyeli yüksek yerlerin olduğu görülmekte ve bazı alanlarda 1200 GWh/yıl olarak tespit edilmiştir. Rodos adası ile Türkiye kıyıları arasında kalan alanlarda enerji kazanım değerinin 900 GWh/yıl’ın üzerinde olduğu alanlar tespit edilmiştir. Su altında kurulacak türbin sayesinde özellikle Türkiye’nin Mersin ve Antalya kıyı bölgelerinde yaklaşık 960 GWh/yıl ile 1200GWh/yıl arasında enerji kazanım potansiyeli olan noktalar mevcuttur. Doğu Akdeniz bölgesinde Rodos açıklarında enerji kazanımının 1000 GWh/yıl ile 1200 GWh/yıl’ın üstünde olan alanlar görülmektedir.



Şekil 4.22. Akdeniz potansiyel enerji üretim haritası 20-50 metre derinlik

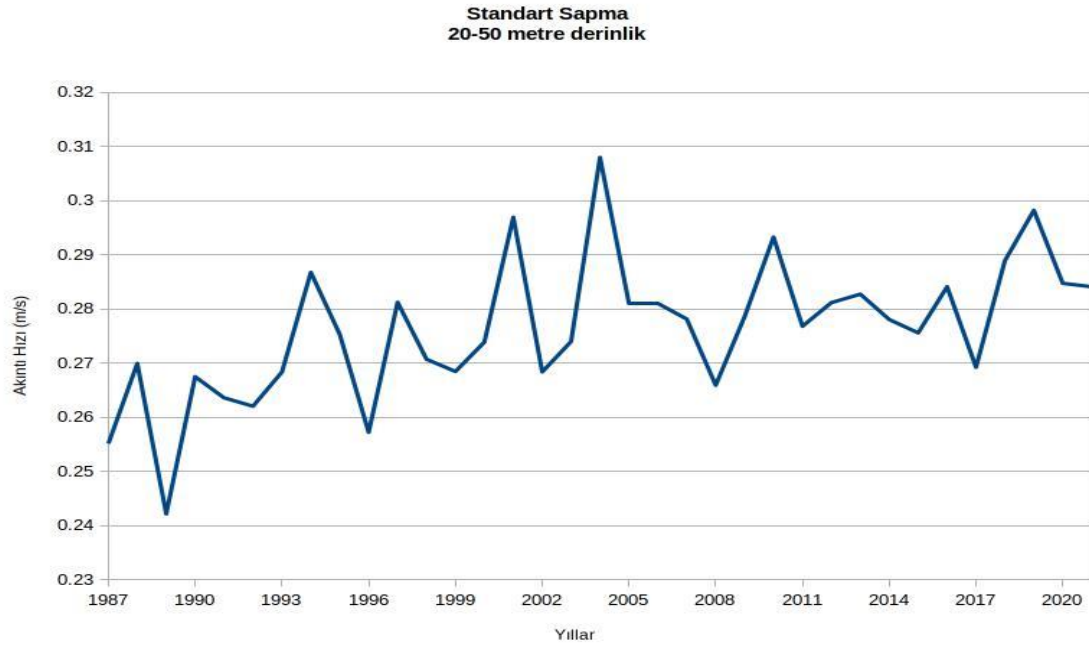
Şekil 4.22’de Akdeniz enerji potansiyel kazanımı hesaplanmış ve haritalandırılmıştır. Çalışmada 20-50 metre derinlik için maksimum enerji kazanım 4543 GWh/yıl olarak tespit edilmiştir. Doğu Akdeniz bölgesinin batı Akdeniz bölgesine kıyasla Enerji kazanım alanlarının daha fazla olduğu görülmektedir. İtalyanın Cenova bölgesindeki kıyıları takip ederek Balear denizine doğru giden akıntı kolunda enerji kazanım bazı noktalarda 1000 GWh/yıl ve üzeri olarak görülmektedir. Ayrıca Girit adasının bazı alanlarında enerji kazanım potansiyeli yüksek yerlerin olduğu görülmektedir. Rodos adası ile Türkiye kıyıları arasında kalan alanlarda enerji kazanım değerinin 900 GWh/yıl’ın üzerinde olduğu alanlar tespit edilmiştir. Su altında kurulacak türbin sayesinde özellikle Türkiye’nin Mersin ve Antalya kıyı bölgelerinde yaklaşık 800 GWh/yıl ile 1000 GWh/yıl arasında enerji kazanım potansiyeli olan noktalar mevcuttur. Doğu Akdeniz bölgesinde Rodos açıklarında enerji kazanımının 1000 GWh/yıl ile 1200 GWh/yıl’ın üstünde olan alanlar görülmektedir.

4.8. Akdeniz Akıntı Hızı Standart Sapma Grafikleri



Şekil 4.23. Akdeniz 1-20 metre derinlik standart sapma grafiği

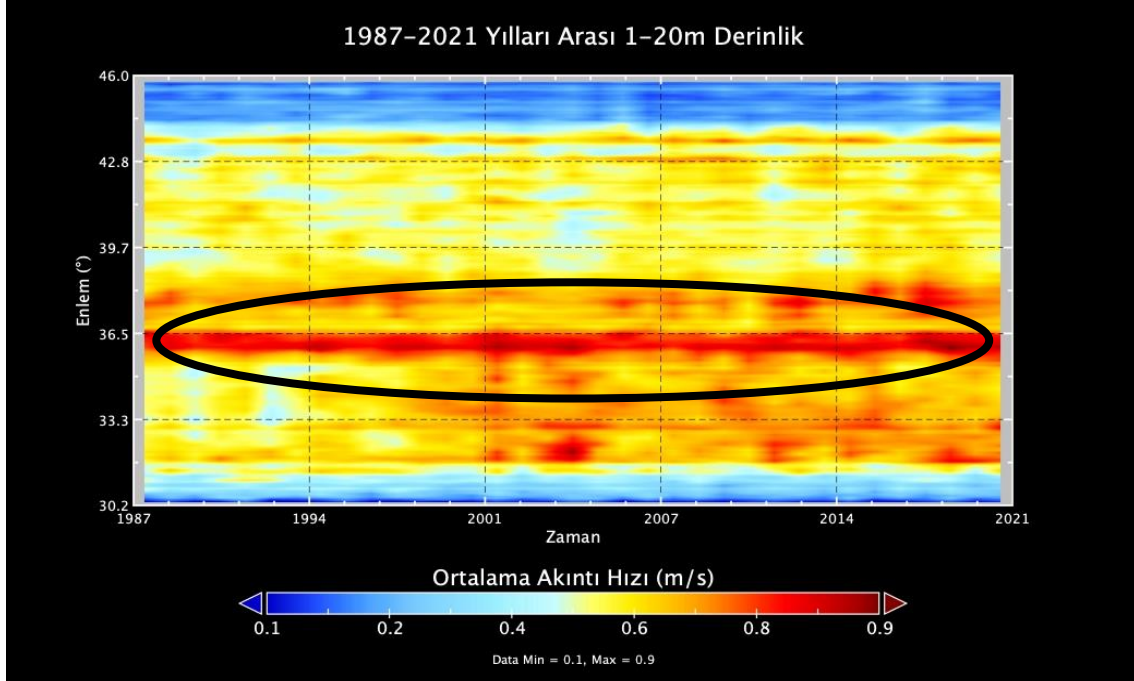
Şekil 4.23’de görüldüğü üzere Akdeniz maksimum akıntı hızı standart sapma değerleri çalışma zaman aralığı ve derinlik için hesaplanmıştır. Standart sapma değeri 0,25 ile 0,32 arasında değişmektedir. Yıllar içerisinde standart sapma değerinin artış trendi oluşturduğu görülmektedir. 1987-1996 arasında 0.25 ile 0.27 arasında olan değer, 1996-2005 yılları arasında 0.27’den 0.32’ye çıkmıştır. Daha sonra 2008 yılına kadar azalma eğilimine olduğu fakat 2008-2011 arası tekrar artış göstererek 0,31 değerine yaklaştığı görülmektedir. 2011 yılından 2017 yılına kadar hem artış hemde azalış yönünde hareket eden standart sapma değeri 2017 yılından 2019 yılına kadar 0.31’in üstüne çıkmıştır. Standart sapma değerleri arasında farkın az olması akıntı hızında meydana gelen değişimlerin daha stabil yönde olduğunu göstermektedir. Fakat, standart sapma değerlerin arasındaki farkın fazla olması o yıllarda akıntı hızının daha az stabil olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.24. Akdeniz 20-50 metre derinlik standart sapma grafiği

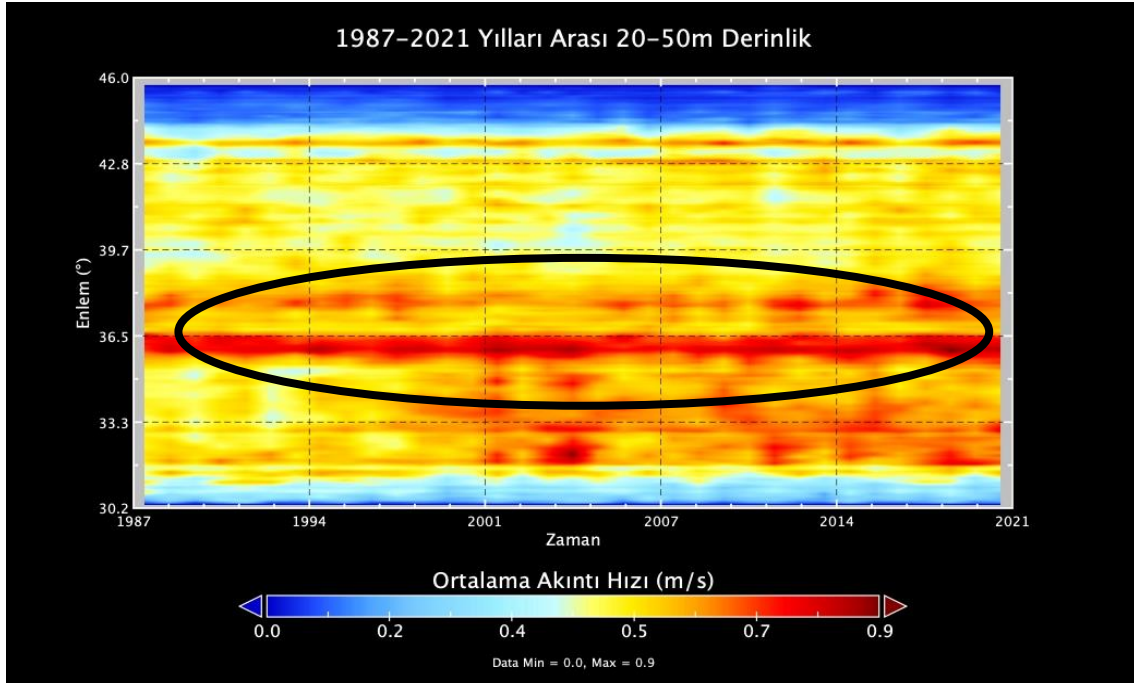
Şekil 4.24’de görüldüğü üzere Akdeniz maksimum akıntı hızı standart sapma değerleri çalışma zaman aralığı ve derinlik için hesaplanmıştır. Standart sapma değeri 0,24 ile 0,31 arasında değişmektedir. Yıllar içerisinde standart sapma değerinin artış trendi oluşturduğu görülmektedir. 1987-1995 arasında 0.24 ile 0.29 arasında olan değer, 1996-2005 yılları arasında 0.26’den 0.31’ye çıkmıştır. Daha sonra 2008 yılına kadar azalma eğilimine olduğu fakat 2008-2011 arası tekrar artış göstererek 0.31 lere yaklaştığı görülmektedir. 2008 yılından 2017 yılına kadar hem artış hemde azalış yönünde hareket eden standart sapma değeri 2017 yılından 2019 yılına kadar 0.30’a üstüne yaklaşmıştır. Standart sapma değerleri arasında farkın az olması akıntı hızında meydana gelen değişimlerin daha stabil yönde olduğunu göstermektedir. Fakat, standart sapma değerlerin arasındaki farkın fazla olması o yıllarda akıntı hızının daha az stabil olduğunu göstermektedir.

