



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

SU ÜRÜNLERİ TEMEL BİLİMLER ANABİLİM DALI

**SIĞACIK KÖRFEZİ, ORKİDOS AĞ KAFES İŞLETMESİNDE
AKINTI VE ÇEVRESEL PARAMETRE DİNAMİĞİNİN
İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ
DOKTORA TEZİ**

RAGİP ERTUĞ YENTÜR

**TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. YEŞİM BÜYÜKATEŞ**

ÇANAKKALE – 2022



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SU ÜRÜNLERİ TEMEL BİLİMLER ANABİLİM DALI

**SİĞACIK KÖRFEZİ, ORKİNOS AĞ KAFES İŞLETMESİNDE
AKINTI VE ÇEVRESEL PARAMETRE DİNAMİĞİNİN
İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ**
DOKTORA TEZİ

RAGIP ERTUĞ YENTÜR

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. YEŞİM BÜYÜKATEŞ

ÇANAKKALE – 2022

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

(İmza)

Ragıp Ertuğ YENTÜR

27/05/2022

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesinde, eğitim hayatım boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Yeşim BÜYÜKATEŞ'e, tez çalışması boyunca değerli katkıları sağlayarak tecrübelerini aktaran Prof. Dr. Őükran YALÇIN ÖZDİLEK ve Prof. Dr. Murat YİĞİT'e, HYDROTAM- 3D Pro modelleme programının kullanımını konusunda çok büyük destek sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Lale BALAS'a ve değerli aileme sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Ragıp Ertuğ YENTÜR
anakkale, Mayıs 2022

ÖZET

SIĞACIK KÖRFEZİ, ORKİNOS AĞ KAFES İŞLETMESİNDE AKINTI VE ÇEVRESEL PARAMETRE DİNAMİĞİNİN İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ

Ragıp Ertuğ YENTÜR

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Su Ürünleri Temel Bilimler Anabilim Dalı Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Yeşim BÜYÜKATEŞ

27/05/2022, 62

Bu çalışma ile hızla gelişen açık deniz su ürünleri yetiştiricilik faaliyetlerinin, su kalitesi parametreleri üzerine etkisinin incelenmesi ve modelleme programı ile desteklenmesi amaçlanmıştır. Çalışma, İzmir ili Seferihisar ilçesi, Sığacık Körfezinde bulunan bir orkinos yetiştiricilik tesisinde belirlenen istasyonlarda (Kafes ve Referans İstasyonları), Mayıs 2018- Ocak 2019 tarihleri arasında mevsimsel olarak gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de birçok kıyıda uygulanan HYDROTAM-3D Pro modelleme programına ait rüzgâr iklimi, dalga iklimi, hidrodinamik ve su kalitesi alt modelleri çalıştırılmıştır. Kafes ve referans istasyonlarının yüzey, orta ve dip tabakalarındaki fiziko-kimyasal değişkenlere (Sıcaklık, tuzluluk, çözülmüş oksijen, askıda katı madde, klorofil-*a* ve besin tuzları) ait veriler, istatistiksel (SPSS, 2021, Pearson Korelasyon analizi) olarak incelenerek, değerlerin birbirleri ile yakın olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, belirlenen istasyonlardan elde edilen fiziko-kimyasal değişkenlere ait sonuçlar, su kalitesi alt modeli sonuçları ile de karşılaştırılarak, sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Rüzgâr iklimi alt modelinde; Sığacık Körfezinde, ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) arşiv verilerine göre, 6 saatlik deniz üstü rüzgâr tahminleri ile rüzgârın esme yönünün baskın olarak Kuzey (N) yönünden olduğu belirlenmiştir. Dalga iklimi alt modelinde, ECMWF rüzgar verileri ile dalga modellemesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada CEM ampirik yöntemi kullanılarak, baskın dalga yönünün kuzey (N) olduğu görülmektedir. Akıntı alt modelinde; ECMWF’e ait rüzgâr verilerinden, yoğunluk için çalışmanın yapıldığı dönemde Sığacık Körfezi’nde elde edilen sıcaklık ve tuzluluk verilerinden yararlanılmıştır. Sığacık körfezinde yüzey suları baskın olarak

güneybatı (SW) yönüne doğru ilerlediği belirlenerek, körfez içinden açık olan güney tarafına doğru sürüklenme görülmektedir. Su kalitesi değişkenlerinin düzenli takibi ve modelleme programlarının yaygın olarak su ürünleri yetiştiricilik tesislerinde kullanılması, çevresel olumsuzlukların önceden tespiti için önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Sığacık Körfezi, Fiziko-Kimyasal Parametreler, Hydrotam-3D Pro Modelleme Programı



ABSTRACT

INVESTIGATION AND MODELING OF CURRENT SYSTEMS AND ENVIRONMENTAL PARAMETER DYNAMICS IN TUNA CAGE FARM SITE, SIĞACIK BAY

Ragıp Ertuğ YENTÜR

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Doctoral Dissertation in Department of Fisheries Basic Sciences

Advisor: Prof. Dr. Yeşim BÜYÜKATEŞ

05/27/2022, 62

In this study, it is aimed to examine the effects of rapidly developing aquaculture activities on water quality parameters and to support them with a modeling program. The study was carried out seasonally between May 2018 and January 2019 at the determined stations (Cage and Reference Stations) in a tuna farming facility located in Sığacık Bay, Seferihisar district of İzmir. Wind climate, wave climate, hydrodynamic and water quality sub-models of the HYDROTAM-3D Pro modeling program applied in many coastal areas in Turkey were run. The data of the physico-chemical variables (Temperature, salinity, dissolved oxygen, suspended solids, chlorophyll-*a* and nutrient salts) in the surface, middle and bottom layers of the cage and reference stations were analyzed statistically (SPSS, 2021, Pearson Correlation analysis), and the values were determined. found to be close to each other. In addition, the results of the physico-chemical variables obtained from the determined stations were also compared with the results of the water quality submodel and it was seen that the results were compatible. In the wind climate submodel; According to the archive data of the ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts) in Sığacık Bay, it has been seen that the wind direction is predominantly from the North (N) direction with the 6-hour offshore wind forecasts. In the wave climate submodel, wave modeling was performed with ECMWF wind data. Using the CEM empirical method in the study, it is seen that the dominant wave direction is north (N). In the current submodel; Wind data of ECMWF, temperature and salinity data obtained in Sığacık Bay during the study period were used for density. According to the results of the current modeling, it can be said that the surface waters in the Sığacık Bay are predominantly moving towards the

southwest (SW) direction, and it can be mentioned that there is a drift from the bay towards the open south side. Regular monitoring of water quality variables and the widespread use of modeling programs in aquaculture facilities can be recommended for pre-detection of environmental problems.

Keywords: Sığacık Bay, Physico-Chemical Parameters, Hydrotam-3d Pro Programme



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ETİK BEYAN.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi

BİRİNCİ BÖLÜM GİRİŞ

İKİNCİ BÖLÜM ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

3

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM MATERYAL VE YÖNTEM

7

3.1. Çalışma Alanı.....	7
3.2. Örneklemeye Çalışmaları.....	7
3.2.1 Analiz İşlemleri.....	8
3.2.2 İstatiksel Analizler	11
3.2.3 Modelleme Çalışması	11

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ARAŞTIRMA BULGULARI

17

4.1. Fiziko-kimyasal ve biyolojik değişkenler.....	17
4.1.1 Fiziko-kimyasal ve biyolojik değişkenlerin istatiksel olarak değerlendirilmesi.....	22
4.2. Modelleme Çalışmaları.....	27
4.2.1 Rüzgâr iklimi alt modeli.....	27
Uzun Dönem ve En Büyük Değer Rüzgâr İstatistiği.....	28

4.2.2 Dalga İklimi Alt Modeli.....	31
4.2.3 Akıntı Alt Modeli.....	35
4.2.4 Su Kalitesi Alt Modeli.....	42
Azot biyokimyasal döngüsü.....	42
Fosfor biyokimyasal döngüsü.....	48
Oksijen biyokimyasal döngüsü.....	52

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ ve ÖNERİLER 54

KAYNAKÇA	57
EKLER	I
EK 1.....	I

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	Yüzde
‰	Binde
sn	Saniye
dk	Dakika
sa	Saat
°C	Santigrat derece
g	Gram
m	Metre
mm	Milimetre
mg	Miligram
µm	Mikrometre
L	Litre
ml	Mililitre
m ³	Metreküp
µg	Mikrogram
N	Azot
N	Normalite
NH ₄ ⁺	Amonyum
NO ₂ ⁻	Nitrit
NO ₃ ⁻	Nitrat
TP	Toplam Fosfor
PO ₄ ⁻³	Orto-fosfat
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ERA	ECMWF reanalysis
CEM	Coastal Engineering Manual

TABLULAR DİZİNİ

Tablo no	Tablo adı	Sayfa no
Tablo 1.	Modelde benzetimi gerçekleştirilen ekolojik parametreler	13
Tablo 2.	Kafes ve referans istasyonlarındaki sıcaklık, tuzluluk, çözünmüş oksijen, klorofil- <i>a</i> , AKM miktarlarındaki değişim (Mayıs 2018-Ocak 2019)	19
Tablo 3.	Kafes ve referans istasyonlarındaki toplam fosfor, orto-fosfat, toplam azot, amonyum, nitrit, nitrat ve silikat miktarlarındaki değişim (Mayıs 2018-Ocak 2019)	20
Tablo 4.	Sıcaklık, tuzluluk, ÇO, klorofil- <i>a</i> , AKM değişkenlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi (Pearson korelasyonu, SPSS2021).....	23
Tablo 5.	Silikat, TP, TN, nitrat değerlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi (Pearson korelasyonu, SPSS 2021)	24
Tablo 6.	Etkin dalga kabarma Mesafeleri (Feç) (km).....	31
Tablo 7.	ECMWF Operasyonel arşiv 36,1 N-26,7 E koordinatı yineleme sürelerine belirgin dalga yüksekliği.....	35

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil no	Şekil adı	Sayfa no
Şekil 1.	Örnekleme istasyonlarının konumu	7
Şekil 2.	HYDROTAM-3D alt modelleri (HYDROTAM-3D, 2019).....	11
Şekil 3.	Sudaki azot döngüsü ve döngüyü oluşturan süreçler	14
Şekil 4.	Sudaki fosfor döngüsü ve döngüyü oluşturan süreçler	15
Şekil 5.	Oksijen biyokimyasal döngüsü ve döngüyü oluşturan süreçler.....	15
Şekil 6.	Seferihisar Meteoroloji istasyonu (kara istasyonu) ve ECMWF Rüzgâr verilerinin kullanılacağı nokta 38.1 N, 26.7 E (HYDROTAM-3D Pro, 2022).....	27
Şekil 7.	ECMWF ve Seferihisar Meteoroloji İstasyonları rüzgâr verilerinin ilişkisi (HYDROTAM-3D Pro, 2022).....	28
Şekil 8.	ECMWF operasyonel arşiv 38.1 N, 26.7 E koordinatı için yıllık ve mevsimsel rüzgâr gülleri (HYDROTAM-3D Pro, 2022).....	29
Şekil 9.	ECMWF operasyonel arşiv verisi 38.1 N, 26.7 E koordinatı için yıllara göre en yüksek rüzgâr hızları ve esme yönleri (HYDROTAM-3D Pro, 2022)	30
Şekil 10.	ECMWF operasyonel arşiv verisi 38.1 N, 26.7 E koordinatı için aylık ortalama ve en büyük değer rüzgâr hızları (HYDROTAM-3D Pro, 2022).....	30
Şekil 11.	ECMWF Operasyonel Arşiv 38,1-26,7 E koordinatı için yönlere göre dalga kabarma mesafeleri (HYDROTAM-3D Pro, 2022)	31
Şekil 12.	Hs–T Saçılma Grafiği (HYDROTAM-3D Pro, 2022).....	32
Şekil 13.	Hs–Tm Bağıntısı Grafiği (HYDROTAM-3D Pro, 2022)	32
Şekil 14.	Aylık ortalama ve en uç değer belirgin dalga yüksekliği (HYDROTAM-3D Pro, 2022).....	33
Şekil 15.	Yıllık ve mevsimlik dalga gülü (HYDROTAM-3D Pro, 2022)	34
Şekil 16.	En büyük değer dalga istatistiği (HYDROTAM-3D Pro, 2022).....	34
Şekil 17.	Akıntı düzeni modelleme alanı su derinlikleri-Sığacık Körfezi (HYDROTAM-3D Pro, 2022).....	36

Şekil 18. Modelleme alanı çözüm ağı-Sığacık Körfezi (HYDROTAM-3D Pro, 2022).....	36
Şekil 19. Yıllık yüzey tabakası (a.) ve taban tabakası (b.) akıntı gülü (HYDROTAM-3D Pro, 2022).....	37
Şekil 20. 13.05.2018 tarihinde 10,01 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde derinlik boyunca akıntı hızlarının değişimi	39
Şekil 21. 10.08.2018 tarihinde 11,7 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde derinlik boyunca akıntı hızlarının değişimi	39
Şekil 22. 23.11.2018 tarihinde 13,6 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde derinlik boyunca akıntı hızlarının değişimi	40
Şekil 23. 15.01.2019 tarihinde 14,4 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde derinlik boyunca akıntı hızlarının değişimi	40
Şekil 24. Çalışmanın yapıldığı dönemde, amonyum (NH ₄) (a.), nitrit (NO ₂) (b.) ve nitrat (NO ₃) (c.) konsantrasyonundaki değişim (HYDROTAM 3D Pro, 2022)	43
Şekil 25. 13.05.2018 tarihinde 10,01 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde; amonyum (NH ₄) (a.), nitrit (NO ₂) (b.) ve nitrat (NO ₃) (c.) miktarının yüzeysel değişimi (HYDROTAM 3D Pro, 2022)	44
Şekil 26. 10.08.2018 tarihinde 11,7 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde; amonyum (NH ₄) (a.), nitrit (NO ₂) (b.) ve nitrat (NO ₃) (c.) miktarının yüzeysel değişimi (HYDROTAM 3D Pro, 2022)	45
Şekil 27. 23.11.2018 tarihinde 13,6 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde; amonyum (NH ₄) (a.), nitrit (NO ₂) (b.) ve nitrat (NO ₃) (c.) miktarının yüzeysel değişimi (HYDROTAM 3D Pro, 2022)	46
Şekil 28. 15.01.2019 tarihinde 14,4 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde; amonyum (NH ₄) (a.), nitrit (NO ₂) (b.) ve nitrat (NO ₃) (c.) miktarının yüzeysel değişimi (HYDROTAM 3D Pro, 2022)	47
Şekil 29. Çalışmanın yapıldığı dönemde, inorganik fosfor konsantrasyonundaki değişim (HYDROTAM 3D Pro, 2022)	48
Şekil 30. Çalışmanın yapıldığı dönemde Korunumlu çözünmüş organik fosfor konsantrasyonundaki değişim (HYDROTAM 3D Pro, 2022)	49
Şekil 31. 13.05.2018 tarihinde 10,01 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde; inorganik fosfor miktarının yüzeysel değişimi (HYDROTAM 3D Pro,	

2022).....	50
Şekil 32. 10.08.2018 tarihinde 11,7 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde; inorganik fosfor miktarının yüzeysel değişimi (HYDROTAM 3D Pro, 2022).....	50
Şekil 33. 23.11.2018 tarihinde 13,6 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde; inorganik fosfor miktarının yüzeysel değişimi (HYDROTAM 3D Pro, 2022).....	51
Şekil 34. 15.01.2019 tarihinde 14,4 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde; inorganik fosfor miktarının yüzeysel değişimi (HYDROTAM 3D Pro, 2022).....	51
Şekil 35. Çalışmanın yapıldığı dönemde çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki değişim (HYDROTAM 3D Pro, 2022)	52
Şekil 36. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun yüzeysel değişimi(HYDROTAM 3D Pro, 2022)	53

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Su ürünleri üretimindeki artış ile birlikte, açık denizlerde yapılan balık yetiştiriciliğinin denizel ekosisteme olan etkileri ile ilgili tereddütler mevcuttur. Kafes balığı yetiştiriciliği sırasında, balık yemi girişi su kalitesinde değişime neden olan başlıca etkidir. Yem kısmen kültür balıklarınca proteine dönüştürülürken yaklaşık % 30'u katı atık olarak doğal ortama bırakılır (Miller ve Semmens, 2002). Kafes balıkçılığının yapıldığı ortam kapalı koy içerisinde ve ortamdaki su sirkülasyonu yeterli derecede değilse, o durumda azotlu bileşenlerin deniz tabanında zaman içerisinde birikimi söz konusu olabilir. Kafeslerde balık yetiştiriciliği işletmenin büyüklüğüne, yönetimine, yetiştiricilik yapılan alanın akıntı hızına, şekli ve su değişim oranı gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Barg, 1992; Gowen, vd., 1987; Okumuş, 1997a; Okumuş, 1997b). Su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliğinin sağlanması için, üretimden kaynaklı çevresel etkilerin minimum seviyede tutulması önemlidir. Yetiştiriciliğin yapıldığı ortamdaki fiziko-kimyasal su kalitesi değişkenlerinin takibi, çevrede oluşabilecek etkilerin önceden belirlenmesini ve daha verimli üretimin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

Denizel ortamda maddelerin yayılımında ve dağılımında akıntılar önemli rol oynar. Akıntıları; rüzgârlar, coriolis kuvveti, dalgalar, gelgitler ve yoğunluk farklılıkları oluşturmaktadır. Yüzeydeki su alanının, su derinliğine göre fazla olduğu Körfez suları, akıntı döngülerinin yatay ve düşey yönlerdeki türbülans yoğunluğunu büyük oranda farklılaşmaktadır (Balas ve Özhan, 2002).