4.9. Akdeniz 1987-2021 yılları Enlemsel Ortalama Akıntı Hız Değişimi



Şekil 4.25. 1987-2021 yılları 1-20 metre derinlik enlemsel ortalama akıntı hız değişimi

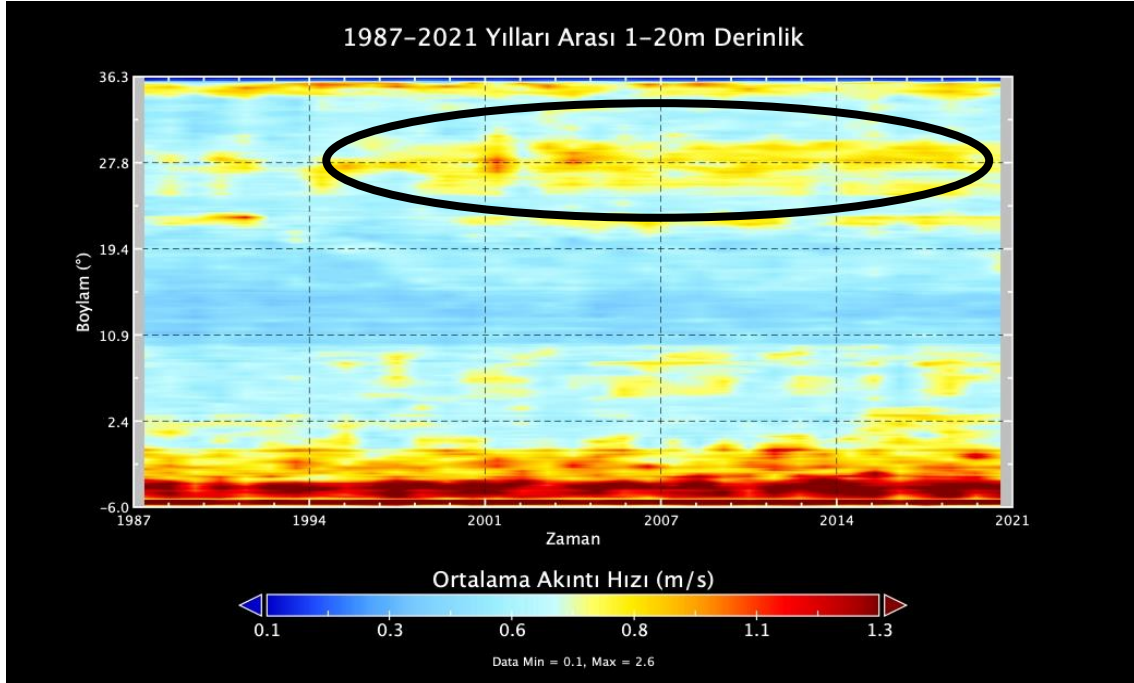
Şekil 4.25’de çalışma periyodu içerisindeki ortalama akıntı hız dağılımının enlemsel olarak yıllara göre değişimi analiz edilmiştir. Çalışmada 36,5 enlemi boyunca kalan bölgelerde çalışma zaman aralığındaki bütün yıllar için 0,9 m/s ve yakın değerlere ulaştığı görülmektedir. Ayrıca, 42,8 ile 46 enlemleri arasında kalan alanlarda akıntı hızının düşük olduğu tespit edilmiştir. 33,3 ile 36,5 enlemleri arasında kalan bölgede akıntı hızının 0-6 m/s ile 0,9 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda 39,7 ile 42,8 enlemlere arasında kalan bölgelerde akıntı hızının genellikle 0,5 ile 0,7 m/s arasında değiştiği tespit edilmiştir. 30,2 ile 33,3 enlemleri arasında kalan bölgelerde akıntı hızının 2001 ile 2007 arasında artış gösterdiği belirlenmiştir. Daire içinde gösterilen alanlarda akıntı hızının çalışma periyodu boyunca ortalama 0,9 m/s’ye yakın olduğu gösterilmiştir.



Şekil 4.26. 1987-2021 yılları 20-50 metre derinlik enlemsel ortalama akıntı hız değişimi

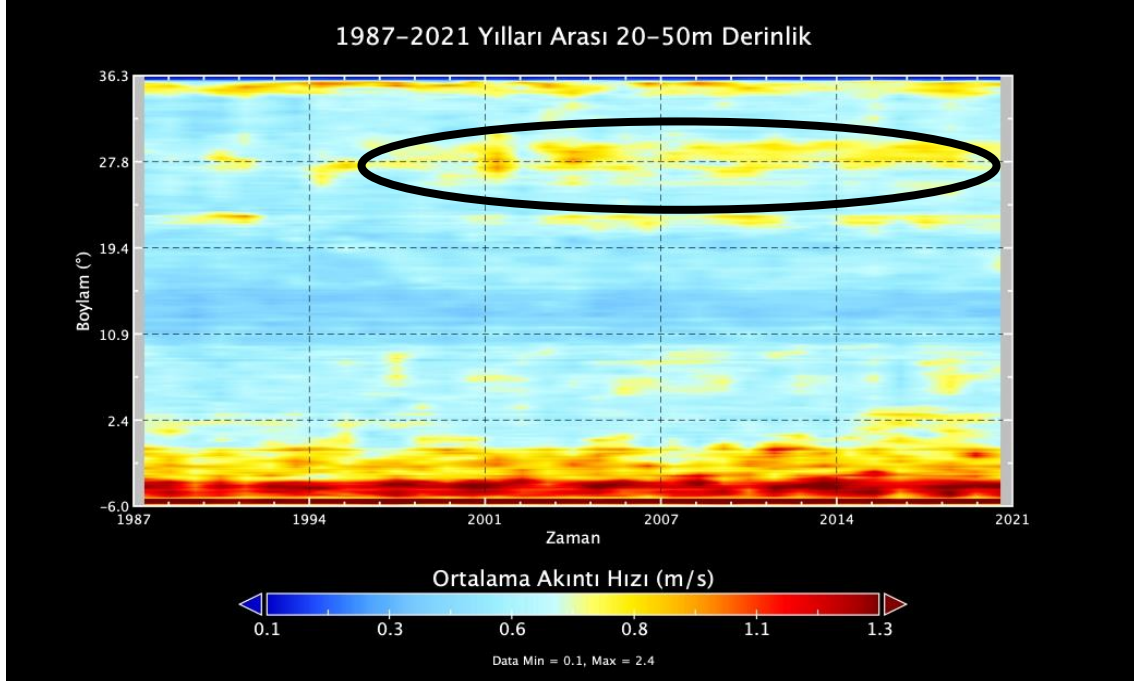
Şekil 4.26'da çalışma periyodu içerisindeki ortalama akıntı hız dağılımının enlemsel olarak yıllara göre değişimi analiz edilmiştir. Çalışmada 36,5° enlemi boyunca kalan bölgelerde çalışma zaman aralığındaki bütün yıllar için 0,9 m/s ve yakın değerlere ulaştığı görülmektedir. Ayrıca, 42,8° ile 46° enlemleri arasında kalan alanlarda analiz edilen yıllar için akıntı hızının genellikle düşük olduğu tespit edilmiştir. 33,3° ile 36,5° enlemleri arasında kalan bölgede akıntı hızının 0-6 m/s ile 0,9 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca 36,5° ile 37° enlemleri arasında kalan bölgelerde 2014 ile 2021 yılları arasında akıntı hızında artış meydana geldiği, bazı noktalarda 0,7 m/s'ye kadar çıktığı tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda 39,7° ile 42,8° enlemleri arasında kalan bölgelerde akıntı hızının genellikle 0,5 ile 0,7 m/s arasında değiştiği tespit edilmiştir. Daire içinde gösterilen alanlarda çalışma periyodu boyunca 0,9 m/s'ye yakın değerler saptanmıştır.

4.10. Akdeniz 1987-2021 Yılları Boylamsal Ortalama Akıntı Hız Değişimi



Şekil 4.27. 1987-2021 yılları 1-20 metre derinlik boylamsal ortalama akıntı hız değişimi

Şekil 4.27’de Çalışma zaman aralığında boylamsal olarak Akdeniz için ortalama akıntının maksimum olduğu değer 2,6 m/s olarak tespit edilmiştir. Cebelitarık boğazı girişinde kalan -6° ile 1° boylamları arasında kalan bölgelerde akıntı hızı çalışma zaman aralığında çoğunlukla 1,3 m/s ve üzeri tespit edilmiştir. Buna kıyasla, $10,9^{\circ}$ ile $19,4^{\circ}$ arasında kalan alanlarda akıntı hızının genellikle 0,3 ile 0,6 m/s arasında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca $27,8^{\circ}$ boylamında kalan bölgelerde 2001 yılından itibaren akıntı hızında artış görülmektedir. Daire içinde gösterilen bölgelerde özellikle 2000 yılının başından 2021 yılına kadar olan süreçte bir artış tespit edilmiştir.

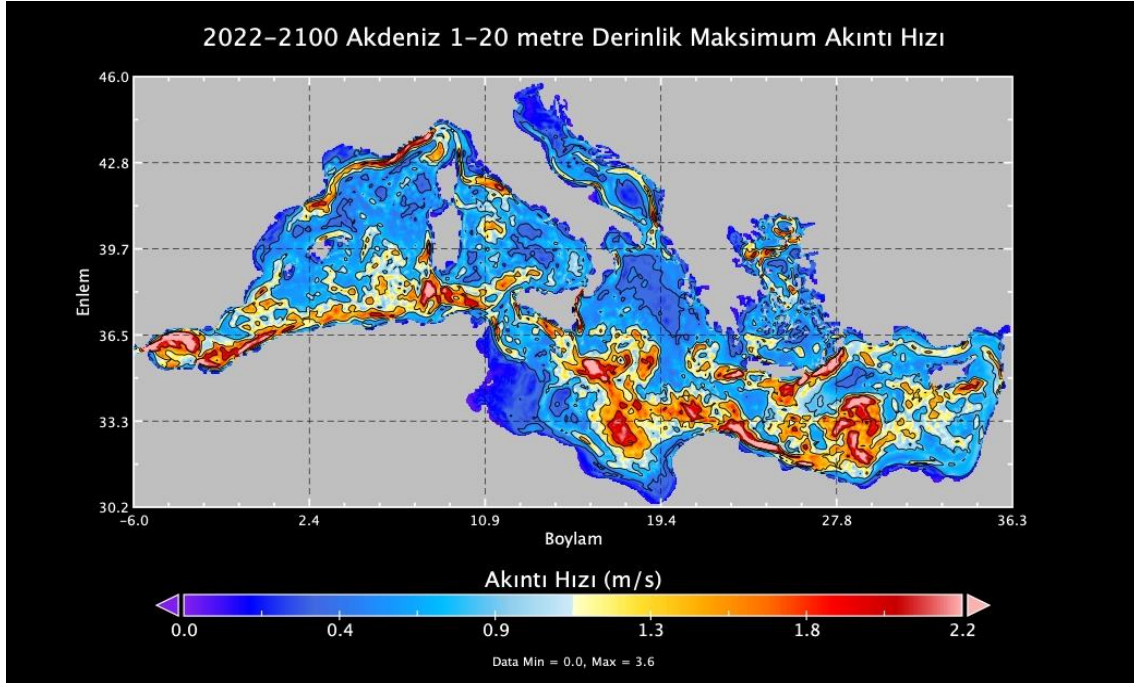


Şekil 4.28. 1987-2021 yılları 20-50 metre derinlik boylamsal ortalama akıntı hız değişimi

Şekil 4.28’de Çalışma zaman aralığında boylamsal olarak Akdeniz için ortalama akıntının maksimum olduğu değer 2,4 m/s olarak tespit edilmiştir. Cebelitarık boğazı girişinde kalan -6° ile 1° boylamları arasında kalan bölgelerde akıntı hızı çalışma zaman aralığında çoğunlukla 1,3 m/s ve üzeri olarak tespit edilmiştir. Buna kıyasla, $10,9^{\circ}$ ile $19,4^{\circ}$ arasında kalan alanlarda akıntı hızının genellikle 0,3 m/s ile 0,6 m/s arasında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca $27,8^{\circ}$ boylamında kalan bölgelerde 2001 yılından itibaren önceki yıllara kıyasla akıntı hızında artış görülmektedir. Ek olarak $2,4^{\circ}$ ile $10,9^{\circ}$ boylamları arasında çalışma periyodu kapsamında 1994 yılına kadar akıntı hızında anlamlı bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Daire içinde gösterilen alanlarda 2000 yılı başlangıcı ve 2021 yılına kadar olan zaman diliminde bir artış trendi olduğu tespit edilmiştir.