Yapılan bu çalışma; yetiştiricilik tesisinin fiziko-kimyasal su kalitesi değişkenlerinin izlenmesi ve benzetiminin yapılması ile çalışılan bölgeye projeksiyon sağlaması açısından özgün değer taşımaktadır. Son yıllarda hızla gelişmekte olan bilişim teknolojisi imkânlarına bağlı olarak, modelleme çalışmaları sucul sistemdeki değişimlerin tahmininde kullanılmaktadır (Yılmaz, 2018). Çalışmada yer alan çevreyle ilişkili modelleme sistemini ileride diğer yetiştiricilik tesislerinde de kullanarak, hem ülke ekonomisine katkıda bulunulması, hem de artan dünya nüfusunun önemli besin kaynağının, çevreye duyarlı bir şekilde üretilmesine yardımcı olunması hedeflenmektedir.

Orkinos ağ kafes işletmesinde akıntı ve çevresel parametre dinamiğinin incelenmesi ve modellenmesi ile;

- Çalışma döneminde elde edilen fiziko-kimyasal değişkenlere ait verilerin modelleme programı ile desteklenerek değişiminin belirlenmesi,
- Çalışma dönemindeki en yüksek rüzgâr hızında; akıntı yönündeki ve hızındaki değişimin belirlenmesi,
- Çalışılan bölgenin rüzgâr karakteristiğinin, akıntı desenleri üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.



İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Hızlı gelişen açık deniz su ürünleri yetiştiricilik faaliyetlerinin, su kalitesi üzerine etkileri ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Çalışmanın yapıldığı Ege Denizi özelinde gerçekleştirilen çalışmalarda; Kampouris, vd., 2008, Kuzey Ege Denizi'nde büyük ölçekli bir açık deniz su ürünleri yetiştiricilik tesisinde, 2015-2017 tarihleri arasında fiziko-kimyasal değişkenleri inceleyerek, açık denizde su ürünleri yetiştiriciliğinin hassas ve risk altındaki kıyusal ekosistemlerdeki baskıyı azalttığını ifade etmişlerdir. Pitta, vd., 1999, Ege ve İyonya denizinde üç farklı balık çiftliğinde besin tuzları, organik karbon, klorofil-*a* ve planktonik organizmalardaki değişimleri dönemsel olarak araştırmışlardır. Besin tuzlarındaki artışın ötrofikasyona neden olabileceğini, büyük çapta oluşabilecek ötrofikasyonun balık yetiştiriciliğini engelleyeceğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte yetiştiricilik tesisinin kurulacağı alanın seçiminde dikkatli olunması ve sağlam temelli yönetim sisteminin oluşturulmasının gerekliliğini vurgulamışlardır.

Ülkemizde ağ kafeslerde balık yetiştiriciliği faaliyetleri, 1980'lerde başlamıştır. Planlama yapılmadan, hızlı bir şekilde artan balık çiftlikleri birçok çevresel sorunlara neden olmuştur. Son yıllarda yetiştiricilik teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak daha yoğun ve verimli üretim yapılmasına imkân sağlayan açık deniz ağ kafes sistemleri artarak, ağ kafes yetiştiriciliğine ivme kazandırmıştır (Kaymakçı-Başaran, vd., 2007). Aksu, vd. (2016); Akdeniz'de mavi yüzgeçli orkinos yetiştiriciliğinin 1990'ların ortalarında başlamış olduğunu ve orkinos yetiştiriciliğinin artması sonucu, denizel ekosisteme etkileri ile ilgili tereddütler oluştuğunu ifade ederek, "Doğu Akdeniz'de Kıyı Ötesi Mavi Yüzgeçli Orkinos Besiciliğinin Su Kalitesine Etkileri" başlıklı yapmış oldukları çalışmada, Gerence Körfezi'nde bulunan bir orkinos çiftliğinin su kolonu ve dip yapısındaki değişimi incelemişlerdir. Yapılan araştırmada, fiziko-kimyasal ve biyolojik değişkenler ile sedimentteki organik karbon değişkenleri, 2011-2012 yılları arasında mevsimsel olarak ölçülmüştür. Su kolonundaki fiziko-kimyasal değişkenler ve klorofil-*a* ile sedimentteki organik karbon değerleri, orkinos yetiştiriciliğinin etkilerinin önemli seviyelerde bulunmadığını göstermiştir.

Su ürünleri yetiştiricilik faaliyetlerinin suyun fiziko-kimyasal parametreleri üzerine etkileri ile ilgili, bölgede birçok çalışma yapılmıştır. Sığacık Körfezi'nde (Palta, vd., 2010,

Yiğit, vd., 2020, Gürses, vd., 2019), Engeceli Koyu'nda (Yücel-Gier, vd., 2007), Ildır Koyu'nda (Kaymakçı-Başaran, vd., 2007, Çulha, vd., 2020), Gerence Körfezi'nde (Palta, vd., 2010, Aksu, vd., 2009) Karaburun Yarımadası'nda (Yabanlı ve Egemen, 2009) ve Güllük Körfezi'nde (Başaran, vd., 2009) yapılan çalışmalarda genel olarak yetiştiricilik faaliyetlerinin, tesis çevresindeki belirli bir alanı sınırlı olarak etkilediği belirtilmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında diğer çalışmalardan farklı olarak, fiziko-kimyasal değişkenlerdeki değişim, modelleme programı ile desteklenerek incelenmiştir.

1970'li yıllardan itibaren Amerika Birleşik Devleti'nde (ABD), kıyı sularda su kalitesi parametreleri konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan modeller, ABD mevzuatlarına göre kıyusal sulardaki kirlilik miktarlarının zamanla değişimini sayısal olarak gerçekleştirmektedir. 1997 yılında İskoçya'da Gillibrand ve Turrell; balık yetiştiriciliğinin su kalitesine etkilerini ve besin tuzlarını modelleyerek, balık çiftliklerinin etkilerinin minimal düzeyde olabileceği, hasas alanlardan uzakta kurulmasının gerekliliğinden bahsetmiştir. Wu, vd., 1999, yaptıkları çalışmada sub-tropikal alanlardaki yetiştiricilik tesislerinin hidrografi verilerinden ve su kalitesi koşullarından yararlanarak modelleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Deniz balıklarının yetiştiriciliğinde, çevresel etki modellerinin; stok miktarlarının, değişen yem ve kültür türlerinin etkilerinin belirlenmesinde ve kıyı bölgelerinde uygun kültür alanlarının bulunması için uygulanabilirliğini ifade etmişlerdir.

Ülkemizde yapılan modelleme çalışmalarında; Eronat (2017), 2011 yılında İzmir Körfezi'nin fiziksel oşinografik yapısı üzerine yapmış olduğu çalışmada, sıcaklığa ve tuzluluğa bağlı, yoğunluk dağılımlarını ve hakim rüzgâr yönlerini kullanarak uygulamış olduğu KILLWORTH Ocean General Circulation Model (OGCM) ile mevsimsel olarak akıntı desenlerini araştırmıştır. Modelleme programında kuzey ve güneydoğu yönlerinden esen rüzgarların etkisi altında, akıntıların rüzgara bağlı olarak sürüklenme yönlerinde değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Çalışmanın yapıldığı Sığacık Körfezinde, 2007-2010 yılları arasında üç yıl süreyle yürütülen “Su Ürünleri Yetiştiricilik İşletmelerinin Denizel Ekosisteme olan Etkilerinin Belirlenmesi” (Proje No: 105G038) adlı TUBITAK araştırma projesinde, bu bölgede aylık akıntı ölçüm çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda; Körfeze su girişinin yüzey tabakadan, deşarjının da derin tabakadan olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, Körfez içinde iki

adet anti-siklonik döngü bulunduğu görülmüştür (Palta, vd., 2010).

Sepil A., (2011); Gerence, Mersinli ve Sığacık Körfezlerinde denizel ağ-kafes çiftliklerinin çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla modelleme çalışması yapmıştır. Çalışmada, DEPOMOD programını kullanarak Gerence ve Sığacık Körfezi'nde izlenen akıntı değişimlerinin ve hızlarının; organik materyallerin kalıcılığını ve muhtemel etkileri azaltıcı seviyede olduğunu belirtmiştir.

Bu tez çalışmasında uygulanan HYDROTAM-3D modelleme programı, Fethiye (Küçükosmanoğlu, vd., 2003), İzmir körfezleri (Özhan ve Balas, 1992), Göksu Lagünü (Yılmaz, vd., 2015), Marmaris (Balas, 2001), Bodrum (Balas, vd., 2004), Ölüdeniz körfezleri, Belceğiz (İnan ve Balas, 2002), Kemer, Çamyuva, Göynük, Belek, Mersin, İskenderun, İzmit, Antalya (Cebe ve Balas, 2010), Cardiff, Karasu, Kaş (Cebe ve Balas, 2013), Fethiye (Cebe ve Balas, 2015; Cebe, vd., 2015) ve Gökova körfezlerinde de uygulanmıştır (Balas, vd., 2011). Türkiye kıyılarına ait su kalitesi parametrelerinin benzetimi amacıyla hazırlanan su kalitesi modelinde, USEPA (1985), Chapra (1997), Jorgensen ve Bendoricchio (2001) çalışmalarında ortaya koyulan parametreler ve bunlara ait kütle korunum denklemleri ile girdi-çıktıları etkileyen canlı ve değişkenlerin korunum denklemleri bir arada çözülmüştür. Su ortamındaki ekolojik sistemlerin modellenmesi için bir kılavuz belge hazırlamak amacıyla USEPA (1985) tarafından yayınlanan "Rates, Constants and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling" raporunda su ortamına ait temel ekolojik döngülere ait kütle korunum denklemleri ve organizmaların artış, ölüm ve avlanma gibi temel yaşamsal işlevlerine ait parametrelere yer verilmiştir. Su kalitesi modellemesinde; ortamdaki azot, fosfor ve oksijen döngüleri çözümlenerek su kalitesi parametrelerinin değişimleri modellenmektedir. Deniz ve tatlı su ortamındaki su kalitesi parametrelerinin benzetimini gerçekleştirebilmek için su ortamındaki ekolojik sisteme ait temel değişken ve döngülerin modellenmesi gerekmektedir (Cebe, vd., 2016).

Ülkemiz kıyılarında su kalitesi modellemesi çalışmaları, henüz üzerine fazla çalışma yapılmamış bir alandır. Türkiye kıyılarında su kalitesi ile ilgili olarak yapılan çalışmalar daha çok parametrelerin izlenmesi ya da mevcut su kalitesi modellerinin belirli bölgelere uygulanmasından ibarettir (Cebe, 2016). Türkiye kıyılarında olası sorunları ortaya çıkmadan tespit edebilmek için akıntı sistemleri ile birlikte su kalitesi parametrelerinin sayısal olarak modellenmesi gerekmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında,

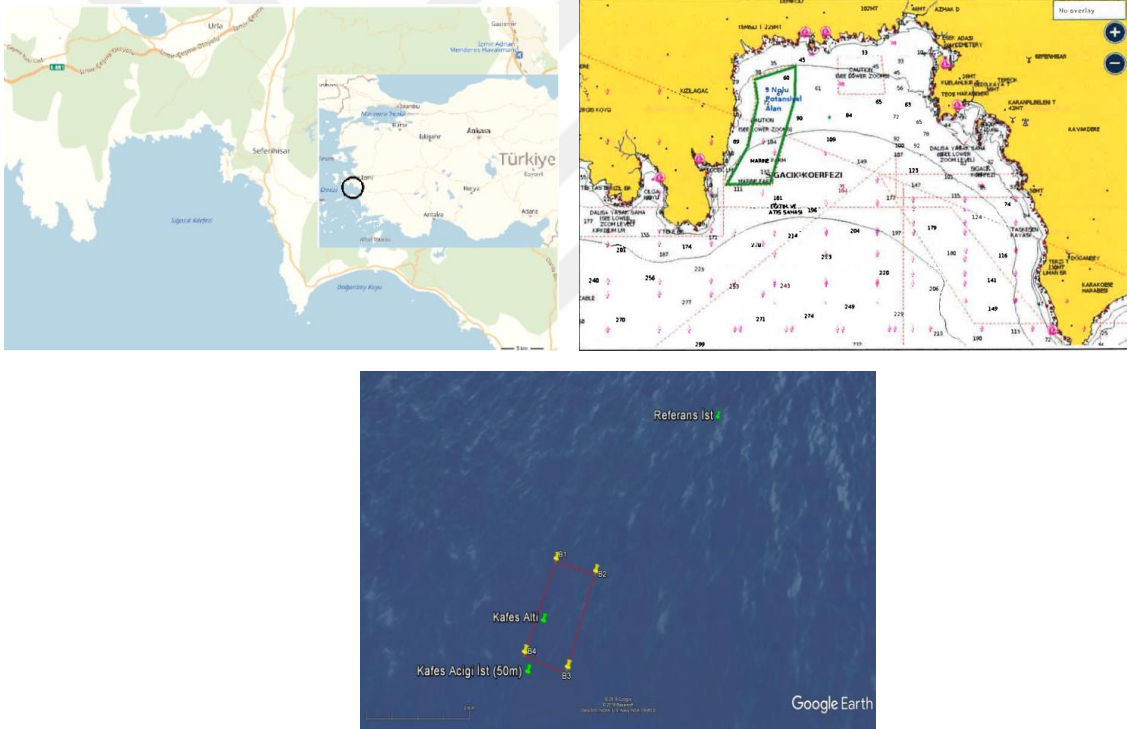
saha çalışmaları ile elde edilen fiziko-kimyasal değişkenlere ait veriler ile modelleme sonuçlarının karşılaştırılması, dağılımda aktif rol oynayan akıntı sistemlerinin incelenmesi ve su kalitesi parametreleri ile ilişkilendirilmesi literatürde önemli bir boşluğun doldurulmasını sağlayacaktır.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

İzmir ili, Seferihisar ilçesi, Sığacık Körfezi'nde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın ilgili kurum ve kuruluşlar iş birliğiyle tespit ve ilan ettiği 9 No'lu Su Ürünleri Üretimi potansiyel alanı içerisindeki Başaranlar Su Ürünleri Ltd. Şti.'ne ait Orkinos çiftliği ve yakın çevresi, çalışma sahasını oluşturmaktadır (Şekil 1.). Sığacık Körfezi'nin batı kıyılarındaki yer alan 900 ton/yıl kapasiteli Başaranlar Orkinos çiftliği, kıyıdan yaklaşık 6 deniz mili uzaklıkta ve 80 m derinlikte bulunmaktadır ($38^{\circ}9',58''$ N- $26^{\circ}40',17''$ E).



Şekil 1. Örneklemeye istasyonlarının konumu

3.2. Örneklemeye Çalışmaları

Bu çalışma, bölgede belirlenen iki farklı istasyonda (Kafes ve Referans istasyonu), Mayıs 2018-Ocak 2019 tarihleri arasında mevsimsel olarak gerçekleştirilmiştir. Örneklemeye yapılan istasyonlarda sıcaklık, tuzluluk, çözünmüş oksijen miktarı gibi temel su kalitesi değişkenleri YSI 600QS model çoklu prob sistemi ile yerinde ölçülmüştür. Klorofil-*a*, askıda katı madde (AKM) ve besin tuzları analizi için su örnekleri mevsimsel olarak

yüzey, orta su ve dip suyundan 5 L Nansen şişesi kullanılarak alınmıştır. Yapılan tez çalışmasında, Mayıs 2018-Ocak 2019 tarihleri arasında mevsimsel olarak alınan su örneklerine ait; sıcaklık, tuzluluk, çözünmüş oksijen miktarı, klorofil-*a*, askıda katı madde (AKM), silikat (SiO₂), Orto-fosfat (PO₄⁻³), toplam fosfor (TP), nitrit (NO₂⁻), nitrat (NO₃⁻), amonyum (NH₄⁺) ve toplam azot (TN) değişkenleri kullanılmıştır.

Çalışma sahasında kurulan, “Online Akıntı İzleme İstasyonundan” akıntı verilerinin düzenli olarak takibi ve kayıtlanması, Flowmeter Pro EFM 331 electromagnetic akıntı ölçer cihazı ile 5 m derinlikte, 30 dakikalık periyodlarla 24 saat süreyle Online olarak yapılmaktadır.

3.2.1. Analiz İşlemleri

Klorofil-*a*, askıda katı madde, silikat, orto-fosfat, toplam fosfor, nitrit, nitrat, amonyum ve toplam azot miktarının belirlenmesi için, belirlenen istasyonlardan ve derinliklerden (yüzey, orta ve dip tabaka) mevsimsel olarak birer kez örnekleme yapıldı. Alınan deniz suyu örnekleri, GEMAR Çevre Ölçüm ve Analiz İş Sağlığı ve Güvenliği Jeoloji Madencilik İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti. Laboratuvarına getirilerek, analizler ISO, EPA, TS ve EN standartları kapsamında gerçekleştirildi. Klorofil-*a*, AKM, silikat, amonyum, nitrit, nitrat, toplam fosfor ve orto-fosfat analizleri spektrofotometrik yöntem kullanılarak yapıldı.

Askıda Katı Madde

İşığın suda dağılımı ile birlikte, birçok değişkenin de farklılaşmasına sebep olan partikül materyalleri ifade eden, toplam AKM miktarının tespiti için GF/C filtre kağıtları kullanıldı. 30 ml saf su ile 3 kere süzülerek, 105 °C'de 2-3 saat kurutuldu ve sonrasında tartıldı. GF/C filtre kağıtlarından 500 ml'lik hacimlerde alınan su numuneleri süzüldü. İşlem sonrasında 10 ml saf su ile 3 kere tekrar süzüldü. Etüvde 12 saat 105 °C 'de bir kez daha kurutulan filtre kağıtları, biriken katı madde ile birlikte hassas terazide tartılarak ölçüldü (Clesceri, vd., 1998).