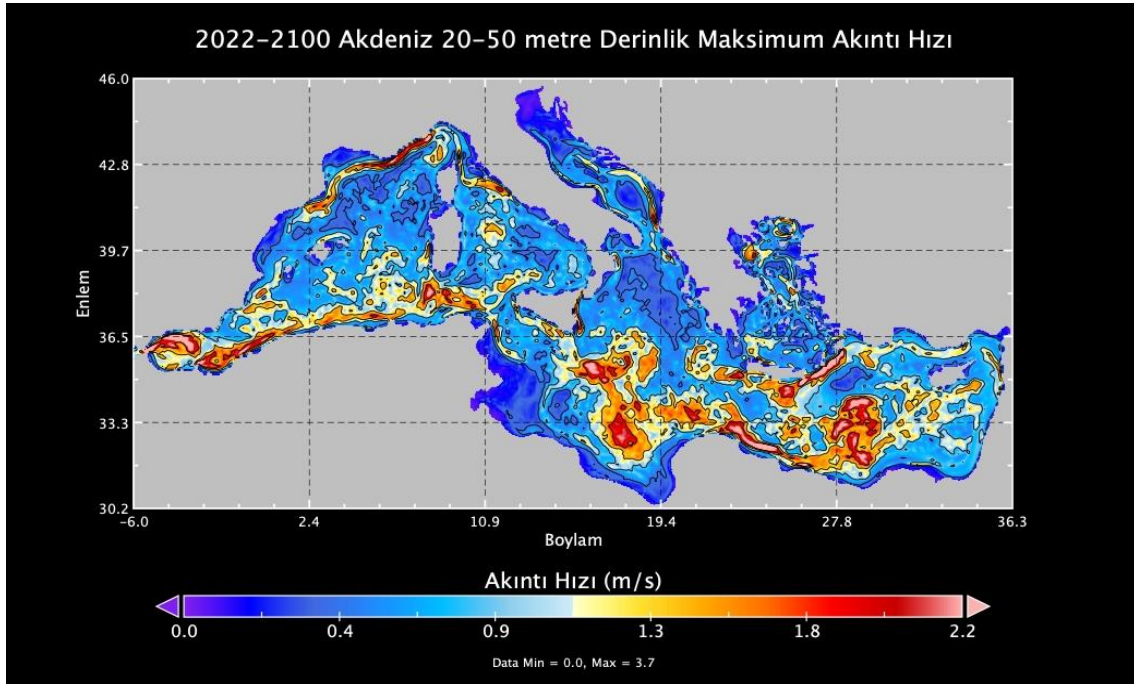
4.11. Akdeniz 2022-2100 arası Lineer Modellemesi

Bu bölümde tez çalışmasında lineer modelleme analiz sonuçları gösterilmiştir. 2022-2100 periyodu için yapılan lineer modelleme 1-20 metre ve 20-50 metre derinlikler için haritalandırılmıştır.



Şekil 3.29. Akdeniz 2022-2100 1-20 metre derinlik maksimum akıntı hızı (m/s)

Şekil 4.29'da 2022-2100 çalışma periyodu için 1-20 metre derinlik kapsamında akıntı hızının maksimum 3,6 m/s'ye ulaştığı tespit edilmiştir. Cebelitarık girişinin doğu kesimlerinden batı Akdeniz'e doğru devam eden akıntı kolunda akıntı hızı ağırlıklı olarak 3 m/s ve üzeri, İbiza kanalından Balear denizinin kıyılarına doğru devam eden akıntının ise bazı alanlarda 2 ile 2,2 m/s arasında değiştiği görülmüştür. İspanya kıyılarından Marsilya açıklarına doğru yönelen güçlü akıntı kolu, Marsilya ve Nice kıyı kesimlerinde 1,8 ile 2,2 m/s arasında değişmekte, Cenova açıklarında ise bazı alanlarda 2,5 m/s ve üzeri olarak saptanmıştır. Ayrıca Fas, Cezayir ve Tunus kıyılarında 3 m/s ve üzerine çıktığı bölgeler mevcuttur. Sardinya adası ve Sicilya arasında kalan alanlarda akıntı hızının 3 m/s'nin üstünde olduğu noktalar tespit edilmiştir. Doğu Akdeniz girişi ve Libya kıyılarında akıntı hızı 2,2 ile 3 m/s arasında değişmektedir. Türkiye'nin doğu Akdeniz kıyı bölgelerinde kalan Silifke, Anamur ve alanya açıklarında akıntı hızı genellikle 1 ile 1,5 m/s arası değişmekte, bazı noktalarda 2,2 m/s'ye kadar çıkmaktadır. Antalya kıyı bölgeleri ve Kaş açıklarında 2,2 m/s'nin üstünde olan bazı bölgeler tespit edilmiştir. Kıbrıs ile Samandağ ve Arsuz arasında kalan bazı noktalarda 1,6 ile 1,8 m/s arasında değişen noktalar tespit edilmiştir.

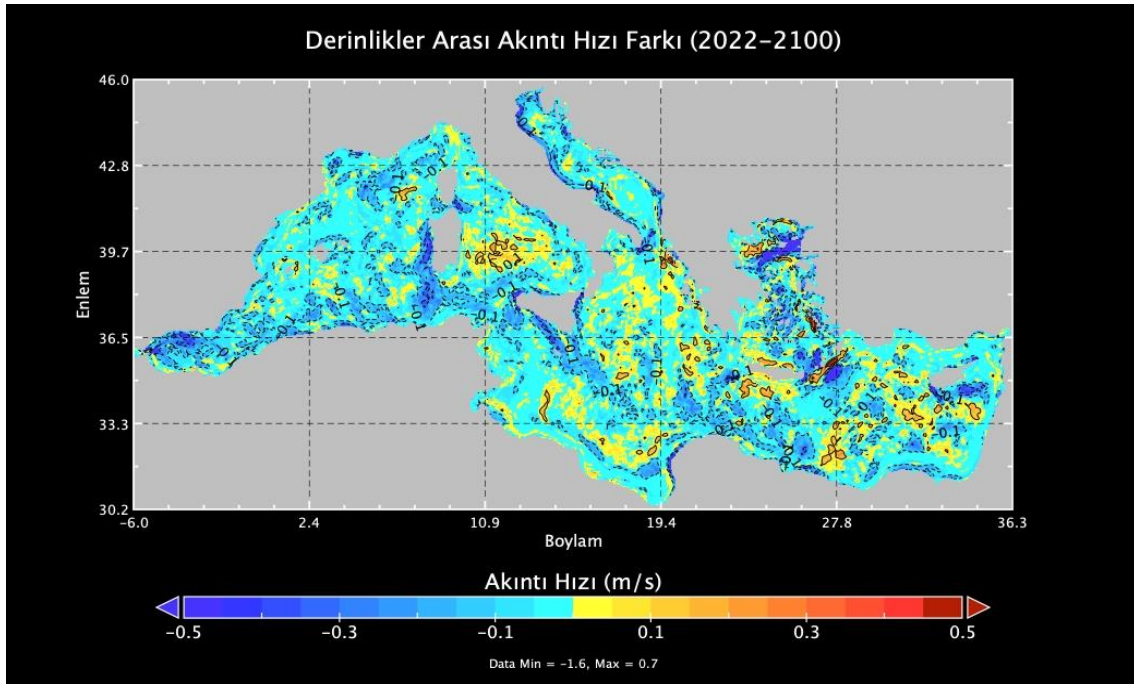


Şekil 4.30. Akdeniz 2022-2100 20-50 metre derinlik maksimum akıntı hızı (m/s)

Şekil 4.30'da 2022-2100 çalışma periyodu için 20-50 metre derinlik kapsamında akıntı hızının maksimum 3,7 m/s'ye ulaştığı tespit edilmiştir. Cebelitarık girişinin Doğu kesimlerinden batı Akdeniz'e doğru devam eden akıntı kolunda akıntı hızı ağırlıklı olarak 3,2 m/s ve üzeri, İbiza kanalından Balear denizinin kıyılarına doğru devam eden akıntının ise bazı alanlarda 2,2 ile 2,5 m/s arasında değiştiği görülmüştür. İspanya kıyılarından Marsilya açıklarına doğru yönelen güçlü akıntı kolu, Marsilya ve Nice kıyı kesimlerinde 1,6 ile 2,5 m/s arasında değişmekte, Cenova açıklarında ise bazı alanlarda 2,7 m/s ve üzeri olarak saptanmıştır. Diğer taraftan Fas, Cezayir ve Tunus kıyılarında 3,2 m/s ve üzerine çıktığı bölgeler mevcuttur. Sardinya adası, Tunus ve Sicilya arasında kalan alanlarda akıntı hızının 3,2 m/s'nin üstünde olduğu noktalar tespit edilmiştir. Doğu Akdeniz girişi ve Tunus, Malta ve Libya arasında kalan bölgelerde bazı noktalarda akıntı hızının 3 ile 3,5 m/s arasında değiştiği alanlar saptanmıştır. Doğu Akdeniz Türkiye kıyı bölgelerinde kalan Taşucu, Bozyazı, Silifke, Anamur ve alanya açıklarında akıntı hızı genellikle 1 ile 1,6 m/s arası değişmekte, bazı noktalarda 2 m/s'ye kadar çıkmaktadır. Antalya kıyı bölgeleri Gazipaşa ve Kaş açıklarında 2,2 m/s'nin üstünde olan bazı bölgeler tespit edilmiştir. Kıbrıs ile Samandağ ve Arsu arasında kalan bazı noktalarda 1,8 ile 2 m/s arasında değişen noktalar tespit edilmiştir.

4.12. Akdeniz 2022-2100 Lineer Modelleme Derinlikler Arası Akıntı Hızı Farkı

2022-2100 çalışma periyodu kapsamında 20-50 mere ile 1-20 metre derinlik arasındaki akıntı hız farklılıkları analiz edilmiştir. Akıntı hız farkının pozitif yönde olduğu yerlerde 20-50 metre arasındaki akıntının daha güçlü, negatif yönde dağılım gösteren alanlarda ise 1-20 metre arasındaki akıntının daha güçlü olduğu belirlenmiştir.



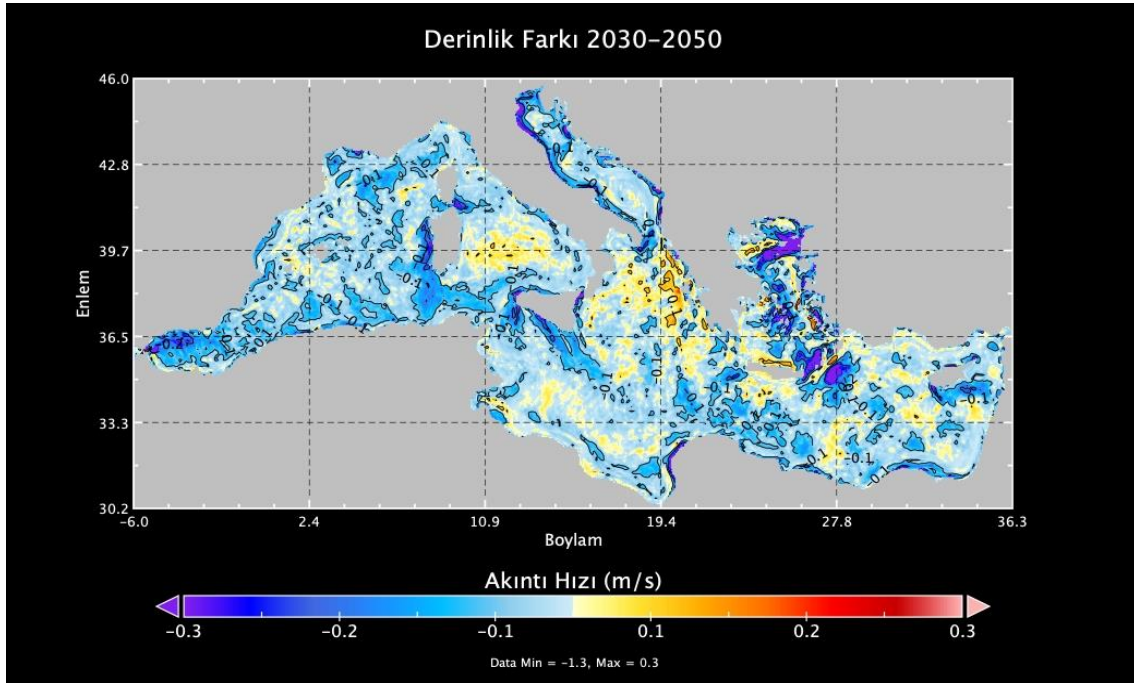
Şekil 4.31. Akdeniz 2022-2100 derinlikler arası akıntı (m/s) hız farkı

Şekil 4.31'de Akdeniz 2022-2100 çalışma periyodu için derinlikler arası maksimum akıntı hızı farkı 0,7 m/s olarak tespit edilmiştir. Batı Akdeniz bölgesinde derinlik farkının genellikle Sardinya adası, Sicilya ve Korsika adası arasında kalan bölgede yoğunlaştığı görülmektedir. Bu bölgelerde bazı noktalarda farkın 0,4 m/s'ye kadar ulaştığı saptanmış ayrıca Korsika adası ve Nice arasında kalan alanlarda 0,3 m/s ile 0,4 m/s arası akıntı hız farklarının olduğu yerler saptanmıştır. Diğer taraftan batı Akdeniz giriş alanlarında derinlikler arası hız farkının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Mısır ile Kıbrıs arasında kalan bazı alanlarda 0,2 m/s ile 0,3 m/s arasında değişen yerler tespit edilmiştir. Ayrıca Tunus ve Libya açıklarında genellikle farkın 0,1 m/s ile 0,2 m/s arasında değiştiği, belirli noktalarda ise 0,3 m/s'ye yaklaştığı görülmüştür. Girit ve Rodos adası arasında kalan alanlarda derinliklere bağlı akıntı hız farkının 0,5 ile 0,7 arasında değiştiği noktalar tespit

edilmiştir. Türkiye doğu Akdeniz kıyılarında genellikle 1-20 metre arasındaki akıntının daha güçlü olduğu belirlenmiştir.

4.13. Akdeniz 2030-2050 Lineer Modelleme Derinlikler Arası Akıntı Hızı Farkı

2030-2050 çalışma periyodu kapsamında 20-50 mere ile 1-20 metre derinlik arasındaki akıntı hız farklılıkları analiz edilmiştir. Akıntı hız farkının pozitif yönde olduğu yerlerde 20-50 metre arasındaki akıntının daha güçlü, negatif yönde dağılım gösteren alanlarda ise 1-20 metre arasındaki akıntının daha güçlü olduğu belirlenmiştir.



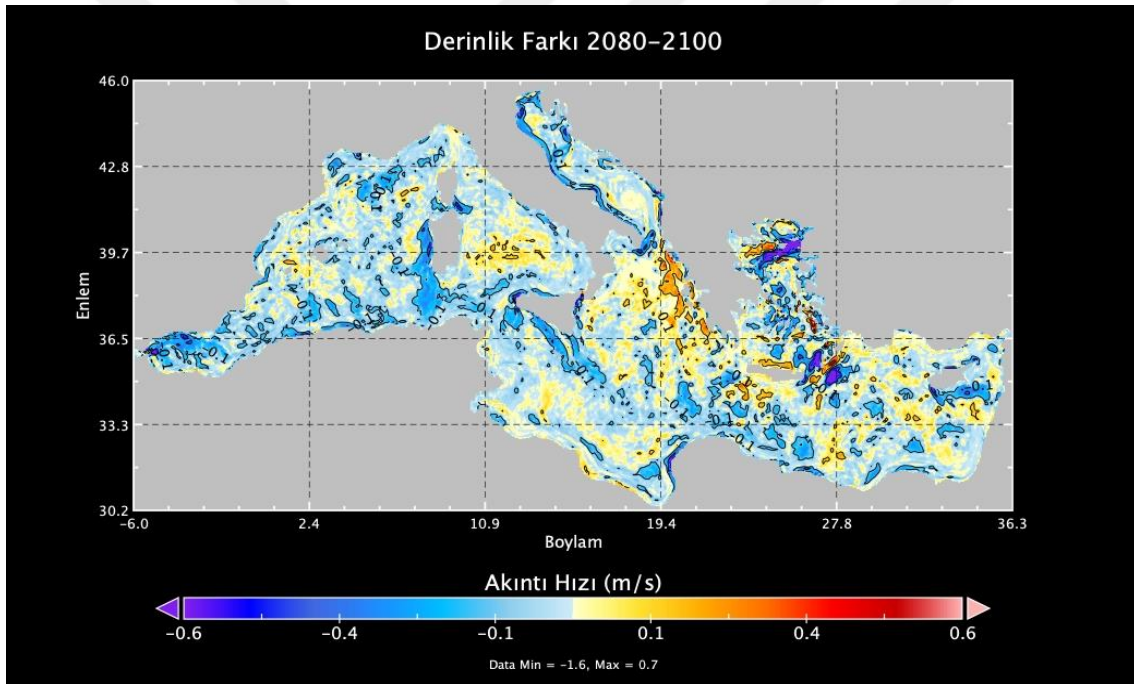
Şekil 4.32. Akdeniz 2030-2050 derinlikler arası akıntı hız (m/s) farkı

Şekil 4.32'de Akdeniz 2030-2050 çalışma periyodu için derinlikler arası maksimum akıntı hızı farkı 0,3 m/s olarak tespit edilmiştir. Cezayir kıyı kesimlerinden Sardinya adasına kadar olan bölgelerde akıntı hız farkının negatif yönde 0,1 m/s ile 0,5 m/s arasında bir değişim göstermektedir. Sardinya adası ile İtalya arasında kalan bölgelerde ise pozitif yönde bir dağılım görülmekle birlikte 0,1 m/s ile 0,2 m/s arasında bir değişim tespit edilmiştir. İyon denizi, Messina kanalı ve Yunanistan arasında kalan alanlarda ağırlıklı olarak pozitif yönde bir dağılım tespit edilmiştir. Bu alanlarda akıntı hız farkı 0,1 m/s ile 0,3 m/s arasında değiştiği saptanmıştır. Rodos adası, Yunanistan ve Türkiye arasında bazı kalan bölgelerde akıntı hız farkı negatif yönde 1,3 m/s'ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Türkiye doğu Akdeniz

kıyıları genellikle bu çalışma periyodunda pozitif yönde bir dağılım göstermiştir. Kıbrıs açıkları ve İskenderun körfezi arasında kalan alanlarda ise negatif yönde bir akıntı hız farkı söz konusudur.

4.14. Akdeniz 2080-2100 Lineer Modelleme Derinlikler Arası Akıntı Hızı Farkı

Bu bölümde 2080-2100 çalışma periyodu kapsamında 20-50 metre ile 1-20 metre derinlik arasındaki akıntı hız farklılıkları analiz edilmiştir. Akıntı hız farkının pozitif yönde olduğu yerlerde 20-50 metre arasındaki akıntının daha güçlü, negatif yönde dağılım gösteren alanlarda ise 1-20 metre arasındaki akıntının daha güçlü olduğu belirlenmiştir.



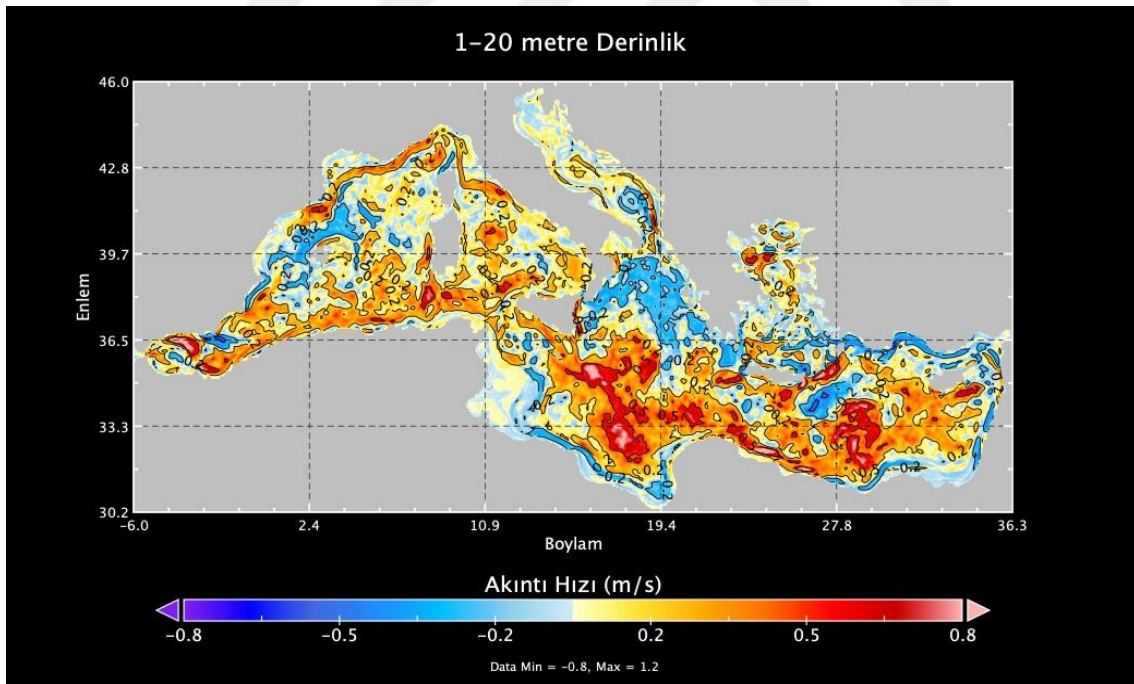
Şekil 4.33. Akdeniz 2080-2100 derinlikler arası akıntı hız (m/s) farkı

Şekil 4.33'de Akdeniz 2080-2100 çalışma periyodu için derinlikler arası maksimum akıntı hızı farkı 0,7 m/s olarak tespit edilmiştir. Cezayir kıyı kesimlerinden Sardinya adasına kadar olan bölgelerde akıntı hız farkının negatif yönde 0,1 m/s ile 0,4 m/s arasında bir değişim göstermektedir. Sardinya adası ile İtalya arasında kalan bölgelerde ise pozitif yönde bir dağılım görülmekle birlikte 0,1 m/s ile 0,3 m/s arasında bir değişim tespit edilmiştir. İyon denizi, Messina kanalı ve Yunanistan arasında kalan alanlarda ağırlıklı olarak pozitif yönde bir dağılım tespit edilmiştir. Bu alanlarda akıntı hız farkı 0,1 m/s ile 0,4 m/s arasında değiştiği saptanmıştır. Rodos adası, Yunanistan ve Türkiye arasında bazı kalan bölgelerde

akıntı hız farkı negatif yönde 1,6 m/s'ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Türkiye doğu Akdeniz kıyıları genellikle bu çalışma periyodunda pozitif yönde bir dağılım göstermiştir. Bu bölgelerde genellikle akıntı hız farkı 0,1 m/s ile 0,2 m/s arasında değişmektedir. Kıbrıs açıkları ve İskenderun körfezi arasında kalan alanlarda ise negatif yönde bir akıntı hız farkı söz konusudur. Çanakkale boğazı giriş bölgelerinde akıntı hız farkının negatif yönde genellikle 1,2 m/s ile 1,6 m/s arasında tespit edilmiştir.