AKM (mg/l.) = [(Kuru ağırlık (mg) - (Filtre darası) (mg)) x 1000] / Numune hacmi (ml)

Klorofil-a

Birincil üretimin bir göstergesi olan klorofil-*a* konsantrasyonunun belirlenmesi için su örnekleri 5 L Nansen şişesi kullanılarak belirlenen derinliklerden alındı. Analizler için, 1,5 L'lik su örnekleri örnekleme alanında vakumlu süzme düzeneğinde 47 mm GF/F filtre kağıdı kullanılarak süzüldü, süzme işleminden sonra filtre kağıtları cam tüplere konulup alüminyum folyoya sarılarak analize kadar derin dondurucuda saklandı.

Laboratuvara getirilen örneklere 10 ml %90'lık aseton ilave edilip, ağızları kapatılarak 24 saat buzdolabında bekletildi. Buzdolabından çıkarılan örneklerde ezme işlemi uygulandı, 2000-3000 rpm'de 10 dakika santrifüj edildikten sonra üstteki berrak sıvı otomatik pipetle alınarak spektrofotometre küvetine boşaltıldı. Okumalarda kör olarak %90'lık aseton kullanıldı. Örnekler, 750 nm, 665 nm, 645 nm ve 630 nm dalga boyunda okundu. 750 nm'de okunan değer düzeltme değeri olup, bulanıklıktan meydana gelebilecek hataların giderilebilmesi için, bu dalga boyunda okunan değer, 665, 645 ve 630 nm'de okunan değerlerden çıkarıldı (APHA, 1995).

$$\text{Klorofil-}a = 11.64(OD665) - 2.16(OD645) - 0.10(OD630)$$

$$\text{Klorofil-}a = (\text{Klorofil-}a \times \text{aseton hacmi}) / \text{Süzülen su örneğinin hacmi}$$

Silikat

Analiz için su numuneleri oda sıcaklığında bulunması gerekmektedir. 50 ml'lik dereceli silindire 10 ml molibdat solüsyonu eklendi, üzerine 25 ml'lik su örneği ilave edilerek, karıştırıldıktan sonra 10 dk beklendi (bekleme süresi 30 dk fazla olmamalıdır). Sonrasında, 50 ml'ye tamamlanmak üzere, indirgenme reaktifi ilave edilerek karıştırıldı. İndirgenmenin sona ermesi için 2-3 saat beklendi ve spektrofotometre ile 810 nm dalga boyunda ölçüm yapıldı (Strickland ve Parsons, 1972).

Nitrit Azotu

50 ml numune alınarak, 1 ml sulfanilamide ($C_6H_8N_2O_2S$) ve 1 ml Naftiletilediamin dihidroklorid ($C_{12}H_{16}Cl_2N_2$) eklendi. 10 dk-2 sa arası renk oluşumu oluncaya kadar beklendi ve 543 nm dalga boyunda Spektrofotometre ile okutma yapıldı (Strickland ve Parsons, 1972).

Nitrat Azotu

Nitrat azotu analizleri için numunelerin pH'sı asetik asitle (CH_3COOH) ya da sodyum hidroksitle (NaOH) yaklaşık olarak 7'ye ayarlandı. Örnek tüplerine 10 ml numunelerden konulup tüpler soğuk su banyosuna yerleştirildi ($0-10^\circ\text{C}$). Her tüpe 10 ml sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltisi eklenip karıştırıcı ile karıştırıldı. Tüpler soğuk banyoda ısısal dengeye gelmesi için bırakıldı. Devam etmeden önce bütün tüplerdeki sıcaklıkların dengelendiğinden emin olundu ($0-10^\circ\text{C}$). Her tüpe 0,5 ml bucine-sülfanilik asit ($\text{C}_{23}\text{H}_{26}\text{N}_2\text{O}_4$) reaktifi eklenip dikkatlice karıştırıldı. Daha sonra tüpler 100°C 'deki su banyosuna yerleştirildi, tam olarak 25 dakika tutuldu. Tüpler sıcak su banyosundan alınarak, soğuk su banyosuna daldırıldı. Denge sıcaklığına ulaşmak için bekletilerek ($20-25^\circ\text{C}$) ve 410 nm dalga boyunda Spektrofotometre ile okutma yapıldı (Strickland ve Parsons, 1972).

Amonyum Azotu

50 ml numune mezüre alınarak, 1 ml fenol çözeltisi eklendi. 1 ml sodyum nitroprusside çözeltisi ve 2,5 ml oksidasyon çözeltisi eklenip numuneler parafilmle kapatıldı. 1 saat beklendikten sonra 640 nm dalga boyunda Spektrofotometre ile okutma yapıldı (Strickland ve Parsons, 1972).

Toplam Fosfor

50 ml numune behere konularak, 1-2 damla fenolftalien ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$) eklendi. Pembe renk giderilene kadar 5 N sülfürik asit çözeltisi ilave edildi. Daha sonra 1 ml 5 N sülfürik asit çözeltisi ve 0,5 g potasyum peroksidi sülfat ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) eklendi. Beherin içindeki karışım 10 ml olana kadar çözelti çeker ocakta kaynamadan buharlaştırılıp, 10 ml olunca oda sıcaklığına getirildi. Hacim 30 ml olacak şekilde saf su ve 1 damla fenolftalien eklendikten sonra pembe renk olana kadar sodyum hidroksit eklendi. Pembe rengi geçene kadar 1-2 damla 5 N sülfürik asit eklenip hacim 50 ml olacak şekilde saf suyla tamamlandı. 8 ml kombine reaktif ilave edildi ve 30 dakika beklenilerek, 880 nm dalga boyunda Spektrofotometre ile okutma yapıldı (Strickland ve Parsons, 1972).

Ortofosfat

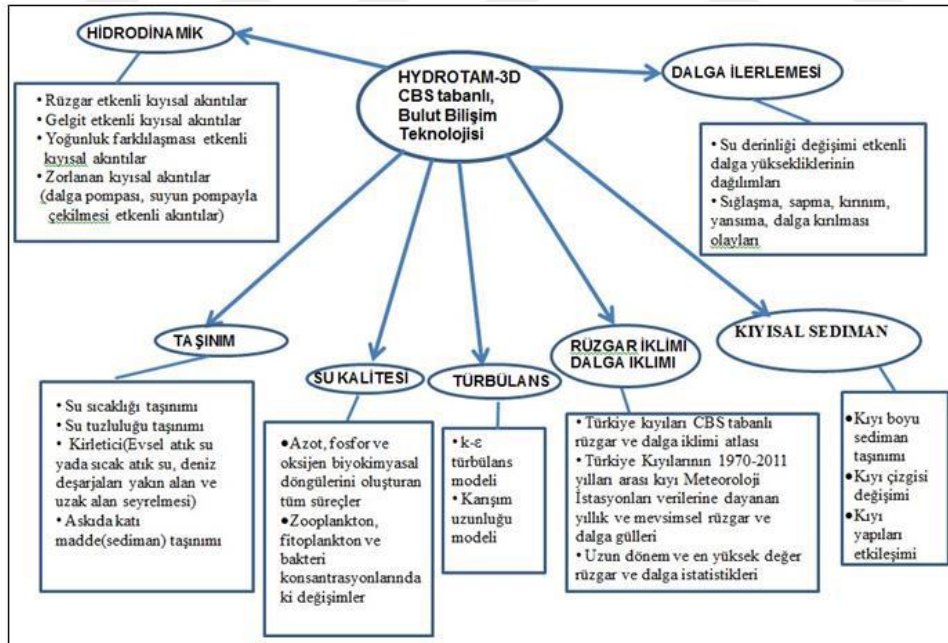
50 ml su numunesine, 8 ml kombine reaktif çözeltisi ilave edilerek karıştırıldı, 30 dk beklendi. 880 nm dalga boyunda Spektrofotometre ile ölçüm yapıldı (Strickland ve Parsons, 1972).

3.2.2. İstatiksel Analizler

Yapılan tez çalışmasında, SPSS Inc., 2021 (version 28.0.1.1) istatistik programında bulunan “Pearson Korelasyon Analizi” uygulanmıştır. Kafes ve referans istasyonlarındaki sıcaklık, tuzluluk, çözülmüş oksijen, klorofil-*a*, AKM, silikat, toplam fosfor, toplam azot ve nitrat arasında yapılan Pearson Korelasyonunda, söz konusu istasyonlara ait fiziko-kimyasal değişkenlerin birbirlerine olan etkilerini ve ilişkilerini belirlemek amaçlanmıştır.

3.2.3. Modelleme Çalışması

Modelleme programı olarak, Gazi Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Lale BALAS tarafından geliştirilen ve 2022 yılında güncellenen HYDROTAM-3D Pro yazılım programı kullanılmıştır. HYDROTAM-3D modeli, Türkiye’de birden fazla kıyusal alana uyarlanmış olup, bulut bilişim mimarisini kullanmaktadır (HYDROTAM-3D, 2019; Yılmaz, 2018; Fidanoglu, vd., 2017; Cebe ve Balas, 2016). Modelleme programı Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı olması nedeniyle, Türkiye kıyılarına ait batimetrik haritalar mevcuttur (Balas, vd., 2013). HYDROTAM-3D’nin alt modelleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. HYDROTAM-3D alt modelleri (HYDROTAM-3D, 2019)

Yapılan tez çalışmasında; rüzgâr iklimi, dalga iklimi, hidrodinamik ve su kalitesi alt modelleri kullanılmıştır.

Rüzgâr iklimi alt modelinde; modelleme programının veri tabanında Türkiye kıyılarındaki 1970-2016 yılları arasındaki meteoroloji verileri, saatlik olarak rüzgâr hızı ve yönü yer almaktadır. Diğer veri seti ise ECMWF'in 2000-2019 yılları arasında bulunan 0.10x0.10 derecelik aralıklarla konumlanmış, Türkiye kıyılarına ait 6'şar saatlik ölçüm verilerinden oluşmaktadır (Buyruk, 2019; HYDROTAM-3D, 2019). Çalışmanın yapıldığı Sığacık Körfezi'nde Seferihisar Meteoroloji İstasyonuna ait 1973-2014 yılları arasındaki altı saatlik karasal rüzgâr ölçümleri ile 2000-2019 yılları için ECMWF (38.1 N, 26.7 E) koordinatının 6 saatlik deniz üstü rüzgâr tahminleri karşılaştırılmıştır. Her iki veri setinin karşılaştırılmasındaki amaç; çalışmada yer alan akıntı, dalga iklimi ve su kalitesi alt modellerinde girdi olarak kullanılacak rüzgâr veri istasyonu seçimi için, çevresel etkilerden (yükselti, şehirleşme, ağaçlandırma... gibi rüzgarı engelleyecek faktörler) uzak konumda bulunan, denizel rüzgar verilerine sahip ECMWF verilerinin doğruluğunun teyit edilmesidir.

Dalga iklimi alt modelinde; ülkemiz kıyılarına ait uzun dönem dalga verisi bulunmamasından ve Türkiye'deki dalgaların genel olarak rüzgâr kaynaklı olmasından dolayı, rüzgâr verilerinden dalga iklimine ulaşılmıştır (İnan, vd., 2020). Tez çalışmasında, dünyada genel olarak tercih edilen CEM (Coastal Engineering Manual) ampirik modeli kullanılmıştır. Denizde belirlenen noktadan, tüm yönlerde, noktanın karşısındaki karayı kesen dikmenin uzunluğu, o yöndeki dalga kabarma mesafesidir (etkin feç uzunluğu). Tüm ana yönler için $\pm 22,5^0$ aralığında, $7,5^0$ derecelik açılarla dalga kabarma uzunluklarının ortalamaları alınmıştır. Sığacık Körfezi dalga iklimi alt modelinde, model girdileri olarak ECMWF'in operasyonel arşivi (38,1 N-26,7 E) koordinatı verileri kullanılmıştır.

Hidrodinamik alt modeli, taşınım alt modeli ile ilişkili olarak, rüzgârların, dalgaların, coriolis kuvvetinin, gelgit ve/veya yoğunluğun etkisindeki akıntıları ve su düzeyi değişimlerini benzeştirmektedir. Modelde yoğunluk; tuzluluğa, sıcaklığa ve basınca bağlı olarak tanımlanmaktadır (Yılmaz, 2018). Akıntı alt modeli için model girdileri olarak; batimetri ve topografya verileri, rüzgâr şiddeti ve yönü zaman serisi, sıcaklık ve tuzluluğa bağlı yoğunluk verileri, gelgit seviyesi ve periyodu kullanılmıştır. Akıntı modellemesinde, başlangıç zamanında ($t=0$), benzeştirmelere akıntıların bulunmadığı durgun su seviyesi kabul edilerek başlamaktadır. HYDROTAM-3D Pro modeline, su derinliği, topografya, su tuzluluğu, su sıcaklığı ve debi verileri veri tabanından girdi olarak iletilmektedir. Modelde, Türkiye kıyılarında görülen M2 tipi gelgit tanımlanmış, gelgit

dalgası yüksekliği 50 cm ve gelgit periyodu 12 saat olarak uygulanmıştır (Balas ve Özhan, 2002). Deniz suyu sıcaklığı, tuzluluğu ve yoğunluğu alansal ve derinlik boyunca sabit alınmıştır. Sabit değer olarak, örnekleme çalışmalarında mevsimsel olarak ölçülen su sıcaklık ve tuzluluk değerlerinin yüzey, orta ve dip ortalaması kullanılmıştır.

Su kalitesi alt modelinde; azot, fosfor ve oksijen biyokimyasal döngülerini meydana getiren tüm süreçler ve birbirleri ile olan ilişkileri ve bu döngüler ile etkileşimli olarak zooplankton, fitoplankton ve bakteri konsantrasyonlarındaki değişimler çözümlenmektedir. Birincil üretimin büyük bir kısmını gerçekleştiren fitoplankton türleri dışında, birincil tüketimi gerçekleştiren zooplankton türleri ve bozunmadaki rolleri sebebiyle azot döngüsünde önemli bir yeri olan heterotrof bakteri türleri de su kalitesi modelinde temsil edilmiştir. Modelde Türkiye kıyılarındaki ekosistemdeki canlılara ait oran, değişken ve parametreler kullanılmıştır. Modelde benzetimi gerçekleştirilen ekolojik parametreler, tanım ve birimleri Tablo 1.'de gösterilmiştir.

Tablo 1.

Modelde benzetimi gerçekleştirilen ekolojik parametreler

Simge	Tanım	Birim
C ^f	Fitoplankton konsantrasyonu	mgC/l
C ^b	Zooplankton konsantrasyonu	mgC/l
C ^z	Bakteri konsantrasyonu	mgC/l
C ^{NH4}	Amonyum (NH ₄) konsantrasyonu	mgN/l
C ^{NO2}	Nitrit (NO ₂) konsantrasyonu	mgN/l
C ^{NO3}	Nitrat (NO ₃) konsantrasyonu	mgN/l
C ^{PON}	Partikül organik azot (PON) konsantrasyonu	mgN/l
C ^{DONnr}	Korunumsuz çözülmüş organik azot (DONnr) konsantrasyonu	mgN/l
C ^{DONre}	Korunumlu çözülmüş organik azot (DONre) konsantrasyonu	mgN/l
C ^{IP}	İnorganik fosfor (IP) konsantrasyonu	mgP/l
C ^{POP}	Partikül organik fosfor (POP) konsantrasyonu	mgP/l
C ^{DOPnr}	Korunumsuz çözülmüş organik fosfor (DOPnr) konsantrasyonu	mgP/l
C ^{DOPre}	Korunumlu çözülmüş organik fosfor (DOPre) konsantrasyonu	mgP/l
C ^O	Oksijen konsantrasyonu	mgO/l

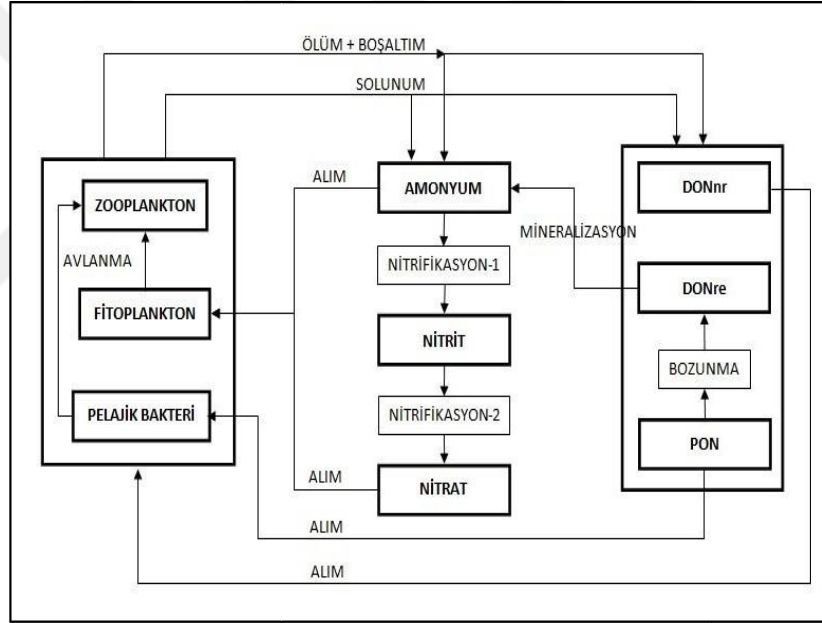
Deniz ve tatlı su ortamında birincil üretimi etkileyen en önemli biyokimyasal döngülerden biri olan azot biyokimyasal döngüsüdür. USEPA'da (1985:257) su ortamında azot döngüsünü oluşturan süreçler;

-Amonifikasyon, organik maddelerin bozunma süreciyle birlikte amonyum (NH_4^+) salınımı.

-Nitrifikasyon, suda bulunan amonyumun oksidasyon ile nitrit (NO_2^-) ve nitrat (NO_3^-) çözeltisine dönüşme süreci.

-Denitrifikasyon, nitratın (NO_3^-) anaerobik koşullarda azot gazına indirgenmesi, amonyum (NH_4^+) ve nitritin (NO_2^-) bitki ve fitoplankton tarafından fotosentetik artış ile alınması. Azot gazının fitoplankton tarafından amonyum bileşikleri olarak bağlanması şeklinde sıralanmıştır.

Modelde benzetimi yapılan azot döngüsünün özeti Şekil 3.'te gösterilen şemada verilmiştir.

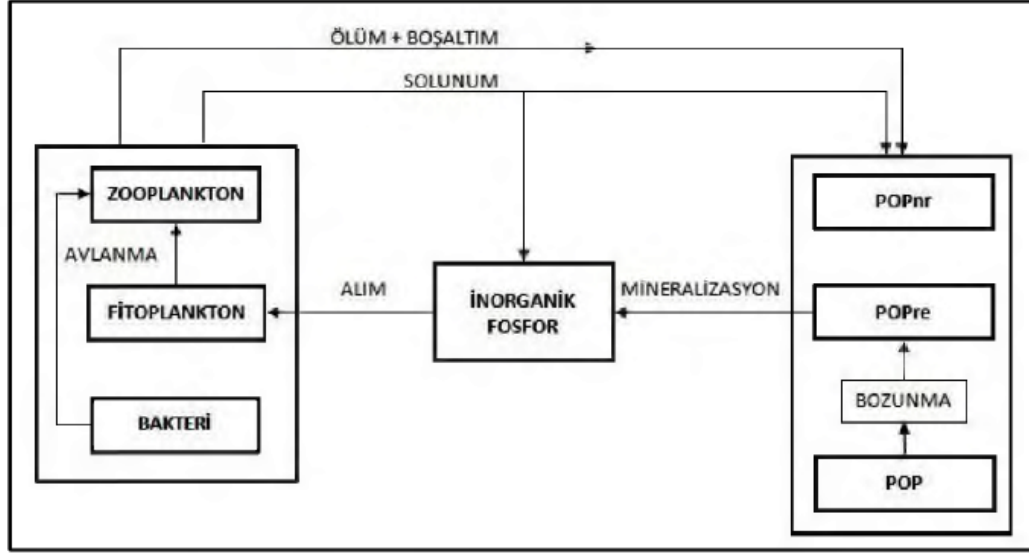


Şekil 3. Sudaki azot döngüsü ve döngüyü oluşturan süreçler

Denizel ortamdaki birincil üretimi etkileyen en önemli biyokimyasal döngülerden biri de fosfor döngüsüdür. Sucul sistemlerdeki fitoplankton yoğunluğunun artmasına neden olan fosforun, yüksek miktarda ortamda bulunması dolaylı olarak ötrifikasyona yol açabilir.

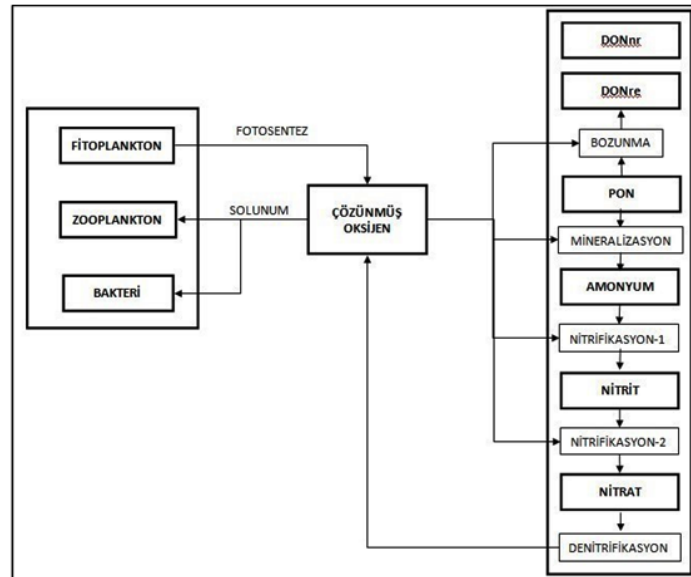
Fitoplankton besini olan inorganik fosfor suda ortofosfat (PO_4^{3-}) molekülleri olarak bulunur. Fitoplankton tarafından besin zincirine alınan fosfor, fitoplankton ve avcı türlerin ölümü ile partikül organik fosfor olarak suya geri döner. Bozunma süreciyle çözünmüş

organik fosfor formlarına dönüşen fosfor, mineralizasyon süreciyle tekrar reaktif ortofosfat bileşenleri haline gelir (Şekil 4.) (Cebe,2016).



Şekil 4. Sudaki fosfor döngüsü ve döngüyü oluşturan süreçler

Sudaki yaşamsal faaliyetler için gerekli olan çözülmüş oksijen konsantrasyonunun hesaplanması için oksijen biyokimyasal döngüsünün modellenmesi önemlidir (Şekil 5.)



Şekil 5. Oksijen biyokimyasal döngüsü ve döngüyü oluşturan süreçler

Modelleme programı seçiminde literatürde kabul gören birçok modelleme programı araştırılmıştır. Türkiye kıyılarına ait güncel batimetrik haritalarının bulunması, dünyada ilk çevre temelli bulut bilişim teknolojisini kullanması ve yerli yazılım olması nedeniyle, HYDROTAM-3D Pro modelleme programı tercih edilmiştir. Çalışmada, mevsimsel olarak yapılan örneklemelemlerde elde edilen fiziko-kimyasal değişkenlere ait ortalama veriler HYDROTAM-3D Pro modelleme programında başlangıç verileri olarak kullanılmıştır.



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Fiziko-Kimyasal ve Biyolojik Değişkenler

Yapılan çalışmada, belirlenen istasyonlarda (kafes ve referans) ve derinliklerde (yüzey, orta ve dip) su sıcaklığı Mayıs 2018 döneminde 17,70-21,22°C arasında, Ağustos 2018 döneminde ise, 18,69-24,85°C arasında değişim göstermiştir. Kasım 2018 ve Ocak 2019 dönemlerinde; sıcaklık değerleri sırasıyla 18,21-18,51°C ve 16,89-16,95°C aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Tuzluluk değerleri; Mayıs 2018 döneminde ‰ 38, Ağustos 2018 döneminde ‰ 31, Kasım 2018 döneminde ‰ 32, Ocak 2019 döneminde ise ‰ 35 civarında ölçülmüştür. Çözünmüş oksijen miktarı sırasıyla; Mayıs 2018 döneminde 7,20-7,74 mg/L, Ağustos 2018 döneminde, 6,29-8,20 mg/L, Kasım 2018 döneminde 7,07-8,25 mg/L ve Ocak 2019 döneminde 6,91-7,15 mg/L aralığında ölçülmüştür. Klorofil-*a* değerleri; Mayıs 2018 döneminde 0,20-0,32 µg/L, Ağustos 2018 döneminde 0,04-0,22 µg/L, Kasım 2018 döneminde 0,02-0,42 µg/L, Ocak 2019 döneminde 0,09-0,13 µg/L arasındadır. Askıda katı madde değerleri; Mayıs 2018 döneminde 8,00-11,30 mg/L, Ağustos 2018 döneminde, 0,33-11,87 mg/L, Kasım 2018 döneminde 4,20-9,30 mg/L olarak ölçülmüş olup, Ocak 2019 döneminde AKM örnekleme yapılamamıştır (Tablo 2.).

Mayıs 2018 döneminde seçilen istasyon ve derinliklerde, besin tuzlarının miktarları incelendiğinde, NO₃-N değerlerinin 0,03 mg/L, NO₂-N değerlerinin 0,006 mg/L, NH₄-N değerlerinin 0,01 mg/L ve PO₄-P değerlerinin de 0,01 mg/L'yi geçmediği görülmüştür. TN konsantrasyonları 0,3-0,8 mg/L arasında, SiO₂ değerleri 0,03-0,9 mg/L arasında değişim göstermiştir. TP konsantrasyonları ise 0,029 mg/L'yi geçmemiştir.

Ağustos 2018 döneminde ise seçilen istasyon ve derinliklerde, NO₃-N 0,08-0,18 mg/L, NH₄-N 0,01-0,03 mg/L, TN 0,35-2,91 mg/L arasında değişim gösterirken, NO₂-N değerlerinin, 0,005 mg/L'yi geçmediği görülmüştür. PO₄-P değerleri 0,01 mg/L'yi geçmemiş, TP değerleri ise 0,01-0,12 mg/L arasında ölçülmüştür. SiO₂ değerleri 0,03-0,09 mg/L arasında değişim göstermiştir.

Kasım 2018 döneminde NO₃-N değerlerinin 0,18 mg/L, NO₂-N değerlerinin 0,005 mg/L, NH₄-N değerlerinin 0,01 mg/L ve PO₄-P değerlerinin de 0,01 mg/L'yi geçmediği görülmüştür. TN konsantrasyonları 0,5-2,10 mg/L arasında değişim göstermiştir. TP

konsantrasyonları ise 0,01-0,04 mg/L aralığındadır. SİO₂ değerleri 0,03-0,09 mg/L arasındadır. Ocak 2019 döneminde ise NO₃-N 0,04-0,05 mg/L, TN 0,3-0,7 mg/L arasında değişim gösterirken, NH₄-N değerlerinin 0,01 mg/L'yi, NO₂-N değerlerinin 0,005 mg/l'yi geçmediği görülmüştür. PO₄-P değerleri 0,01 mg/L'yi, TP değerleri ise 0,02 mg/L'yi geçmemiştir. SİO₂ değerleri 0,06-0,08 mg/L arasında değişim göstermiştir (Tablo 3.).



Tablo 2.

Kafes ve referans istasyonlarındaki sıcaklık, tuzluluk, çözülmüş oksijen, klorofil-*a*, AKM miktarlarındaki değişim (Mayıs 2018-Ocak 2019)

Tarih	İstasyon	Sıcaklık(°C)	Tuzluluk (‰)	ÇO (mg/L)	Klorofil- <i>a</i> (µg/L)	AKM (mg/L)
Mayıs 2018						
	Kafes					
	Yüzey	21,22	38	7,74	0,25	8,70
	Orta	20,00	38	7,50	0,25	10,20
	Dip	18,28	38	7,20	0,20	11,30
	Referans					
	Yüzey	20,80	38	7,60	0,28	8,00
	Orta	20,01	38	7,60	-	-
	Dip	17,70	38	7,20	0,32	8,50
Ağustos 2018						
	Kafes					
	Yüzey	23,71	31,25	7,2	0,04	7,23
	Orta	21,88	31,60	7,60	0,15	7,28
	Dip	18,69	31,11	8,20	0,22	8,60
	Referans					
	Yüzey	24,28	31,41	6,29	0,05	11,87
	Orta	22,75	31,31	6,96	0,12	4,29
	Dip	18,94	31,21	7,29	0,15	0,33
Kasım 2018						
	Kafes					
	Yüzey	18,49	32,18	7,45	0,35	4,20
	Orta	18,49	32,17	7,35	0,42	5,30
	Dip	18,50	32,17	8,25	0,14	8,40
	Referans					
	Yüzey	18,47	32,19	7,15	0,33	8,30
	Orta	18,47	32,19	7,17	0,23	9,30
	Dip	18,48	32,20	7,07	0,02	4,90
Ocak 2019						
	Kafes					
	Yüzey	16,95	35,40	6,91	0,13	-
	Orta	-	-	-	-	-
	Dip	-	-	-	-	-
	Referans					
	Yüzey	16,89	35,90	7,91	0,09	-
	Orta	-	-	-	-	-
	Dip	-	-	-	-	-

Tablo 3.

Kafes ve referans istasyonlarındaki toplam fosfor, orto-fosfat, toplam azot, amonyum, nitrit, nitrat ve silikat miktarlarındaki değişim (Mayıs 2018-Ocak 2019)

Tarih	İstasyon	TP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)
Mayıs 2018								
	Kafes							
	Yüzey	0,023	<0,01	0,3	<0,01	<0,005	0,021	0,03
	Orta	0,01	<0,01	0,7	<0,01	<0,005	0,01	0,05
	Dip	0,01	<0,01	0,7	<0,01	<0,005	0,01	0,05
	Referans							
	Yüzey	0,029	<0,01	0,7	<0,01	0,006	0,03	0,7
	Orta	0,011	<0,01	0,8	<0,01	<0,005	0,02	0,7
	Dip	<0,01	<0,01	0,8	<0,01	<0,005	0,02	0,9
Ağustos 2018								
	Kafes							
	Yüzey	<0,01	<0,01	0,66	<0,01	<0,005	0,02	0,09
	Orta	<0,01	<0,01	0,66	<0,01	<0,005	0,12	0,07
	Dip	<0,01	<0,01	0,37	<0,01	<0,005	0,09	0,05
	Referans							
	Yüzey	0,06	<0,01	0,35	<0,01	<0,005	0,13	0,03
	Orta	0,12	<0,01	0,75	<0,01	<0,005	0,11	0,04
	Dip	0,12	<0,01	2,91	<0,01	<0,005	0,08	0,04
Kasım 2018								
	Kafes							
	Yüzey	0,02	<0,01	1,50	<0,01	<0,005	0,15	0,09
	Orta	0,01	<0,01	0,70	<0,01	<0,005	0,16	0,06
	Dip	0,01	<0,01	0,50	<0,01	<0,005	0,20	0,06
	Referans							
	Yüzey	0,02	<0,01	0,80	<0,01	<0,005	0,07	0,03
	Orta	0,01	<0,01	0,70	<0,01	<0,005	0,07	0,03
	Dip	0,01	<0,01	0,70	<0,01	<0,005	0,10	0,04
Ocak 2019								
	Kafes							
	Yüzey	0,02	<0,01	0,3	<0,01	<0,005	0,05	0,08
	Orta	-	-	-	-	-	-	-
	Dip	-	-	-	-	-	-	-
	Referans							
	Yüzey	0,02	<0,01	0,7	<0,01	<0,005	0,04	0,06
	Orta	-	-	-	-	-	-	-
	Dip	-	-	-	-	-	-	-

Bölgede yapılan çalışmalarda; Palta, vd., (2010), “Gerence ve Sığacık Körfezi’nde (Ege Denizi), iki ağ kafes işletmesinde çevresel parametrelerin zooplankton dinamiğine etkisi” başlıklı çalışmada; Ocak 2008 – Aralık 2008 ayları arasında Gerence ve Sığacık Körfezlerinde belirlenen 7 istasyonda aylık olarak örnekleme yapılarak, su kalitesi parametreleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda; Gerence Körfezi’ndeki sıcaklık, tuzluluk, ÇO, pH, NO₃-N +NO₂-N, NH₄-N, TN, PO₄-P, TP konsantrasyonları sırasıyla, 13,31 – 25,08°C, ‰ 38,48 – 39,91, 5,30 – 8,03, 0,003 – 1,160 µM, 0,153- 3,955 µM, 0,981 – 12,946 µM, 0,020 – 1,699, 0,049 – 13,835 µM arasında ve Sığacık Körfezi’ndeki sıcaklık, tuzluluk, ÇO, NO₃-N +NO₂-N, NH₄-N, TN, PO₄-P, TP konsantrasyonları sırasıyla, 15,07 – 23,10°C, ‰ 35,56 – 39,73, 8,00 – 8,29, 0,006 – 2,016 µM, 0,160- 5,760 µM, 0,928 – 9,698 µM, 0,021 – 2,120, 0,070 – 11,605 µM arasında değişim göstermiştir. Orçun ve Sunlu, (2007) yapmış oldukları, “Sığacık (Seferihisar-İzmir) Bölgesi Ağ Kafeslerde Yapılan Balık Yetiştiriciliğinin Sucul Ortama Olan Etkilerinin Araştırılması” projesinde; Seferihisar-Sığacık bölgesinde Hünkar Ltd. Şti.’ne ait balık çiftliğinde Kasım 2002–Ekim 2003 tarihleri arasında aylık periyotlar halinde kafes ve referans istasyonlarından alınan su örneklerinin fiziksel ve kimyasal parametrelerini ölçmüşlerdir. Ölçüm değerlerine göre; kafes istasyonu ortalama sıcaklık değeri 18,33°C, referans istasyonu ortalama sıcaklık değeri 18,38°C, tuzluluk ortalama değerleri, kafes istasyonunda ‰39,40, referans istasyonunda ‰39,67’dir. Çözünmüş oksijen değerleri incelendiğinde; kafes istasyonu ortalama çözünmüş oksijen değeri 7,86 mg/L, referans istasyonu ortalama çözünmüş oksijen değeri ise 8,18 mg/L olarak kaydedilmiştir. Kafes istasyonu ortalama fosfat değeri 1,08 mg/L, referans istasyonu ortalama fosfat değeri 0,92 mg/L olarak hesaplanmıştır. Aksu, vd., 2016, Gerence Körfezi’nde mevsimsel olarak mavi yüzgeçli orkinos besiciliğinin su kalitesine etkilerini belirlemek için yapmış oldukları çalışmada; sıcaklık değerleri 14,7-23,9°C, tuzluluk değerleri ‰35-37,8, çözünmüş oksijen değerleri 6,40-8,30 mg/L olarak ölçülmüştür. Besin tuzları değerleri ise; amonyum 0,006-2,78 mg/L, nitrit 0,05-1,41 mg/L, nitrat 0,01-1,04 mg/L değerleri arasında belirlenmiştir. Kaymakçı-Başaran, vd., 2007, “İldır Koyu’nda İzmir-Ege Denizi açık deniz ağ kafeslerde yapılan balık yetiştiriciliğinin su kalitesi üzerine etkilerinin izlenmesi” başlıklı çalışmada, fiziko-kimyasal parametreler ve besleyici elementlerdeki değişimler incelenmiştir. Yüzey ve dip örnekleme sonuçlarına göre; sıcaklığının 14,0-24,5 °C, çözünmüş oksijenin 5,2-9,2 mg/L, tuzluluğun ‰33,97-41,00, nitritin nd ölçüm limitinin altında -0,44 µgat/L, nitratın nd-1,12 µgat/L, amonyum nd-9,07 µgat/L, fosfat nd-0,61 µgat/L arasında olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasındaki, fiziko-kimyasal değişkenlere ve besin elementlerine ait değerlerin daha önceki yıllarda bölgede yapılmış çalışmalarla benzerlik gösterdiği gözükmektedir.