4.15. Akdeniz Lineer Modelleme 1-20 Metre Derinlik Yıllar Arası Akıntı Hızı Farkı

Bu bölümde lineer modelleme kapsamında ele alınan 2080-2100 zaman aralığı ile 2030-2050 yılları arasındaki akıntı hız farkı 1-20 metre derinliğe göre ortaya konulmuştur. Çalışmada pozitif olarak dağılım gösteren yerlerde 2080-2100 yıllarındaki akıntı hızının daha yüksek, negatif olarak dağılım gösteren yerlerde ise 2030-2050 yıllarındaki akıntı hızının yüksek olarak belirlenmiştir.



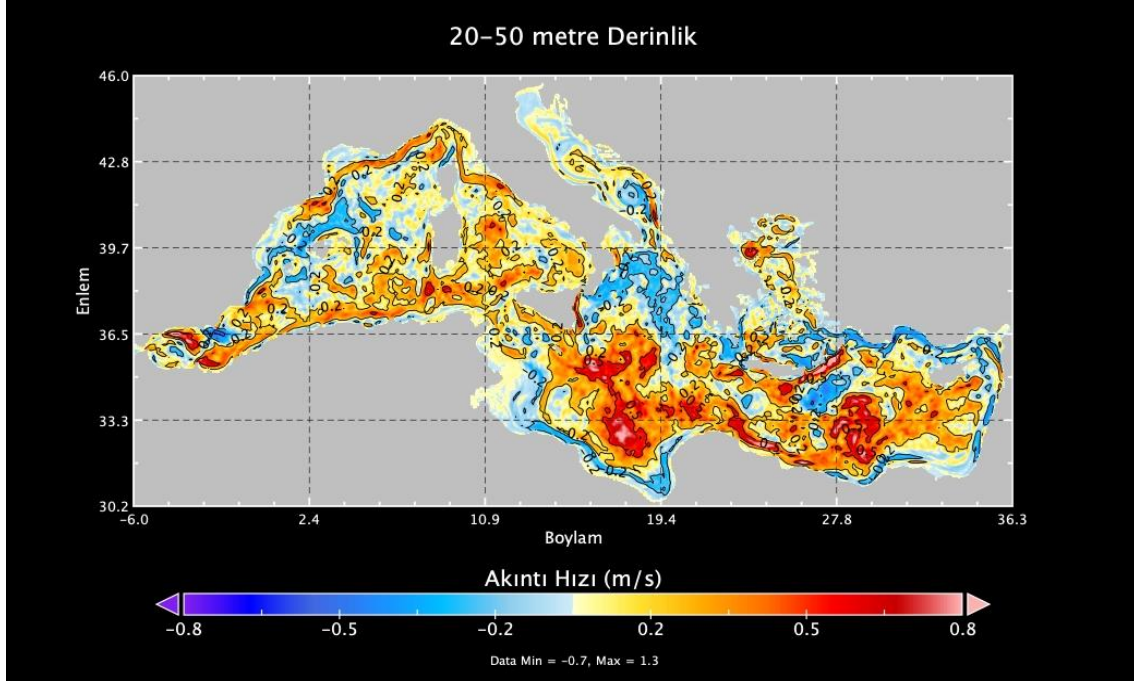
Şekil 4.34. Akdeniz 1-20 metre derinlik 2080-2100 ile 2030-2050 yılları arası akıntı hız (m/s) farkı

Şekil 4.34'de maksimum akıntı hızı farkının 1,2 m/s olduğu saptanmıştır. Batı Akdeniz bölgesinde ağırlıklı olarak Sardinya adası, Sicilya ve Korsika adası arasında kalan bölgelerde 2080-2100 periyodundaki akıntının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ibiza, Mallorca ve

Tarragona arasında kalan alanlarda ise 2030-2050 çalışma zaman aralığındaki akıntı hızının daha yüksek olduğu analiz edilmiştir. Balear denizinin kıyılarında genellikle pozitif yönde bir dağılım tespit edilmiştir. Diğer taraftan Sicilya ile Yunanistan arasında kalan alanlarda negatif yönde bir dağılım belirlenmiştir. Ege denizinin iç kısımlarında ve Yunanistan ile Türkiye arasında kalan bölgelerde genellikle pozitif yönde bir dağılım görülmektedir. Pagasit körfezi ile İskiri adasında arasında kalan alanlarda akıntı hız farkının pozitif yönde 0,5 m/s ile 0,8 m/s arasında değiştiği alanlar tespit edilmiştir. Diğer taraftan, Paliouri ile Athos arasında kalan bazı bölgelerde negatif yönde 0,2 m/s ile 0,1 m/s arasında bir değişim saptanmıştır. Doğu Akdeniz kıyı kesimlerinde akıntı hız farkının 0,5 m/s'ye ulaştığı alanlar görülmektedir. Diğer taraftan Tunus ve Libya kıyı kesimlerinde negatif yönde bir dağılım görülmekle birlikte akıntı hız farkının negatif olarak 0,2 m/s olduğu alanlar mevcuttur. Türkiye'nin doğu Akdeniz kıyı bölgelerinde genellikle negatif yönde bir dağılım saptanmıştır.

4.16. Akdeniz Lineer Modelleme 20-50 Metre Yıllar Arası Akıntı Hızı Farkı

Bu bölümde lineer modelleme kapsamında ele alınan 2080-2100 zaman aralığı ile 2030-2050 yılları arasındaki akıntı hız farkı 20-50 metre derinliğe göre ortaya konulmuştur. Çalışmada pozitif olarak dağılım gösteren yerlerde 2080-2100 yıllarındaki akıntı hızının daha yüksek, negatif olarak dağılım gösteren yerlerde ise 2030-2050 yıllarındaki akıntı hızının yüksek olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.35. Akdeniz 20-50 metre derinlik 2080-2100 ile 2030-2050 yılları arası akıntı hız (m/s) farkı

Şekil 4.35’de maksimum akıntı hızı farkının 1,3 m/s olduğu saptanmıştır. Batı Akdeniz bölgesinde ağırlıklı olarak Sardinya adası, Sicilya ve Korsika adası arasında kalan bölgelerde 2080-2100 periyodundaki akıntının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ibiza, Mallorca ve Tarragona arasında kalan alanlarda ise 2030-2050 çalışma zaman aralığındaki akıntı hızının daha yüksek olduğu ve akıntı hız farkının 0,3 ile 0,2 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Balear denizinin kıyılarında genellikle pozitif yönde bir dağılım olmaklar birlikte 0,2 m/s ile 0,4 m/s arasında bir saptanmıştır. Ek olarak, Sicilya ile Yunanistan arasında kalan bölgelerde negatif yönde bir dağılım belirlenmiştir. Tiren denizi kıyılarında kalan alanlarda pozitif yönde 0,2 m/s ile 0,5 m/s arasında akıntı hız farkı tespit edilmiştir. Ege denizi’nin iç kısımları ve Çanakkale boğazı giriş noktalarında pozitif yönde 0,2 m/s ile 0,6 m/s arasında değişim tespit edilmiştir. Doğu Akdeniz kıyı kesimlerinde akıntı hız farkının 1 m/s ile 1,3 m/s arasında olan yerler mevcuttur. Diğer taraftan Tunus ve Libya kıyı kesimlerinde negatif yönde bir dağılım görülmekle birlikte akıntı hız farkının negatif olarak 0,2 ile 0,4 m/s olduğu alanlar belirlenmiştir. Türkiye’nin doğu Akdeniz kıyı bölgelerinde genellikle negatif yönde bir dağılım saptanmıştır. Antalya ve Mersin arasında kalan bölgelerde 0,2 m/s ile 0,5 m/s genellikle aralığında bir dağılım tespit edilmiştir.

5. TARTIŞMA

Cucco ve diğeri (2016), tarafından yapılan bir çalışmada Akdeniz bölgesindeki Messina kanalındaki maksimum akıntı hızının 1,8 m/s ile 3 m/s arasında olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada yüksek çözünürlüklü hidrodinamik model SHYFEM kullanılmıştır. Çalışma yapılan bölgede alansal çözünürlük 2x2 km ve derinlik olarak 5-200 arası seçilmiştir. Mevcut tez kapsamında yapılan çalışmada ise veri seti 1987-2021 yıllar için seçilmiş olup saatlik veri kullanılmıştır. Ayrıca tez kapsamında Akdeniz havzası bütün olarak ele alınmıştır. Bunun yanı sıra alansal çözünürlük 4x4 km olarak belirlenmiş, derinlik için 1-20 metre ve 20-50 metre arası analizler yapılmıştır. Çalışmalar arasındaki farklılıkların yukarıda sayılı faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kontoyiannis, Panagiotopoulos ve Soukissian (2015) tarafından Yunanistan'ın Chalkis kenti yakınlarındaki Euripus kanal bölgesinde türbin kurulumu için uygun yerleri belirlemek amacıyla, ortalama derinliği 1,5 metre olan bölgelerde akıntı hızı analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda akıntı hızı yaklaşık 0,15 m/s seçilmiştir. Çalışmadan çıkarılan sonuçlar, alanın büyük ölçekli enerji üretimi için ideal olmasa da küçük ölçekli uygulamalar için düşünülebileceğini göstermektedir. Çalışmanın veri seti, bir akım ölçüm cihazı kullanılarak iki aylık bir süre boyunca toplanmıştır. Mevcut tez kapsamında yapılan çalışmada ise, 1-20 ve 20-50 metre arasındaki derinlikler göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca seçilen veri setlerindeki akıntı hızının maksimum olarak seçilmesi çalışmalar arasındaki farklı sonuçların ortaya çıkmasında oldukça önemli bir rol oynamaktadır.

Hazim ve diğeri (2019) tarafından yapılan bir çalışma sonucunda Atlantik kıyısına ve Cebelitarık Boğazı'na komşu olan Fas'ta su altı türbinlerinin kurulumunu ve enerji üretim kapasiteleri analiz edilmiştir. Çalışma, Tangier ve Tetouan bölgelerindeki akıntı hızının 2 m/s'yi aştığını, ortalama hızın ise 0,9 m/s ile 1,8 m/s arasında değiştiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, metrekaşe başına enerji üretim kapasitesi yaklaşık 1,6 kW/saat gibi yüksek bir değere ulaşmıştır. Derinlik olarak 200 metre seçilmiştir. Ek olarak SWAN model veri seti kullanılmıştır. Mevcut tez kapsamında dikkate alınan derinlikler 1-20 metre arası ve 20-50 metre arasındadır. Tez çalışmasında akıntı hızı yüksek olduğu değerlendirilen alanların maksimum akıntı hızları yıllık ve sezonluk olarak analiz edilmiş ve haritalandırılmıştır.

Hazim ve diğeri (2021) tarafından yapılan çalışma Fas'ın Atlantik Okyanusu kıyı bölgesindeki akıntı hızlarını hesaplamayı amaçlamıştır. Copernicus Marine Environment Services ve Med-MFC model veri seti kullanılarak 2018 yılı için yaklaşık 4x4 km çözünürlükte dört nokta analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda maksimum akıntı hızlarının 10 ve 50 metre derinliklerde sırasıyla yaklaşık 2,4 m/s ve 1,5 m/s olduğu tespit edilmiştir. Mevcut tez kapsamında yapılan çalışmada ise Akdeniz bölgesinin tamamı 1987-2021 yıllarını kapsayacak şekilde analiz edilmiştir.

Diğer bir çalışmada ise (Lewis, Neill, Robins ve Hashemi, 2015) ROMS modeli 14 gün için 25-50 metre derinlikte, 1,1 km, 556 metre, 278 metre alansal çözünürlükte çalıştırılmıştır. Çalışma sonucunda en verimli çalışma aralığı olarak ilkbahar mevsimi tespit edilmiş ve 2,5 m/s akıntı hızı değeri saptanmıştır. Bu tez çalışmasında ise en yüksek akıntı hızına her iki derinlik için kış mevsiminde ulaşıldığı görülmüştür. Akıntı hızı sırasıyla 3,4 m/s ve 3,6 m/s olarak tespit edilmiştir. Ayrıca çözünürlük ve çalışma periyodunun farklı olması analizler arasındaki farklılıkların sebebi olduğu düşünülmektedir. Tez çalışmasında ayrıca Türkiye kıta sahanlığında kalan akıntı hızı yüksek olan noktalar farklı derinliklere göre analiz edilmiş ve 2022-2100 periyodu için modelleme yapılarak derinlikler arası farklılıklar ortaya konulmuştur.

Orhan, Mayerle ve Pandoe (2015) tarafından yapılan çalışmada Larantuka Boğazı'nın akıntı enerjisi potansiyeli Delft3D modeli aracılığıyla veri analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda yıllık yaklaşık toplam 20 Gigawatt/saat enerji üretim kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir. Tez kapsamında ise saatlik Copernicus uydu veri seti kullanılmıştır. 1-20 metre ve 2050 metre derinlik için maksimum enerji üretim potansiyeli olarak sırasıyla 3830 GWh/yıl ve 4543 GWh/yıl saptanmıştır. Veri seti farklılıkları ve hesaplama için kullanılan türbin sistemlerinin farklı olması çalışmalar arasındaki farklı sonuçların sebebi olabileceği düşünülmektedir.

Diğer bir çalışma sonucunda (Esteban ve diğeri, 2019) tarafından belirtilen çalışmada İspanya kıyılarında kurulan enerji kazanım sistemleri sayesinde 2007 ile 2016 çalışma periyodunda maksimum ve ortalama akıntı hızı analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda ortalama akıntı hızının özellikle Cebelitarık kıyılarında yaklaşık 1,5 m/s'nin üzerinde, maksimum akıntı hızının ise 2,5 m/s'nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlarda ölçüm cihazı olarak şamandıra kullanılmıştır. Elde edilen verilen

belirli bir bölgenin noktasal verilerini kapsamaktadır. Mevcut tez kapsamında ise elde edilen sonuçlarda ise maksimum akıntı hızının farklı derinliklerde 3,4 m/s ile 3,6 m/s arasında olduğu saptanmıştır. Çalışma periyodu 1987-2021 yılları arasında kapsamakta ve elde edilen verilerin 4x4 km çözünürlükte uydu verileridir. Ayrıca verilerin saatlik olması çalışmalar arasındaki farklılıklardan sayılabilir.

Goundar ve Ahmet (2014) tarafından yapılan çalışmada ise 3 aylık çalışma periyodu kapsamında maksimum akıntı hızı olarak 2,5 m/s tespit edilmiş ve türbin verimliliği için 17,5 metrenin ideal olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada türbin çapının 5 ile 8 metre olmasının enerji üretimine olumlu yönde etki edeceğini belirtmiştir. Tez çalışmasında ise çalışma periyodu olarak 1987-2021 arası seçilmiş ve 2022-2100 arası için lineer modelleme yapılmıştır.

(Korte, Windt ve Goseberg, 2024) tarafından analizler sonucunda sığ sularda yıllık ortalama akıntı hızının 0,5 m/s ile 2 m/s arasında olmasının türbin kurulumu ve enerji üretimi için ideal olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte çalışma alanı için akıntı hızı yüksek potansiyel noktalar saptanmıştır. Mevcut tez kapsamında ise 1-20 metre ve 20-50 metre farklı derinliklerde enerji üretim potansiyeli yüksek noktalar tespit edilmiştir. Aynı zamanda ileriye dönük modelleme sonucunda akıntı hız farklılıkları ortaya konularak potansiyel akıntı hız değişimi zamansal olarak ortaya konulmuştur. Çalışmalar arasındaki farklılıkların en önemli sebepleri olarak çalışma periyodu ve derinlik farklılıkları olduğu düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mevcut tez kapsamında yapılan analizler sonucunda çalışma zaman aralığı için (1987-2021) farklı derinliklerdeki akıntı hızı değişimi çalışma alanı olan Akdeniz ve Türkiye kıta sahanlığı için incelenmiştir. Bu çalışma neticesinde 1-20 metre derinlikte akıntı hızının yaklaşık 3,4 m/s'ye ulaştığı noktalar tespit edilmiştir.

Aynı zamanda bu derinlikte sezonluk analizler sonucunda Türkiye'nin kıta sahanlığında kalan bölgelerde Aralık-Ocak-Şubat sezonu 2,2 m/s'nin üstünde olduğu noktalar tespit edilmiştir. Mart Nisan Mayıs sezonu ise 0,9 m/s ile 1,2 m/s, Haziran-Temmuz-Ağustos sezonunda özellikle Antalya Mersin açıklarında 2,2 ile 2,5 m/s arasında olan noktalar belirlenmiştir. Eylül-Ekim-Kasım sezonu için ise 1,4 m/s ile 2 m/s arasında olan noktaların mevcut olduğu görülmüştür.

20-50 metre derinlikte akıntı hızının yaklaşık 3,6 m/s'ye ulaştığı noktalar tespit edilmiştir. Aynı zamanda bu derinlikte sezonluk analizler neticesinde Türkiye'nin kıta sahanlığında kalan bölgelerde Aralık-Ocak-Şubat sezonu doğu Akdeniz kıyılarında 1,6 ile 2,2 m/s arasında olduğu noktalar tespit edilmiştir. Mart Nisan Mayıs sezonu ise 1 m/s ile 1,3 m/s, Haziran-Temmuz-Ağustos sezonunda özellikle Antalya Mersin açıklarında 2,2 ile 2,4 m/s arasında olan noktalar belirlenmiştir. Eylül-Ekim-Kasım sezonu için ise 1,5 m/s ile 2 m/s arasında olan noktaların mevcut olduğu görülmüştür.

Enerji kazanım potansiyeli hesaplaması sonucunda ise 1-20 metre arası derinlik için yapılan çalışma sonucunda Rodos adası ile Türkiye kıyıları arasında kalan bölgelerde enerji kazanım değerinin 900 GWh/yılın üzerinde olduğu noktalar gözlenmiştir. Türkiye'nin Mersin ve Antalya kıyı bölgelerinde yaklaşık 960 GWh/yıl ile 1200 GWh/yıl arasında enerji kazanım potansiyeli olan noktalar mevcuttur. Doğu Akdeniz bölgesinde Rodos açıklarında enerji kazanımının 1000 GWh/yıl ile 1200 GWh/yıl ve üzerinde olan alanlar görülmektedir.

20-50 metre arası potansiyel enerji kazanım sonuçlarına baktığımızda ise Rodos adası ile Türkiye kıyıları arasında kalan alanlarda enerji kazanım değerinin 900 GWh/yıl'ın üzerinde görüldüğü alanlar tespit edilmiştir. Türkiye'nin Mersin ve Antalya kıyı bölgelerinde yaklaşık 800 GWh/yıl ile 1000 GWh/yıl arasında enerji kazanım potansiyeli olan bölgelerin olabileceği analiz edilmiştir. Tez kapsamında Akdeniz maksimum akıntı hızı standart sapma

değerlerine bakıldığı zaman çalışma periyodu içinde derinliği 1-20 metre olan yerlerde Standart sapma değerlerinin 0,25 ile 0,32 arasında değişmektedir. Daha sonra 20-50 metre derinlikteki standart sapma değerleri incelendiğinde standart sapma değerlerinin 0,24 ile 0,31 arasında olduğu saptanmıştır. Çalışma zaman aralığına bakıldığı zaman her iki derinlik için yıllar içerisinde standart sapma değerlerinin yıllar içerisinde artış gösterdiği görülmektedir.

Tez kapsamında lineer modelleme analizleri sonucu 2022-2100 çalışma periyodu için 2030-2050 ve 2080-2100 arasındaki akıntı hız farklılıkları derinliklere bağlı olarak ortaya konulmuştur. 2022-2100 çalışma periyodu için derinlikler arası maksimum akıntı hızı farkı 0,7 m/s olarak tespit edilmiştir. Diğer taraftan, 2030-2050 periyodu derinlikler arası maksimum akıntı hızı farkı 0,3 m/s olarak saptanmıştır. 2080-2100 modelleme çalışması derinlikler arası maksimum akıntı hızı farkı 0,7 m/s olarak tespit edilmiştir. 1-20 metre derinlik için modelleme çalışması kapsamında 2080-2100 ile 2030-2050 yılları arasındaki maksimum akıntı hızı farkının 1,2 m/s olduğu saptanmıştır. Ayrıca 20-50 metre derinlik için modelleme çalışması 2080-2100 ile 2030-2050 yılları arası maksimum akıntı hızı farkının 1,3 m/s olduğu belirlenmiştir.