4.1.1. Fiziko-kimyasal ve biyolojik değişkenlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi

Çalışılan istasyonlarda fiziko-kimyasal ve biyolojik değişkenler arasında Pearson Korelasyon analizi (SPSS Inc., 2021) yapılmıştır. Kafes ve referans istasyonlarındaki sıcaklık, tuzluluk, çözünmüş oksijen, klorofil-*a*, AKM, silikat, toplam fosfor ve toplam azot arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanarak yapılan, Pearson Korelasyon analizi Tablo 4.-5.'te verilmiştir.

Tablo 4.

Sıcaklık, tuzluluk, ÇO, klorofil-*a*, AKM değişkenlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi

(Pearson korelasyonu, SPSS 2021) ** Korelasyon 0.01 seviyesinde önemli (2-tailed),

* Korelasyon 0.05 seviyesinde önemli (2-tailed)

Correlations

		SICAKLIK kafes	TUZLULUK kafes	ÇO kafes	KLOROFIL kafes	AKM kafes	TUZLULUK referans	ÇO referans	KLOROFIL referans	AKM referans	SICAKLIK referans
SICAKLIK kafes	Pearson Correlation	1	-,161	,012	-,414	-,019	-,186	-,642(*)	-,233	,345	,988(**)
	Sig. (2-tailed)		,657	,974	,234	,961	,606	,045	,547	,402	,000
	N	10	10	10	10	9	10	10	9	8	10
TUZLULUK kafes	Pearson Correlation	-,161	1	-,301	,080	,677(*)	,998(**)	,622	,506	,263	-,275
	Sig. (2-tailed)	,657		,397	,826	,045	,000	,055	,165	,530	,443
	N	10	10	10	10	9	10	10	9	8	10
ÇO kafes	Pearson Correlation	,012	-,301	1	,044	,107	-,325	-,066	-,203	-,819(*)	,029
	Sig. (2-tailed)	,974	,397		,904	,785	,360	,857	,600	,013	,937
	N	10	10	10	10	9	10	10	9	8	10
KLOROFIL kafes	Pearson Correlation	-,414	,080	,044	1	-,423	,063	,319	,712(*)	,037	-,437
	Sig. (2-tailed)	,234	,826	,904		,256	,862	,368	,031	,932	,207
	N	10	10	10	10	9	10	10	9	8	10
AKM kafes	Pearson Correlation	-,019	,677(*)	,107	-,423	1	,678(*)	,328	-,048	-,224	-,090
	Sig. (2-tailed)	,961	,045	,785	,256		,045	,389	,909	,594	,817
	N	9	9	9	9	9	9	9	8	8	9
TUZLULUK referans	Pearson Correlation	-,186	,998(**)	-,325	,063	,678(*)	1	,639(*)	,479	,275	-,299
	Sig. (2-tailed)	,606	,000	,360	,862	,045		,047	,192	,509	,402
	N	10	10	10	10	9	10	10	9	8	10
ÇO referans	Pearson Correlation	-,642(*)	,622	-,066	,319	,328	,639(*)	1	,282	-,415	-,669(*)
	Sig. (2-tailed)	,045	,055	,857	,368	,389	,047		,461	,307	,034
	N	10	10	10	10	9	10	10	9	8	10
KLOROFIL referans	Pearson Correlation	-,233	,506	-,203	,712(*)	-,048	,479	,282	1	,228	-,315
	Sig. (2-tailed)	,547	,165	,600	,031	,909	,192	,461		,587	,409
	N	9	9	9	9	8	9	9	9	8	9
AKM referans	Pearson Correlation	,345	,263	,819(*)	,037	-,224	,275	-,415	,228	1	,258
	Sig. (2-tailed)	,402	,530	,013	,932	,594	,509	,307	,587		,537
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
SICAKLIK referans	Pearson Correlation	,988(**)	-,275	,029	-,437	-,090	-,299	-,669(*)	-,315	,258	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,443	,937	,207	,817	,402	,034	,409	,537	
	N	10	10	10	10	9	10	10	9	8	10

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
SICAKLIK kafes	19,6210	2,05	10
TUZLULUK kafes	33,9880	3,01189	10
ÇO kafes	7,5400	,42911	10
KLOROFILkafes	,2150	,11088	10
AKM kafes	7,9122	2,22238	9
SICAKLIK referans	19,6790	2,32304	10
TUZLULUK referans	34,0410	3,03889	10
ÇO referans	7,2240	,43874	10
KLOROFIL referans	,1767	,11705	9
AKM referans	6,9362	3,58882	8

Tablo 5.

Silikat, TP, TN, nitrat değerlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi (Pearson korelasyonu, SPSS 2021) ** Korelasyon 0.01 seviyesinde önemli (2-tailed), * Korelasyon 0.05 seviyesinde önemli (2-tailed)

Correlations

		SILIKAT kafes	TP kafes	TN kafes	SILIKAT referans	TN referans	TP referans	NITRAT kafes	NITRAT referans
SILIKAT kafes	Pearson Correlation	1	-,137	,665(*)	-,636(*)	-,281	,122	,317	,668(*)
	Sig. (2-tailed)		,705	,036	,048	,432	,737	,372	,035
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
TP kafes	Pearson Correlation	-,137	1	,049	,088	-,183	-,271	-,137	-,383
	Sig. (2-tailed)	,705		,894	,809	,613	,449	,706	,274
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
TN kafes	Pearson Correlation	,665(*)	,049	1	-,133	-,227	-,199	,304	,106
	Sig. (2-tailed)	,036	,894		,714	,528	,582	,393	,770
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
SILIKAT referans	Pearson Correlation	-,636(*)	,088	-,133	1	-,143	-,380	-,677(*)	-,779(**)
	Sig. (2-tailed)	,048	,809	,714		,694	,279	,031	,008
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
TN referans	Pearson Correlation	-,281	-,183	-,227	-,143	1	,578	,069	-,001
	Sig. (2-tailed)	,432	,613	,528	,694		,080	,850	,998
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
TPreferans	Pearson Correlation	,122	-,271	-,199	-,380	,578	1	,024	,535
	Sig. (2-tailed)	,737	,449	,582	,279	,080		,948	,111
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
NITRAT kafes	Pearson Correlation	,317	-,137	,304	-,677(*)	,069	,024	1	,487
	Sig. (2-tailed)	,372	,706	,393	,031	,850	,948		,154
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
NITRAT referans	Pearson Correlation	,668(*)	-,383	,106	-,779(**)	-,001	,535	,487	1
	Sig. (2-tailed)	,035	,274	,770	,008	,998	,111	,154	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
SILIKATkafes	,0610	,01853	10
TPkafes	,0133	,00538	10
TNkafes	,6390	,34559	10
SILIKATreferans	,2570	,35600	10
TNreferans	,9210	,71108	10
TPreferans	,0411	,04421	10
NITRATkafes	,0831	,07078	10
NITRATreferans	,0670	,03889	10

Yapılan Pearson korelasyon analizi ile; kafes istasyonu sıcaklık değerleri ($Ort.=19.6$, $SS= 2.05$) ve referans istasyonu sıcaklık değerleri ($Ort.=19.67$, $SS=2.32$) ölçülmüştür. Bu değişkenler arasında yüksek seviyede pozitif anlamlı ilişki ($r(8)= .988$, $p<0.01$), kafes istasyonu sıcaklık değerleri ($Ort.=19.6$, $SS= 2.05$) ve referans istasyonu ÇO değerleri ($Ort.=7.22$, $SS= .43$) arasında yüksek seviyede negatif anlamlı ilişki ($r(8)= -.642$, $p<0.05$), kafes istasyonu tuzluluk değerleri ($Ort.=33.98$, $SS= 3.01$) ve kafes istasyonu AKM değerleri ($Ort.=7.91$, $SS= 2.22$) arasında, yüksek seviyede pozitif anlamlı ilişki ($r(8)= .677$, $p<0.05$), referans istasyonu tuzluluk değerleri ($Ort.=34.04$, $SS= 3.03$) ve kafes istasyonu AKM değerleri ($Ort.=7.91$, $SS= 2.22$) arasında, yüksek seviyede pozitif anlamlı ilişki ($r(8)= .678$, $p<0.05$), kafes istasyonu tuzluluk değerleri ($Ort.=33,98$, $SS= 3,01$) ve referans istasyonu tuzluluk değerleri ($Ort.=34.04$, $SS=3.03$) arasında yüksek seviyede pozitif anlamlı ilişki ($r(8)= .998$, $p<0.01$), kafes istasyonu ÇO değerleri ($Ort.=7.54$, $SS= .42$) ve referans istasyonu AKM değerleri ($Ort.=6.93$, $SS= 3.58$) arasında yüksek seviyede negatif anlamlı ilişki ($r(8)= -.819$, $p<0.05$), kafes istasyonu klorofil-*a* değerleri ($Ort.=.21$, $SS= .11$) ve referans istasyonu klorofil-*a* değerleri ($Ort.=.17$, $SS= .11$) arasında, yüksek seviyede pozitif anlamlı ilişki bulunmuştur ($r(8)= .712$, $p<0.05$).

Kafes istasyonu silikat değerleri ($Ort.=.06$, $SS= .01$) ve referans istasyonu TN değerleri ($Ort.=.92$, $SS=.71$) arasında yüksek seviyede pozitif anlamlı ilişki ($r(8)= .665$, $p<0.05$), kafes istasyonu silikat değerleri ($Ort.=.06$, $SS= .01$) ve referans istasyonu silikat değerleri ($Ort.=.25$, $SS= .35$) arasında yüksek seviyede negatif anlamlı ilişki ($r(8)= -.636$, $p<0.05$), kafes istasyonu silikat değerleri ($Ort.=.06$, $SS= .01$) ve referans istasyonu nitrat değerleri ($Ort.=.08$, $SS= .07$) arasında yüksek seviyede pozitif anlamlı ilişki ($r(8)= -.668$,

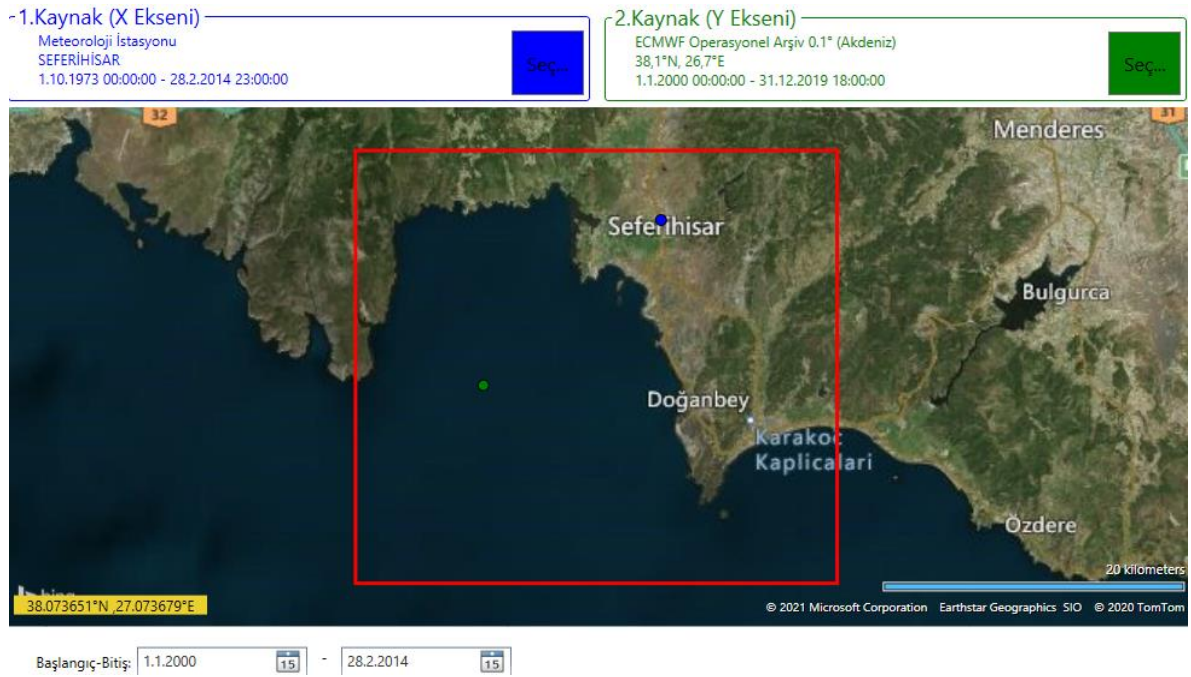
$p < 0.05$), Referans istasyonu silikat değerleri ($Ort.=.25$, $SS= .35$) ve referans istasyonu nitrat değerleri ($Ort.=.06$, $SS= .03$) arasında yüksek seviyede negatif anlamlı ilişki ($r(8)= -.779$, $p < 0.01$) bulunmuştur. Referans istasyonu silikat değerleri ($Ort.=.25$, $SS= .35$) ve kafes istasyonu nitrat değerleri ($Ort.=.08$, $SS= .07$) arasında yüksek seviyede negatif anlamlı ilişki ($r(8)= -.677$, $p < 0.05$) vardır.

Ölçümler değerlendirildiğinde; azot ve fosforun çevrede kullanılmayan yemler, dışkı, metabolizma atıkları evsel ya da endüstriyel atıklar sonucu olmaktadır (Yıldırım ve Korkut, 2004). Silikat değerleri gerçekteşirilen örnekleme periyodu süresince çalışılan derinliklerde diyatolarda üremeyi devam ettirecek $30-40 \mu g /L$ 'nin altında bulunmaktadır (Kocataş, 1993). Bilindiği üzere, silikatın su ekosisteminde döngüsü kısıtlıdır ve denizel sistemine silikat girişi genel olarak akarsular, yağışlar ve rüzgarlar ile taşınması ile oluşur (Kocataş, 1993; Horne ve Goldman, 1994). besin elementleri konsantrasyonlarının her örnekleme döneminde; Tarım ve Orman Bakanlığı, 1380 Sayılı Su Ürünleri Kanunu, “Su Ürünleri Yetiştiricilik Yönetmeliğinde belirtilen Deniz Ürünleri Yetiştiriciliği İçin Su Kalite Kriterleri (Ek-1c)” sınır değerleri arasında yer aldığı belirlenmiştir. Çalışma dönemlerinde belirlenen istasyonlar ve derinliklerden ölçülen AKM değerleri Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (2004)'nde belirtilen ve deniz suyu genel kalite kriteri olan 30 mg/L 'yi geçmemiştir. Kafes istasyonunda klorofil-*a* değerleri ile AKM değerleri arasında negatif ilişki bulunmaktadır ($r(8)= -.423$). Kafes istasyonunda klorofil-*a*, AKM ölçümleri değerlendirildiğinde, AKM miktarının karasal girdiler ve yemleme faaliyetleri tarafından kontrol edildiği belirtilebilir. Referans istasyonunda ise, söz konusu değerler arasında pozitif yönde ilişki vardır ($r(8)= .228$). Karasal girdilerin etkilerinde uzakta bulunan, açıkta faaliyet gösteren deniz sistemlerindeki fitoplanktonik üretimin toplam AKM miktarına etkisi fazladır (Beşiktepe, vd., 1994).

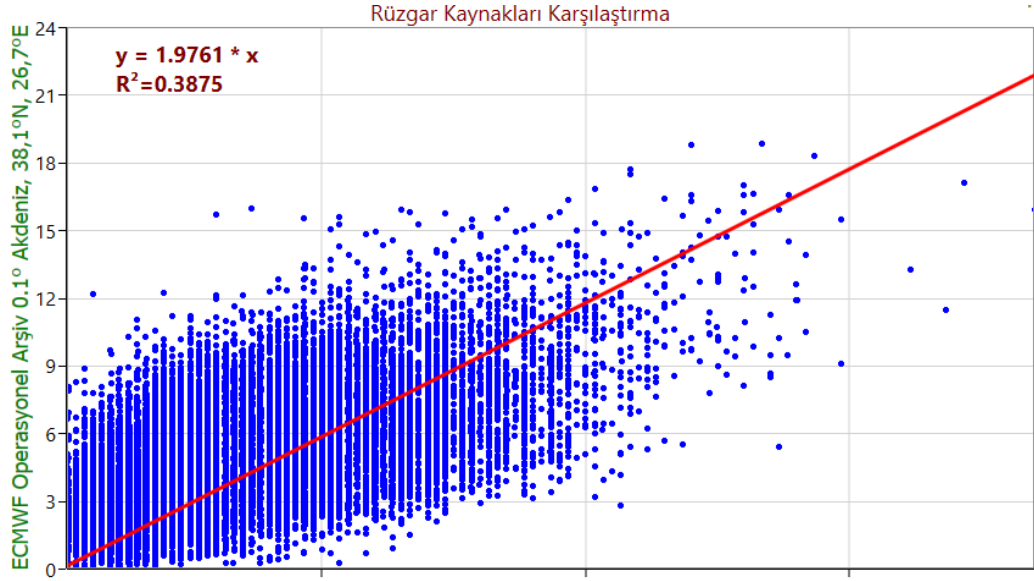
4.2. Modelleme Çalışmaları

4.2.1. Rüzgâr iklimi alt modeli

Çalışmanın yapıldığı Sığacık Körfezi'ne en yakın meteoroloji istasyonu olan Seferihisar Meteoroloji İstasyonu ile ECMWF'in (38.1 N, 26.7 E) (Şekil 6.) 6 saatlik deniz üstü rüzgâr tahminleri ile karşılaştırılmıştır. İki veri setinin karşılaştırması Şekil 7.'de verilmiştir.