Tez kapsamında yapılan analizlerde Akdeniz bölgesinde akıntı hızı analizi ve potansiyel enerji üretimi (1987-2021) periyodu için saptanmış ve 2022-2100 dönemi için lineer modelleme yapılarak periyotlar arasındaki değişim ortaya konulmuştur. Önümüzdeki süreçte stokastik modellemeler doğrultusunda (Markov zincirleri, Monte Carlo simülasyonu, Kalman filtreleri vs.) yapılacak çalışmaların karşılaştırmalı analizler için önemli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca farklı derinliklere göre türbinlerin seçilmesi, veri seti alansal çözünürlüğünün türbin kurulumu için uygun bölgelere göre artırılması yapılabilecek çalışmalar olarak önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Zhou, Z., Benbouzid, M., Charpentier, J. F., Scuiller, F., ve Tang, T. (2017). Developments in large marine current turbine technologies—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 852-858.
- Höhne, N., Gidden, M.J., Elzen, D.M, Hans, F., Fyson, C., Geiges, A., Jeffery, L., Zuñiga, G.S., Mooldijk, S., Hare, W., Rogelj, J. (2021). Wave of net zero emission targets opens window to meeting the Paris Agreement. *Nat. Clim. Chang.* 11, 820–822 <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01142-2>
- He, X. (2023). Effects of the green policy environment on renewable energy investment and effect evaluation of green policies. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2023, 1-16. <https://doi.org/10.1155/2023/8698548>
- Varna, M., Singh, A., Sahoo, D., & Sengupta, D. (2021). Strengthening of Basin- Scale Ocean Currents in Winter Drives Decadal Salinity decline in the Eastern Arabian Sea. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL094516. <https://doi.org/10.1029/2021GL094516>
- Perry, R., Cury, P., Brander, K., Jennings, S., Möllmann, C., Planque, B. (2010). Sensitivity of marine systems to climate and fishing: concepts, issues and management responses. *Journal of marine systems*,79(3-4), 427-435. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.12.017>
- Hurtado, M. A., Pennino, M.G., Lizaso, J.L.S. (2017). Shift in tuna catches due to oceanwarming. *PlosOne*, 2(6), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178196>
- Esteban, M.D., Espada, J.M., Ortega, J.M., López-Gutiérrez, J. S., Negro, V. What about Marine Renewable Energies in Spain? (2019). *Journal of Marine Science and Engineering*, 7, 249. <https://doi.org/10.3390/jmse7080249>
- Thorstad, E.S., Bliss, D., Breau, C., Randall, K.D., Hansen, L.E.S., Hatfield, E.M.C., Horsburgh, G., Hansen, H., Maoiléidigh, Ó.N., Sheehan, T., Sutton, S. G. (2021). Atlantic salmon in a rapidly changing environment—facing the challenges of reduced marine survival and climate change. *Aquatic Conservation marine and Freshwater Ecosystems*, 31(9), 2654-2665. <https://doi.org/10.1002/aqc.3624>
- Ekechukwu, D., Daramola, G. O. and Olanrewaju, O. I. K. (2024). Integrating renewable energy with fuel synthesis: conceptual framework and future directions. *Engineering Science&TechnologyJournal*,5(6),2065-2081. <https://doi.org/10.51594/estj.v5i6.1247>
- Martinez, C., Rockel, S., Vieux, C. (2017). European Overseas Coastal and Marine Protected Areas: Overview of Coastal and Marine Conservation Efforts in the European Union’s Overseas Countries and Territories and Outermost Regions;IUCN:Gland, Switzerland, Volume xxvii, 182p

- Morrison, R., Zhang, J., Urban, E., Hall, J., Ittekkot, V., Avril, B., Zuo, F. (2013). Developing human capital for successful implementation of international marine scientific research projects. *Mar. Pollut. Bull*, 77, 11–22.
- Özbayram, E., Çamur, D., Köker, L., ÇAM, A., Akçaalan, R., & Albay, M. (2022). the effects of climate change on aquatic ecosystems in relation to human health. *aquatic Sciences and Engineering*, 37, 3, 123-128. <https://doi.org/10.26650/ase20221057160>
- Orhan, K.; Mayerle, R., Pandoe, W. (2015). Endonezya'daki gelgit akıntılarında enerji üretim potansiyelinin değerlendirilmesi. *Energy Procedia* 2015, 76, 7-16.
- Wang, R. (2023). diversity and distribution of 18 cephalopod species, and their link with some environmental factors in the nw pacific. *diversity*, 15(5), 694. <https://doi.org/10.3390/d15050694>
- Chong, H. Y. and Lam, W.H. (2013). Ocean renewable energy in Malaysia: The potential of the Straits of Malacca. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 169-178
- Roberts, A., Thomas, B., Sewell, P. (2016). Current tidal power technologies and their suitability for applications in coastal and marine areas. *J. Ocean Eng. Mar. Energy* 2, 227–245 <https://doi.org/10.1007/s40722-016-0044-8>
- Hazim, S., Salih, A., Janan, T.M., Ouatuati, E.A., Ghennioui, A. (2021) Marine current energy assessment and the hydrodynamic design of the hydrokinetic turbine for the Moroccan Mediterranean Coast. *Energy Explor. Exploit*, 39, 717–737.
- Korte, A., Windt, C., Goseberg, N. (2024). Review and assesment of the German tidal energy resource. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, 10:239,261.
- Schmidt, J.O.; Bograd, S.J.; Arrizabalaga, H.; Azevedo, J.L.; Barbeaux, S.J.; Barth, J.A.; Boyer, T.; Brodie, S.; Cárdenas, J.J., Cross, S. (2019). Future ocean observations to connect climate, fisheries and marine ecosystems. *Front. Mar. Sci*, 6, 550.
- Doney, S.C.; Ruckelshaus, M.; Duffy, J.E.; Barry, J.P.; Chan, F.; English, C.A.; Galindo, M.H.; Grebmeier, M.J., Hollowed, B.A., Knowlton, N. (2012) Climate change impacts on marine ecosystems. *Annu. Rev. Mar. Sci*. 4, 11–3.
- Wang, S., Yuan, P., Li, D. and Jiao, Y. (2011). "An overview of ocean renewable energy in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 91-111.
- Hammar, L., Ehnberg, J., Mavume, A., Francisco, F. ve Molander, S. (2012). Simplified site-screening method for micro tidal current turbines applied in Mozambique. *Renewable Energy*, 44(0), 414-422.
- Rahman, N., Badshah, S., Rafai, A ve Badshah, M. (2014). Literature Review of OceanCurrent Turbine. *Int. J. Sci. Eng. Res*. 5, 11.

- Bayraç, N., Çildir, M. (2017). AB Yenilenebilir Enerji Politikalarının Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi, *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, ICMEB17 Özel Sayısı.
- Karakaya, E. Paris İklim Anlaşması: İçeriği ve Türkiye Üzerine Bir Değerlendirme. (2016). Adnan Menderes Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3, 1, 1-12.
- Lüthi, D., Floch, L. M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J. M., Siegenthaler, U., Raynaud, D., Jouzel, J., Fischer, H., Kawamura, K., Stocker, T. F. (2008). High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present. *Nature*, 453, 379-382.
- Soukissian, T. H., Denaxa, D., Karathanasi, F., Prospathopoulos, A., Sarantakos, K., Iona, A., Georgantas, K., Mavrakos, S. (2017). *Energies*, 10, 10, 1512.
- Hazim, S., Ouatuati, E.A., Janan, T.M.; Ghennioui, A. (2019). Marine Currents Energy Resource Characterization for Morocco. *Energy Procedia*, 157, 1037–1049.
- GEBCO Bathymetric Compilation Group. (2021). The GEBCO_2021 Grid a Continuous Terrain Model of the Global Oceans and Land; NERC EDS British Oceanographic Data Centre NOC: Liverpool, UK, 2021
- A, Mérigaud. ve Ringwood, J.V. (2016). Condition-based maintenance methods for marine renewable energy. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 66, pp. 53–78.
- Chen, Z., He, J., Cao, S., Lu, Z., Lan, M., Zheng, H., Luo, G. and Zhang, F. Diversity and distribution of heterotrophic flagellates in seawater of the Powell Basin, Antarctic Peninsula. (2021). *Polar Res.*, 40, 5389.
- Lewis, M., Neill, S.P., Robins, P.E and Hashemi M.R. (2015). Resource assessment for future generations of tidal-stream energy arrays. *Energy* 83:403–415.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.038>
- O'Rourke, F., Boyle, F. and Reynolds, A. (2010). Tidal current energy resource assessment in Ireland: current status and future update. *Renew Sustain Energy Rev* 14(9):3206–3212. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.039>
- Myers, L.E. ve Bahaj, A.S. (2012). An experimental investigation simulating flow effects in first generation marine current energy converter arrays. *Renewable Energy*, Volume 37, Issue 1.
- Tokarska, K.B., Gillett, N.P. (2018). Cumulative carbon emissions budgets consistent with 1,5 °C global warming. *Nature Climate Change*, 8, 296–299.
<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0118-9>
- Franchini, M., Mannucci, P.M. (2015). Impact on human health of climate changes. *Eur J Intern Med*, 26(1):1-5. doi: 10.1016/j.ejim.2014.12.008.

- Pisacane, G., Sannino, G., Carillo, A., Struglia, M., Bastianoni, S. Marine energy exploitation in the Mediterranean region: Steps forward and challenges. (2018). *Front. Energy Res*, 6, 109.
- Mathiesen, B.V., Lund, H., Connolly, D., Wenzel, H., Østergaard, P.A., Möller, B., Nielsen, S., Ridjan, I., Karnøe, P., Sperling, K., Hvelplund, F.K. (2015). Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions. *Applied Energy*, 145,139-154.
- Bhattacharya, M., Paramati, R. S., Ozturk, I., Bhattacharya, S. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. *Applied Energy*, 162, 733-741.
- Lionello, P., Scarascia, L. The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. (2018). *Reg. Environ. Change*, 18, 1481-1493.
- Moullec, F., Barrier, N., Guilhaumon, F., Peck, M.A., Ulses, C., Shin, Y.J. (2023). Rebuilding Mediterranean marine resources under climate change. *Marine Ecology Progress Series*, 708:1-20. <https://doi.org/10.3354/meps14269>
- Öziç, H. C., Yılmaz, E. A. (2018). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Gelecekteki Hedefleri. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 8, 3, 525-535.
- Ntanos, S., Skordoulis, M., Kyriakopoulos, G., Arabatzis, G., Chalikias, M., Galatsidas, S., Batzios, A., Katsarou, A. (2018). Renewable Energy and Economic Growth: Evidence from European Countries. *Sustainability*, 10,2626. <https://doi.org/10.3390/su10082626>
- Apergis, N., Danuletiu, D. C. (2014). Renewable energy and economic growth: evidence from the sign of Panel long-run causality. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 4 (4), 578-587.
- Meli, M., Camargo, C., Olivieri, M., Slangen, A., & Romagnoli, C. (2023). Sea-level trend variability in the mediterranean during the 1993–2019 period. *Frontiers in Marine Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1150488>
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.P., Iglesias, A., Lange, M.A., Lionello, P., Llasat, C.M., Paz, S., Peñuelas, J., Snoussi, M., Toreti, A., Tsimplis, M.N., Xoplaki, E. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *nature climate change*, 8, 972-980.
- Galati, A., Tulone, A., Vrontis, D., Thrassou, A., Crescimanno, M. (2021). Intention of coastal communities to support climate change mitigation policies for fish and marine ecosystem preservation. *Journal of Enterprising Communities People and Places in the Global Economy*, 17(2), 261-283. <https://doi.org/10.1108/jec-05-2021-0069>
- Chen, H., Tang, T., Aït-Ahmed, N., Benbouzid, M.E.H., Machmoum, M., Zaïm, M.E.H. (2018). Attraction, Challenge and Current Status of Marine Current Energy. *IEEE*, vol.6, 12665-12685. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2795708.

- Schroeder, K., Cozzi, S., Belgacem, M., Borghini, M., Cantoni, C., Durante, S., Petrizzo, A., Poiana, A., Chiggiato, J. (2020). Along-Path Evolution of Biogeochemical and Carbonate System Properties in the Intermediate Water of Western Mediterranean. *frontiers in Marine Science*, 7:375. Doi: 10.3389/fmars.2020.00375
- Nachtane, M., Tarfaoui, M., Goda, I., Rouway, M. (2020). A review on the technologies, design considerations and numerical models of tidal current turbines. *Renewable Energy*, 157, 1274-1288.
- Magagna, D., Uihlein, A. (2015). Oceanenergy development in Europe: Current status and future perspectives. *International Journal of Marine Energy*, 11,84-104.
- Goundar, J.N., Ahmed, R. M. (2014). Marine current energy resource assessment and desing of a marine current türbine for Fiji. *Renewable Energy*, 65, 14-22.
- Batten, W.M.J., Bahaj, A.S., Molland, A.F., Chaplin, J.R. (2008). The prediction of the hydrodynamic performance of marine current turbines. *Renewable Energy*, 33, 1085-1096.
- Taqquadus, H., Khan, A., Khan, D., and Magda, R. (2023). the impact of product and process innovation on abandoning fossil fuel energy consumption in low and middle income countries: consent towards carbon neutrality. *Frontiers in energy Research*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1092178>
- Irving, D., Wijffels, S., and Church, J. (2019). anthropogenic aerosols, greenhouse gases, and the uptake, transport, and storage of excess heat in the climate system. *Geophysical Research Letters*, 46(9), 4894-4903. <https://doi.org/10.1029/2019gl082015>
- Song, H. (2024). Assessing the impact of marine renewable energy in portugal: an analysis based on aco-tn-attention. *Frontiers in energy Research*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1362371>
- Knott, J., Mueller, M., Pander, J., & Geist, J. (2023). Downstream fish passage at small-scale hydropower plants: turbine or bypass? *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1168473>
- Schultz, L. (2023). the climate crisis affects mediterranean marine molluscs of conservation concern. *Diversity and Distributions*, 30(3). <https://doi.org/10.1111/ddi.13805>
- Liu, H. and Bahaj, A. (2021). Status of marine current energy conversion in china. *International marine energy Journal*, 4(1), 11-23. <https://doi.org/10.36688/imej.4.11-23>.
- Yahya, N. and Satrio, D. (2023). A review of technology development and numerical model equation for ocean current energy. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1198(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1198/1/012019>

- Bedoya, A. J., Clemente, R. A., Velásquez, L. and Chica, E. (2019). design and optimization of a multi-element hydrofoil for a horizontal-axis hydrokinetic turbine. *Energies*, 12(24), 4679. <https://doi.org/10.3390/en12244679>
- Haxel, J., Zang, X., Martinez, J., Polagye, B., Staines, G., Deng, Z., ... & O'Byrne, P. (2022). underwater noise measurements around a tidal turbine in a busy port setting. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(5), 632. <https://doi.org/10.3390/jmse10050632>
- Poudyal, R., Loskot, P., Nepal, R., Parajuli, R., and Khadka, S. (2019). Mitigating the current energy crisis in nepal with renewable energy sources. *renewable and Sustainable energy Reviews*, 116, 109388. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109388>
- Tingey, M. and Webb, J. (2020). Governance institutions and prospects for local energy innovation: laggards and leaders among uk local authorities. *energy Policy*, 138, 111211. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111211>
- Gačić, M. and Bensi, M. (2020). Ocean exchange and circulation. *water*, 12(3), 882. <https://doi.org/10.3390/w12030882>
- Chowdhury, S., Hasan, K., Rahman, M., Islam, K., and Zayed, N. (2020). Causal relationship among carbon dioxide (co2) emissions, renewable energy, population and economic growth in bangladesh: an empirical study. *Research in World Economy*, 11(6), 196. <https://doi.org/10.5430/rwe.v11n6p196>
- Rosli, R., Shi, W., Aktas, B., Norman, R., & Atlar, M. (2019). underwater radiated noise characteristic of the hydro-spinna tidal turbine under induced cavitation. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 415-421. <https://doi.org/10.12720/sgce.8.4.415-421>
- Mohtat, A., Fagley, C., Chitale, K., & Siegel, S. (2022). Efficiency analysis of the cycloidal wave energy convertor under real-time dynamic control using a 3d radiation model. *International Marine energy Journal*, 5(1), 45-56. <https://doi.org/10.36688/imej.5.45-56>
- Grenier, M., Idan, T., Chevalloné, P., & Pérez, T. (2023). mediterranean marine keystone species on the brink of extinction. *Global Change Biology*, 29(7), 1681-1683. <https://doi.org/10.1111/gcb.16597>
- Marbà, N., Arias-Ortiz, A., Masqué, P., Kendrick, G.A., Mazarrasa, I., Bastyan, G.R., Garcia-Orellana, J. and Duarte, C.M. (2015). Impact of seagrass loss and subsequent revegetation on carbon sequestration and stocks. *Journal of Ecology*, 103: 296-302. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12370>
- Cucco, A., Quattrocchi, G., Olita, A., Fazioli, L., Ribotti, A., Sinerchia, M., Tedesco, C., and Sorgente, R. (2016). Hydrodynamic modelling of coastal seas: the role of tidal dynamics in the Messina Strait, Western Mediterranean Sea, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 1553–1569, <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1553-2016>, 2016.

- Grabbe, M., Lalander, E., Lundin, S., & Leijon, M. (2009). A review of the tidal current energy resource in norway. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 1898-1909. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.026>
- Escudier, R., Clementi, E., Omar, M., Cipollone, A., Pistoia, J., Aydogdu, A., Drudi, M., Grandi, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Cretí, S., Masina, S., Coppini, G., and Pinardi, N. (2020). Mediterranean Sea Physical Reanalysis (CMEMS MED-Currents, E3R1 system) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1
- Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., ve von Schuckmann, K.: Earth's energy imbalance and implications. (2011) *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 13421–13449, <https://doi.org/10.5194/acp-11-13421-2011>
- Criado, A. F. and Soto- Navarro, J. (2020). Climatic indices over the mediterranean sea: a review. *Applied Sciences*, 10(17), 5790. <https://doi.org/10.3390/app10175790>
- Zhang, H. (2021). Twenty nile rivers escape the mediterranean sea – a giant water vapor spill boosting the july 2021 floods in western europe. *International Journal of Hydrology*, 5(4), 206-212. <https://doi.org/10.15406/ijh.2021.05.00282>
- Sakalli, A. (2017). Sea surface temperature change in the mediterranean sea under climate change: A linear model for simulation of the sea surface temperature up to 2100. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(1), 707-716. doi: 10.15666/aeer/1501_707716
- Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Kaschner, K., Ben Rais Lasram, F., Aguzzi, J., et al. (2010) The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats. *PLoS ONE* 5(8): e11842. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011842>
- Rahuna, D., Kasharjanto, A., Suyanto, E., & Mintarso, C. (2023). Experimental study on hydrodynamic aspects of turbine which convert hydrokinetic and potential coastal wave energy. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1166(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1166/1/012021>
- Dañobeitia, J., Pouliquen, S., Pade, N., Arvanitidis, C., Sanders, R., Stănică, A., ... & Favali, P. (2023). the role of the marine research infrastructures in the european marine observation landscape: present and future perspectives. *Frontiers in marine Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1047251>
- Maisha, R., Ndarana, T., Engelbrecht, F., Thatcher, M., Bopape, M., Merwe, J., ... & Masemola, C. (2023). Simulation of the ethekweni heat island in south africa. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 62(5), 589-609. <https://doi.org/10.1175/jamc-d-21-0231.1>
- Halkos, G. and Gkampoura, E. (2020). Reviewing usage, potentials, and limitations of renewable energy sources. *Energies*, 13(11), 2906. <https://doi.org/10.3390/en13112906>

- Maslova, V., Voskresenskaya, E., Lubkov, A., & Yurovsky, A. (2021). Temporal variability and predictability of intense cyclones in the western and eastern mediterranean. *Atmosphere*, 12(9), 1218. <https://doi.org/10.3390/atmos12091218>
- Brito, A., Veiga, J., Correia, F., Michiles, A., Capistrano, V., Chou, S., ... & Medeiros, G. (2023). Impacts of increasing greenhouse gas concentrations and deforestation on extreme rainfall events in the amazon basin: a multi- model ensemble- based study. *International Journal of Climatology*, 43(12), 5512-5535. <https://doi.org/10.1002/joc.8158>
- Encarnacion, J., Johnstone, C., and Ordóñez-Sánchez, S. (2019). Design of a horizontal axis tidal turbine for less energetic current velocity profiles. *Journal of marine Science and Engineering*, 7(7), 197. <https://doi.org/10.3390/jmse7070197>
- Xing, L., Udemba, E. N., Tosun, M., Abdallah, I., & Boukhris, I. (2023). Sustainable development policies of renewable energy and technological innovation toward climate and sustainable development goals. *Sustainable Development*, 31(2), 1178-1192. <https://doi.org/10.1002/sd.2514>
- Tintoré, J., Pinardi, N., Álvarez-Fanjul, E., Aguiar, E., Álvarez-Berastegui, D., Bajo, M., ... & Zodiatis, G. (2019). Challenges for sustained observing and forecasting systems in the mediterranean sea. *Frontiers in Marine Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00568>
- Lionello, P., Conte, D., & Reale, M. (2019). The effect of cyclones crossing the mediterranean region on sea level anomalies on the mediterranean sea coast. *Natural Hazards and Earth System Science*, 19(7), 1541-1564. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-1541-2019>
- Pascual, M., Rives, B., Schunter, C., & Macpherson, E. (2017). Impact of life history traits on gene flow: A multispecies systematic review across oceanographic barriers in the Mediterranean Sea. *PLoS ONE*, 12(5), e0176419
- Gurvan, M., Bourdallé-Badie, R., Chanut, J., Clementi, E., Coward, A., Ethé, C., ... & Moulin, A. (2022). Nemo ocean engine.. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6334656>
- Ranjbar, M., Kia, H., Nasrazadani, S., Gharali, K., & Nathwani, J. (2020). Experimental and numerical investigations of actuator disks for wind turbines. *Energy Science & Engineering*, 8(7), 2371-2386. <https://doi.org/10.1002/ese3.670>
- Kontoyiannis, H., Panagiotopoulos, M., & Soukissian, T. H. (2015). The euripus tidal stream at halkida/greece: a practical, inexpensive approach in assessing the hydrokinetic renewable energy from field measurements in a tidal channel. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, 1(3), 325-335. <https://doi.org/10.1007/s40722-015-0020-8>

Westwood, A. (2008). SeaGen installation moves forward. *Renewable Energy Focus*, 9,3,26-27.

İnternet 1: Arena (2016): <https://arena.gov.au/assets/2017/02/tidal-turbine-reef-TTR-feasibility-study-report.pdf> Son erişim tarihi: 03.09.2024

İnternet 2: Ocean Enerfy Systems (2016): <https://report2016.ocean-energy-systems.org/> Son erişim tarihi: 03.09.2024



DİZİN

A

Akdeniz · x, 5, 6, 12, 15, 16, 17, 20,
21, 22, 23, 24, 30, 31, 32, 33,
34, 42, 43, 44, 57, 58, 60
akıntı · iv, x, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10,
12, 13, 15, 17, 20, 21, 22, 23,
24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32,
33, 34, 36, 38, 39, 40, 43, 44,
57, 58, 60
akışından · 7
Atlantis Resources'ın · 17

B

bıçaklı · 8

C

Cebelitarık · 12, 15, 24, 34, 57
Copernicus · 13, 15, 58

D

Deniz Akıntı Enerjisi · 2, 6
devir · 9
dönebilen türbin bıçakları · 9

E

ekonomik · 2, 3, 4
ekosistemler · iv, 1, 5
Endüstri · 1
enerji · 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12,
13, 17, 42, 57, 58

enerji üretim kapasitesi · 13, 57

F

fosil · 1

i

iklim değişikliğinden · 1, 5
İyon · 16, 21, 22, 24, 31, 32, 34

K

kazanım · 7, 9, 42
kıtı sahanlığında · 16, 58
kinetik enerji · 3
Korezyona · 10

L

Libya · 21, 30, 31

M

Megawatt · 4, 10

N

NEMO · 15
Niyet · 1

O

Ocean Energy Systems · 4

P

potansiyel enerji kazancı · 18

R

rapor · 6
Rodos · 21, 30
rotor · 4, 8, 17
Rüzgar türbinlerine · 7

S

Sanayi · 1
sera-gazı · 1
SHYFEM · 12, 57

T

türbin · 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 17, 57

V

veri seti · 12, 13, 15, 16, 57, 58

Y

Yatay eksenli · 6
yenilenebilir enerji · iv, 1, 2, 3, 4
yüksek enerji · 4, 8



TEKNOVERSITE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