Şekil 6. Seferihisar Meteoroloji istasyonu (kara istasyonu) ve ECMWF Rüzgâr verilerinin kullanılacağı nokta 38.1 N, 26.7 E (HYDROTAM-3D Pro, 2022)



Şekil 7. ECMWF ve Seferihisar Meteoroloji İstasyonları rüzgâr verilerinin ilişkisi (HYDROTAM-3D Pro, 2022)

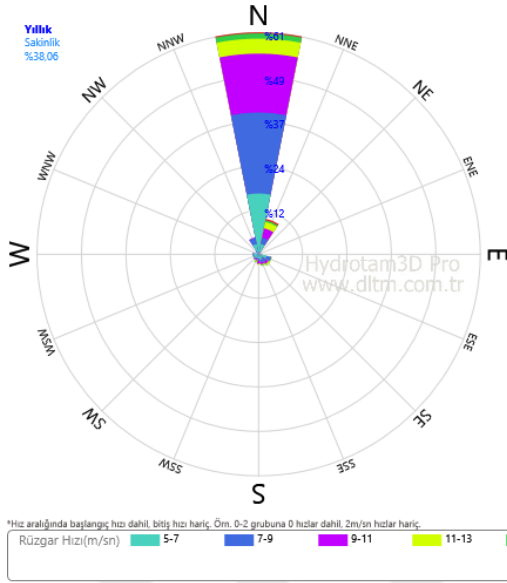
ECMWF (38.1 N, 26.7 E) rüzgâr verilerinin, Seferihisar meteoroloji istasyonuna ait verilerin yaklaşık 1.97 katı olduğu belirlenmiştir. Bilimsel çalışmalarda; açık deniz rüzgâr verileri, karasal rüzgâr verilerinin 1.5-2.0 katıdır (Al-Sammarraie, 2019).

Uzun Dönem ve En Büyük Değer Rüzgâr İstatistiği

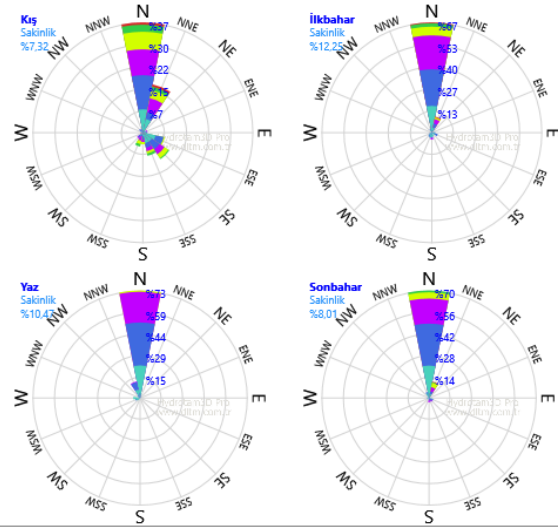
Sığacık Körfezi için, HYDROTAM-3D Pro veri tabanında bulunan 2000-2019 yılları arası 6 saat aralıklı ECMWF (38.1 N, 26.7 E) operasyonel arşiv verileri ile uzun dönem ve en büyük değer rüzgâr istatistiği yapılmıştır. Çalışmanın yapıldığı dönemi kapsayan, rüzgâr hızlarının yönlerine istinaden oluşum oranları hesaplanarak, yıllık ve mevsimsel rüzgâr gülleri oluşturulmuştur (Şekil 8.).

ECMWF Operasyonel Arşiv 0.1° (Akdeniz) - 38,1°N, 26,7°E

Tarihler: 1.5.2018 - 1.5.2019 Tüm aylar



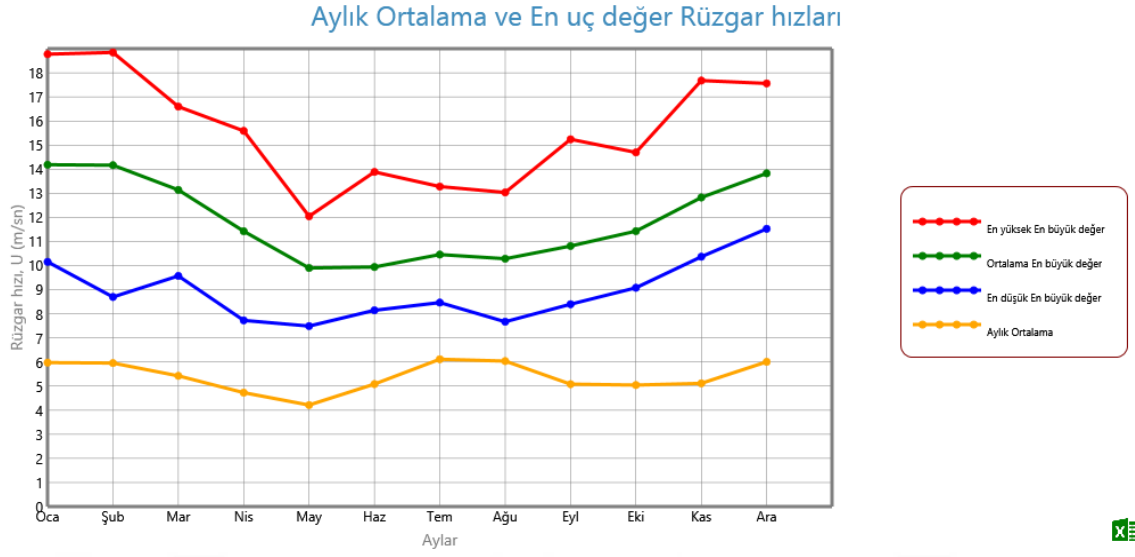
Sakinlik Eşiği: 5 m/sn



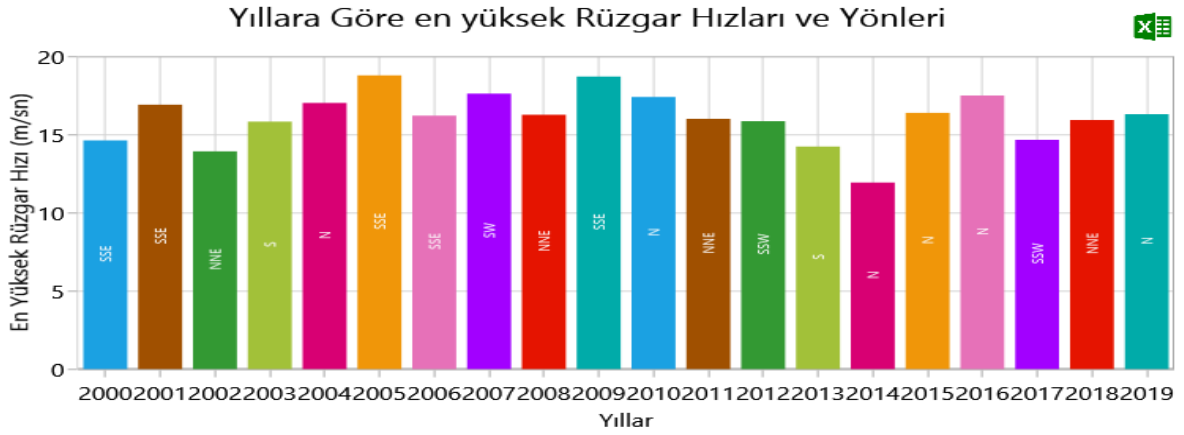
Şekil 8. ECMWF operasyonel arşiv 38.1 N, 26.7 E koordinatı için yıllık ve mevsimsel rüzgâr gülleri (HYDROTAM-3D Pro, 2022)

Rüzgâr güllerinin değerlendirilmesinde, rüzgârın çemberin dışından merkezine doğru estiği kabul edilir. Çalışmanın yapıldığı dönemi kapsayan (Mayıs 2018-Mayıs 2019 tarihleri arası) ECMWF operasyonel arşiv verilerine göre, rüzgârın esme yönünün baskın olarak Kuzey (N) yönünden olduğu görülmektedir. Ayrıca, rüzgârın özellikle kış mevsiminde KuzeyKuzeydoğu (NNE) ve Güneydoğu (SE) yönlerinden de zaman zaman güçlü esmektedir.

Aylık ortalama ve en uç değer rüzgâr hızları Şekil 9.'da verilmiştir. 2000-2019 yılları arasında rüzgâr hızlarının aylık ortalamaları, belirlenen ay içerisindeki bütün rüzgâr hızlarının aritmetik ortalamasına göre belirlenmiştir (Yılmaz, 2018). Yıllara göre en yüksek rüzgâr hızları ve esme yönleri de Şekil 10.'da bulunmaktadır.



Şekil 9. ECMWF operasyonel arşiv verisi 38.1 N, 26.7 E koordinatı için aylık ortalama ve en büyük değer rüzgâr hızları (HYDROTAM-3D Pro, 2022)

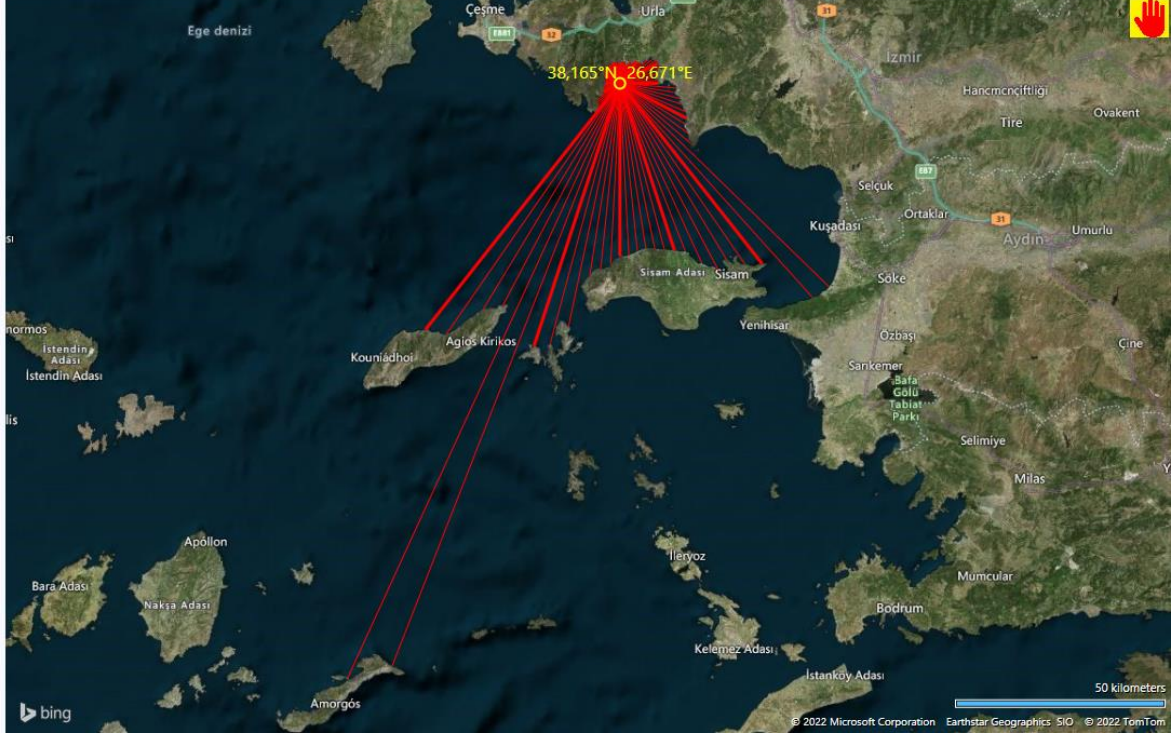


Şekil 10. ECMWF operasyonel arşiv verisi 38.1 N, 26.7 E koordinatı için yıllara göre en yüksek rüzgâr hızları ve esme yönleri (HYDROTAM-3D Pro, 2022)

Aylık ortalama rüzgâr hızı değerleri yaklaşık 5,4 m/s'dir. En yüksek en büyük değer rüzgâr hızları 12,05-18,85 m/s aralığında bulunmaktadır. Ortalama en büyük değer rüzgâr hızları, yaz aylarında daha düşük olup, yaklaşık 10 m/s'dir. Kış döneminde, 13 m/s'nin üzerindedir. Yıllık en yüksek hıza sahip rüzgârlar, genellikle kuzey yönlüdür. 18,8 m/s ile en yüksek rüzgâr hızı GüneyGüneydoğu (SSE) olarak belirlenmiştir.

4.2.2 Dalga İklimi Alt Modeli

Sığacık körfezi için etkin dalga kabarma mesafeleri (Feç) ve yönleri Şekil 11.'de ve Tablo 6.'da gösterilmiştir.



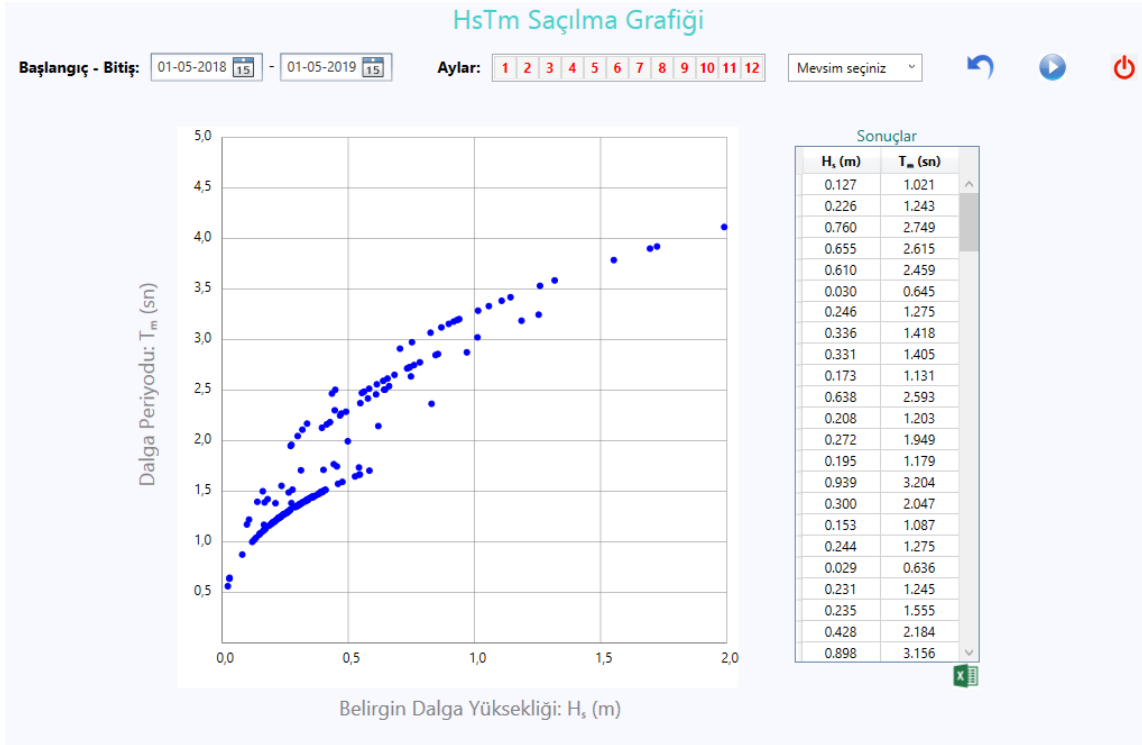
Şekil 11. ECMWF Operasyonel Arşiv 38,1-26,7 E koordinatı için yönere göre dalga kabarma mesafeleri (HYDROTAM-3D Pro, 2022)

Tablo 6.

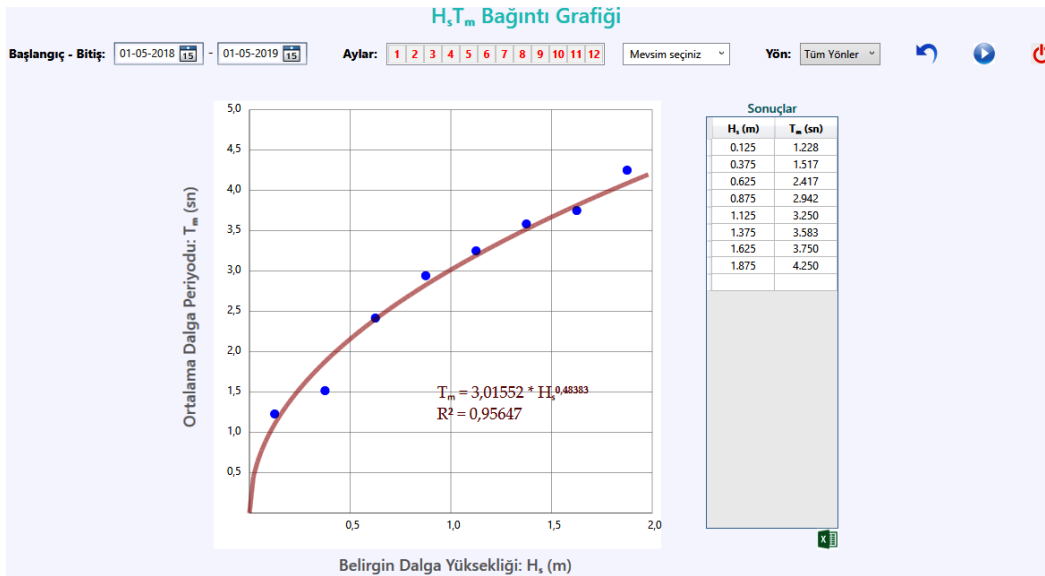
Etkin dalga kabarma Mesafeleri (Feç) (km)

Yön	Mesafe (km)
Güney (S)	42
Güneybatı (SW)	42
GüneyGüneybatı (SSW)	86
GüneyGüneydoğu (SSE)	43

Belirgin dalga yükseklikleri ile dalga periyodu arasındaki ilişkiyi gösteren saçılma grafiği (Şekil 12.) ve dağılım grafiği (Şekil 13.) ile bu grafiklerden elde edilen dalga periyodunun dalga yüksekliğine göre denklemleri tüm yönler için gösterilmektedir.

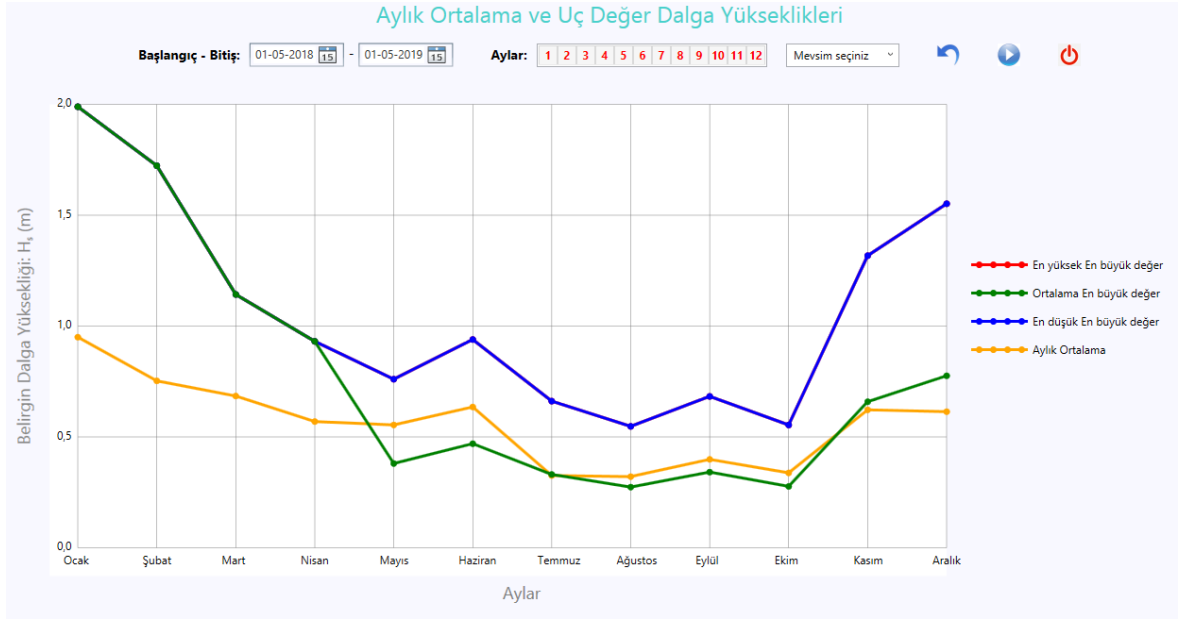


Şekil 12. Hs–T Saçılma Grafiği (HYDROTAM-3D Pro, 2022)



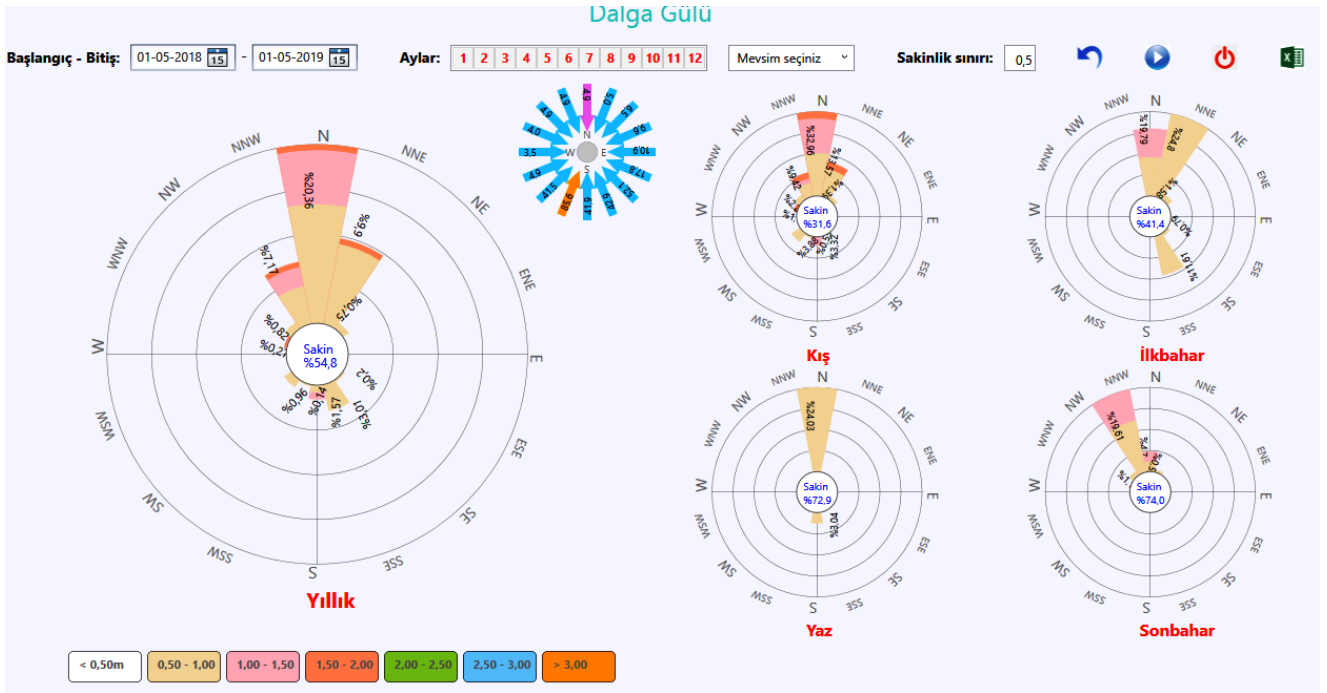
Şekil 13. Hs–Tm Bağlantısı Grafiği (HYDROTAM-3D Pro, 2022)

Şekil 14.'te Dalga iklimi alt modeline göre aylık ortalama ve en uç değer belirgin dalga yükseklikleri gösterilmektedir.



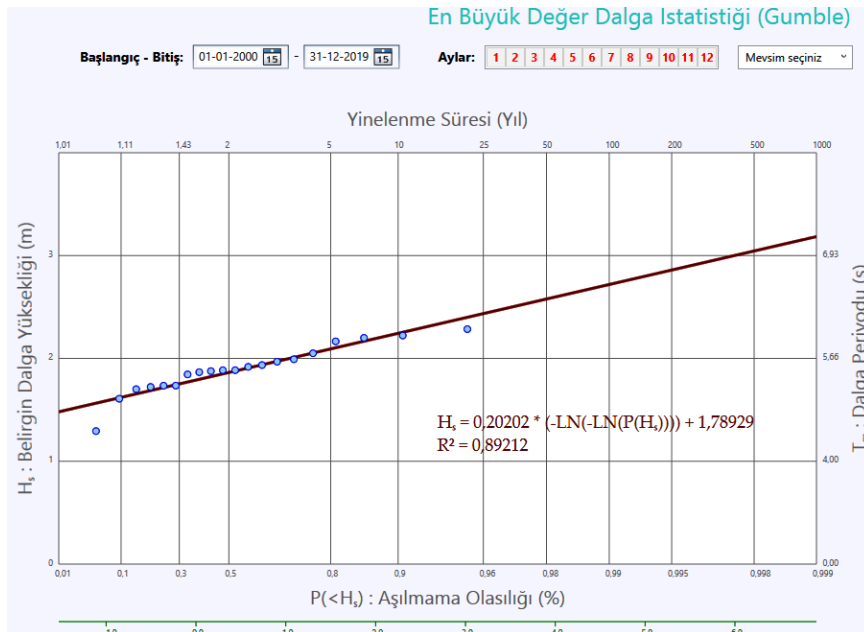
Şekil 14. Aylık ortalama ve en uç değer belirgin dalga yüksekliği (HYDROTAM-3D Pro, 2022)

Yıllık dalga güllerinde, belirgin dalga yüksekliğinin belirlenen yıl içerisinde farklı yönlerden oluşum oranları gösterilmektedir. Dalga yüksekliği 0,5 metreden küçük olduğunda, denizin durumu “sakin” olarak nitelendirilmektedir. Sakin durumunda iken dalga yönü gösterilmemekte ve oluşum oranları dalga gülündeki çember içerisinde gösterilmektedir (Şekil 15.) (İnan, vd., 2020).



Şekil 15. Yıllık ve mevsimlik dalga gücü (HYDROTAM-3D Pro, 2022)

Sığacık körfezi yıllara göre elde edilen en yüksek dalga yüksekliklerinden hesaplanan en büyük değer tasarım dalgası değerleri ve aşılmama olasılıkları farklı yineleme süreleri için Şekil 16.'da ve Tablo 7.'de verilmektedir.



Şekil 16. En büyük değer dalga istatistiği (HYDROTAM-3D Pro, 2022)

Tablo 7.

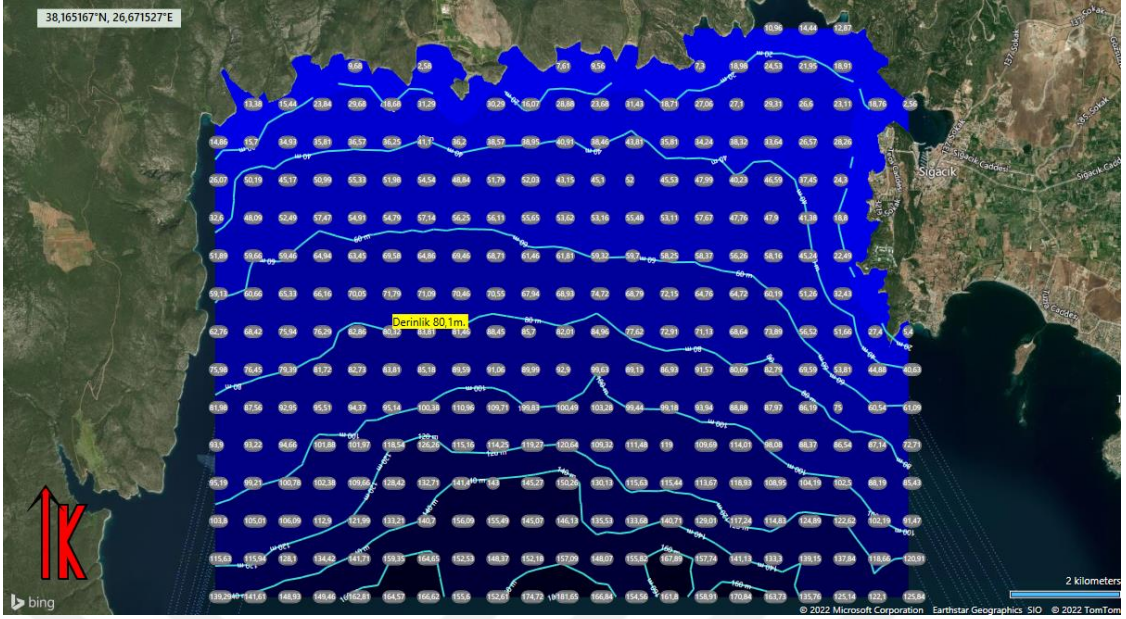
ECMWF Operasyonel arşiv 36,1 N-26,7 E koordinatı yineleme sürelerine belirgin dalga yüksekliği

	Yineleme Süresi (yıl)				
	5	10	25	50	100
Hs (m)	2,1	2,2	2,4	2,6	2,7
Ts (sn)	5,8	5,9	6,2	6,4	6,6

Sığacık körfezi dalga iklimi modelinde dalga gücü ve dalga tahminleri incelendiğinde; yineleme süresi 50 yıl olan belirgin dalga yüksekliği 2,6 m ve dalga dönemi 6,4 sn'dir. %54,8 sakin deniz koşulları olduğu ve baskın dalga yönünün kuzey (N) olduğu belirlenmiştir. Bölgedeki belirgin dalga yüksekliği Ağustos ayında en düşük değerdeyken, Ocak ayında en yüksektir.

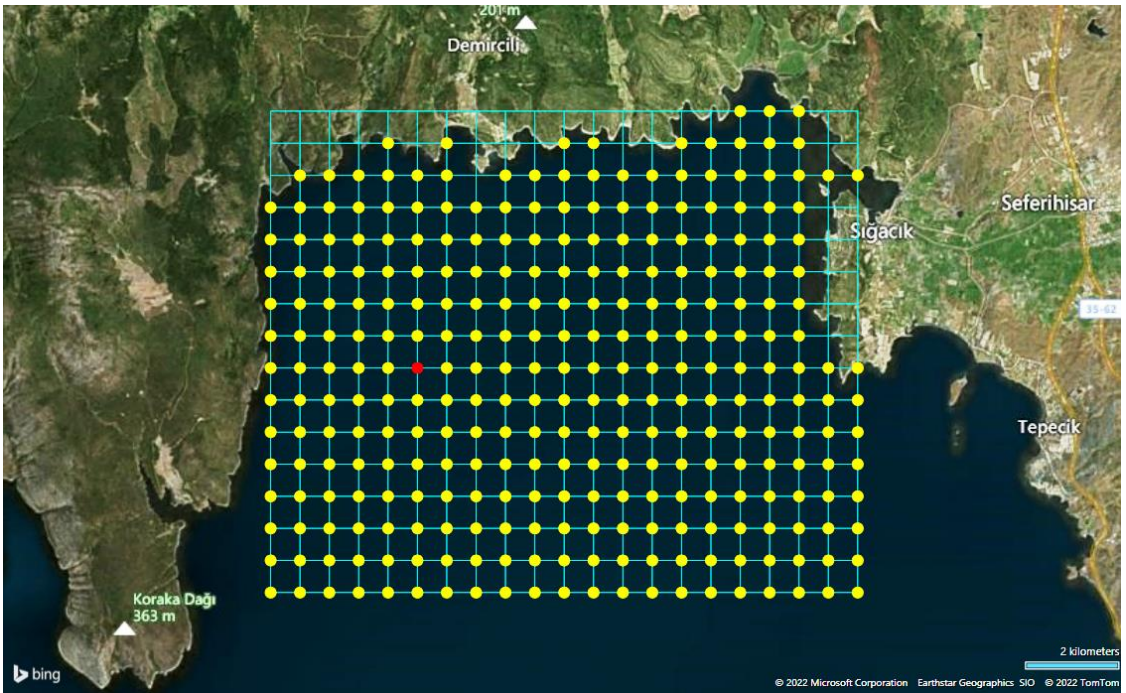
4.2.3 Akıntı Alt Modeli

Modellemenin Sığacık Körfezi'ne uygun hale getirilmesi için, bölgeye ait Seyir ve Hidrografi Dairesi Başkanlığı 223 numaralı deniz haritası sayısallaştırılarak, batimetri ve topografya verileri uygulanmıştır (Şekil 17.).



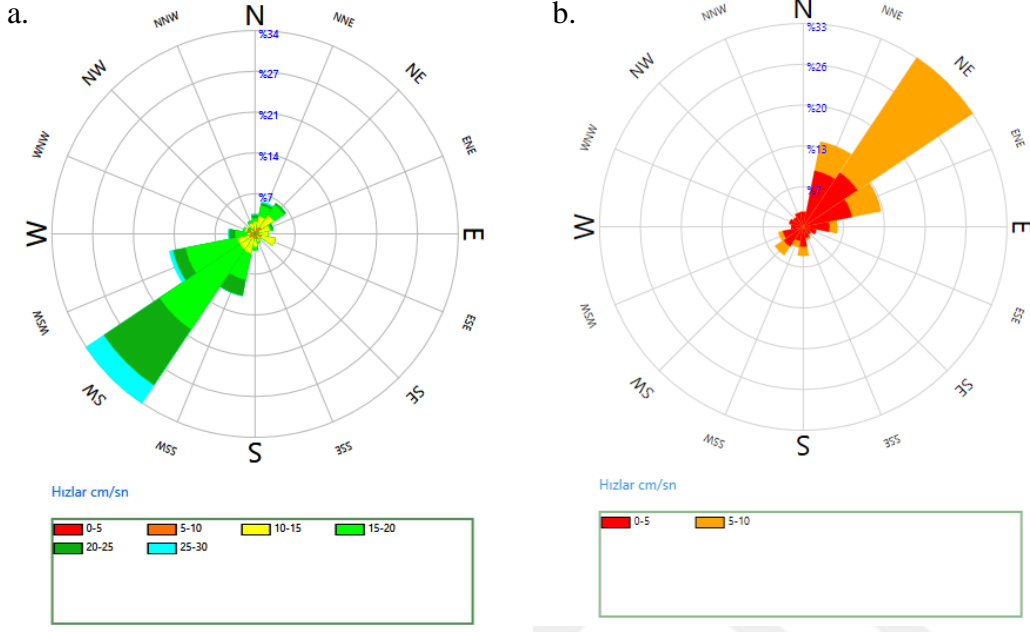
Şekil 17. Akıntı düzeni modelleme alanı su derinlikleri-Sığacık Körfezi (HYDROTAM-3D Pro, 2022)

Modelleme alanı $38,12.117^{\circ}\text{N}$ - $26,63458^{\circ}\text{E}$ ile $38,21.444^{\circ}\text{N}$ - $26,77.923^{\circ}\text{E}$ koordinatları arasındaki x-yönünde (E-W) 12645 m ve y-yönünde (N-S) 10364 m uzunluğunda bir alandan oluşmaktadır. Derinlik olarak, deniz dibinden itibaren altı tabaka, yatayda ise 632 m x 690 m uzunluklarında çözüm ağı kullanılmıştır (Şekil 18.)



Şekil 18. Modelleme alanı çözüm ağı-Sığacık Körfezi (HYDROTAM-3D Pro, 2022)

Modelleme çalışmalarında, model girdileri ile ölçüm tarihlerini (Mayıs 2018-Mayıs 2019) içeren bir yıllık akıntı tahminleri yapılmış, 6 saatte bir yapılan tahminlerin çıktıları alınmıştır. Su derinliğinin yaklaşık 80 m olduğu yetiştiricilik tesisi istasyonu için düzenlenen yıllık yüzey tabakası ve taban tabakası akıntı gülü Şekil 19.'da sunulmuştur.



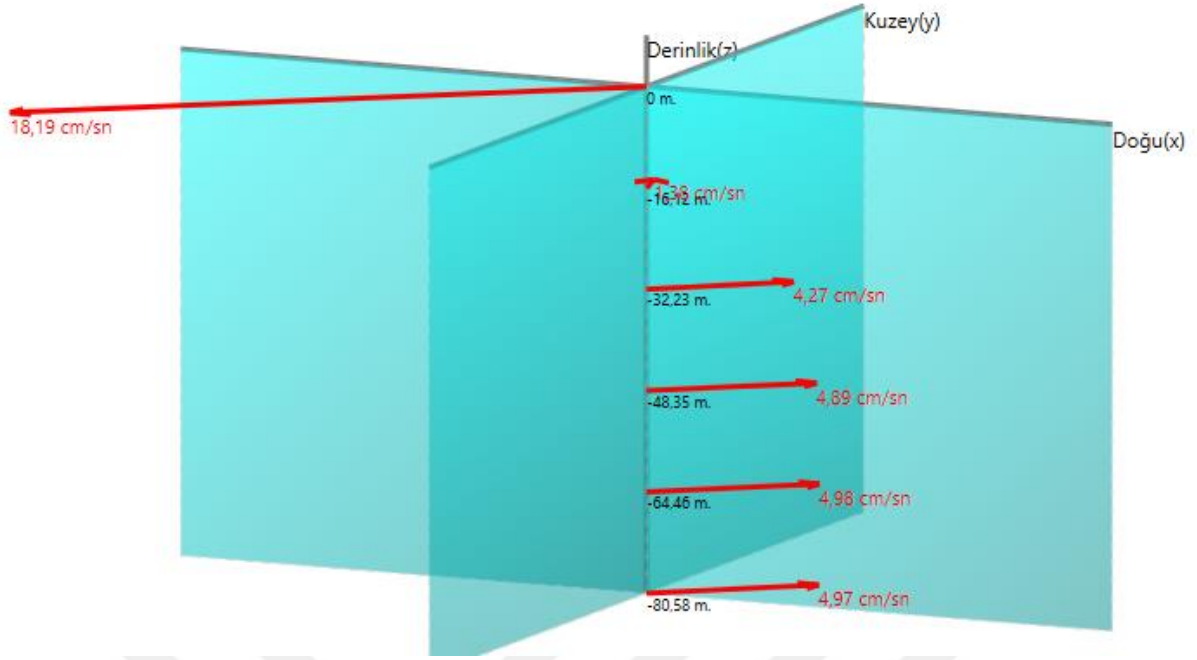
Şekil 19. Yıllık yüzey tabakası (a.) ve taban tabakası (b.) akıntı gülü (HYDROTAM-3D Pro, 2022)

Yüzey akıntılarının yaklaşık, %2 oranında 0-5 cm/s, %12 oranında 5-10 cm/s, %23 oranında 10-15 cm/s, %38 oranında 15-20 cm/s, %19 oranında 20-25 cm/s, %5 oranında 25-30 cm/s hızlarında olduğu görülmektedir. Yüzey suları, en yüksek 28,4 cm/s olmak üzere, sıklıkla (yaklaşık %34,33), GüneyBatı (SW) hakim yönlüdür. Taban tabakalarında akıntılar; yaklaşık %61 oranında 0-5cm/s, %39 oranında 5-10 cm/s, hızlarında olmak üzere, en yüksek akıntı hızı 8,9 cm/s'dir. Taban akıntılarının hakim yön aralığı KuzeyDoğu (NE) (%32,76) yönündedir.

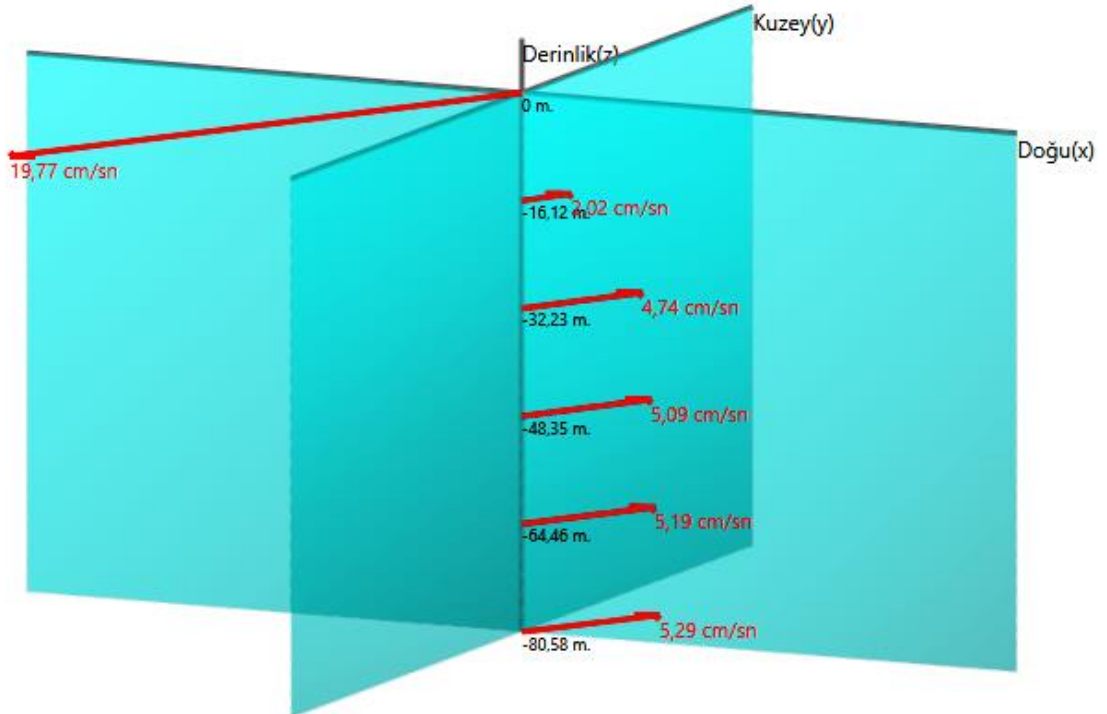
Sığacık Körfezi'nde açık denizde Kuzey (N) ve KuzeyDoğu (NE) yönlerinden esen rüzgârlar en kuvvetli akıntı düzenini oluştururlar. Yapılan çalışmalarda, Sığacık Körfezi yüzey suları, muhtemel en yüksek akıntı hızlarını ve çevrinti düzenlerini belirlemek için, rüzgâr güllerinden alınan aylık en yüksek rüzgâr hızının sabit kesme kuvveti etkisi ile hareketlendirilmiştir. ECMWF operasyonel arşiv rüzgâr verilerine göre, çalışmanın yapıldığı dönem (Mayıs 2018-Ocak 2019) içerisinde; 13.05.2018 tarihinde saat 00:00'da

10,01 m/sn, 10.08.2018 tarihinde saat 18:00'de 11,7 m/sn, 23.11.2018 tarihinde saat 06:00'da 13,6 m/sn ve 15.01.2019 tarihinde saat 12:00'de 14,4 m/sn hızla esen rüzgârlar etkisinde, derinlik boyunca akıntılar Şekil 20., 21., 22. ve 23.'te sunulmuştur.

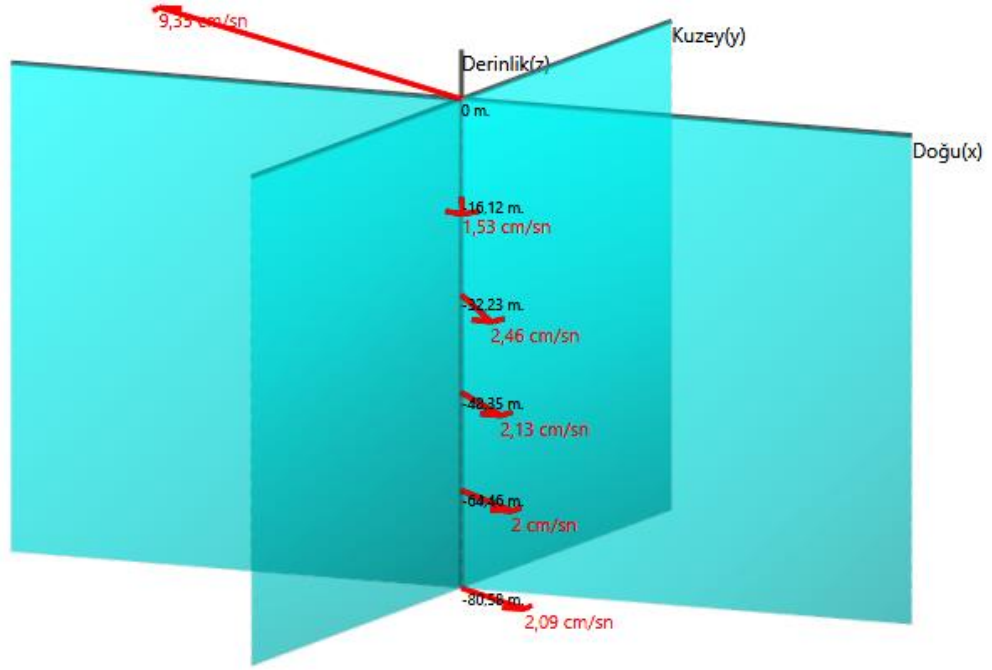




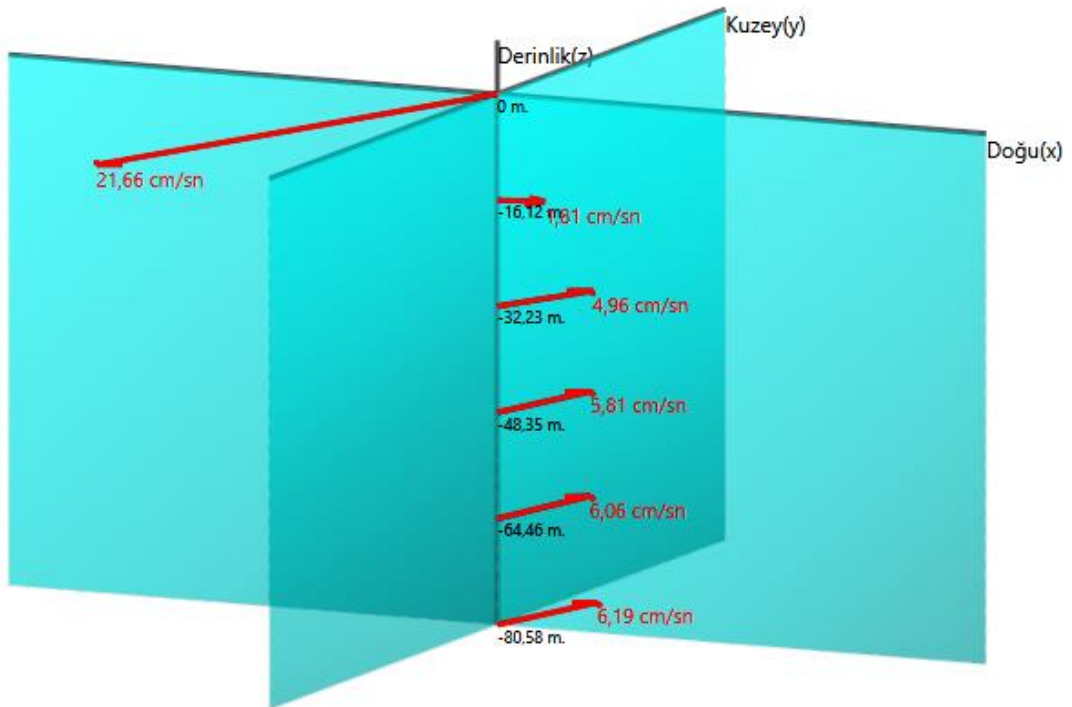
Şekil 20. 13.05.2018 tarihinde 10,01 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde derinlik boyunca akıntı hızlarının değişimi



Şekil 21. 10.08.2018 tarihinde 11,7 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde derinlik boyunca akıntı hızlarının değişimi



Şekil 22. 23.11.2018 tarihinde 13,6 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde derinlik boyunca akıntı hızlarının değişimi



Şekil 23. 15.01.2019 tarihinde 14,4 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde derinlik boyunca akıntı hızlarının değişimi

Modelleme çalışmaları, Sığacık Körfezi'nde yüzey suları genel olarak güneybatı (SW) yönüne doğru ilerleme gösterirken, ters yönde, su seviyesinin artmasına neden olan deniz yüzeyinde eğim oluşturmaktadırlar. Dolayısıyla meydana gelen barotropik basınç değişimi, dip tabakalarında akıntı yönünün kuzeydoğu (NE) yönüne dönmesine neden olmaktadır. HYDROTAM-3D Pro modelleme programı hem barotropik basınç değişimlerini hem de baroklinik değişimleri içermektedir. Yerçekimi, ay ve güneşin çekim etkisiyle oluşan gelgit kuvveti, su yüzeyini etkileyen rüzgar kuvveti, dünyanın dönüş hızından kaynaklı coriolis kuvveti, su kütlesi içerisinde günlük/mevsimsel sıcaklık değişimlerine bağlı yoğunluk farklılaşmaları, Ekman spirali (dünyanın dönmesinden dolayı olan Coriolis kuvveti neticesinde hareketin su üzerinde sürtünme ile yönü değişir. Normalde rüzgâr yönüne yaklaşık 45 derece kadar açı yaparak oluşan akım, deniz ve okyanus katmanlarının altına doğru etkisini azaltır ama mevcut ilk katman akıntı yönüne göre 90°'lik açı yapar.) yüzey tabakadaki akıntı yönünün, derinlere doğru inildikçe ters yönde değişmesine neden olmaktadır.

Sığacık Körfezi'nde, Ağustos (2018), Kasım (2018) ve Ocak (2019) aylarında Başaranlar orkinos tesisinde yapılan akıntı ölçümlerinde Başaranlar Orkinos Ağ Kafes yüzeyel deniz suyu akıntı hızının minimum 21 cm/s ölçüldüğü, akıntı hızının maksimum 34 cm/s hıza kadar ulaştığı kaydedilmiştir. Akıntı ölçüm değerlerinin yanı sıra, bölgede deniz suyu akıntı yönü ile ilgili bilgiler de düzenli olarak kayıt edilmektedir. Bölgedeki deniz suyu akıntılarının başlıca Kuzey ve Güney yönlü olduğu ve ağırlıklı olarak Ağustos ayında alınan ölçümler dışında güney (S, SSE) yönlü akıntılar olduğu belirlenmiştir.

İzleme çalışmasının yapıldığı Sığacık Körfezinde çeşitli akıntı çalışmaları yapılmış, akıntı hızlarının mevsimsel olarak yön ve hızlarının değiştiği tespit edilmiştir. Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü tarafından 2016 yılında başlatılan "Sığacık Körfezi'nde Su Kütlesinin Değişim Durumunu İçeren Modellemenin Yapılması" projesi kapsamında, Sayın, vd., 2017; su ürünleri potansiyel yetiştiricilik alanı olarak ilan edilen ve balık yetiştiriciliği yapılan ağ kafeslerin bulunduğu 9 no'lu potansiyel alanda akıntı hızı ve yönü konusunda çalışmalar yapmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bölgede hakim rüzgârların kuzey-kuzeydoğu yönlü olduğu, körfez'de ölçümlerin yapıldığı zaman diliminde "Körfez Suyu", "Upwelling Suyu" ve "Akdeniz Yüzey Suyu" olarak 3 farklı su tipinden söz edilebileceği belirtilmektedir. Körfezde oluşan "Upwelling" suyu sonucunda yüzey sularında soğuma görüldüğü, Akdeniz sularının körfeze girmesini önlediği tespit

edilmiştir. Baskın rüzgârın daha şiddetli olduğu zamanda körfeze giren akıntı ile "upwelling" sonucu oluşan kıyusal akıntı birleşerek güneydoğuya doğru daha kuvvetli bir akıntı oluşturduğu ifade edilmektedir. Sığacık Körfez'inin su değişim potansiyelinin oldukça yüksek olduğu, körfez suyunun kendisini 2 gün gibi kısa bir zamanda yenileyebildiği bildirilmektedir (<http://eced.csb.gov.tr/ced/jsp/ek1/32998#>).

4.2.4 Su Kalitesi Alt Modeli

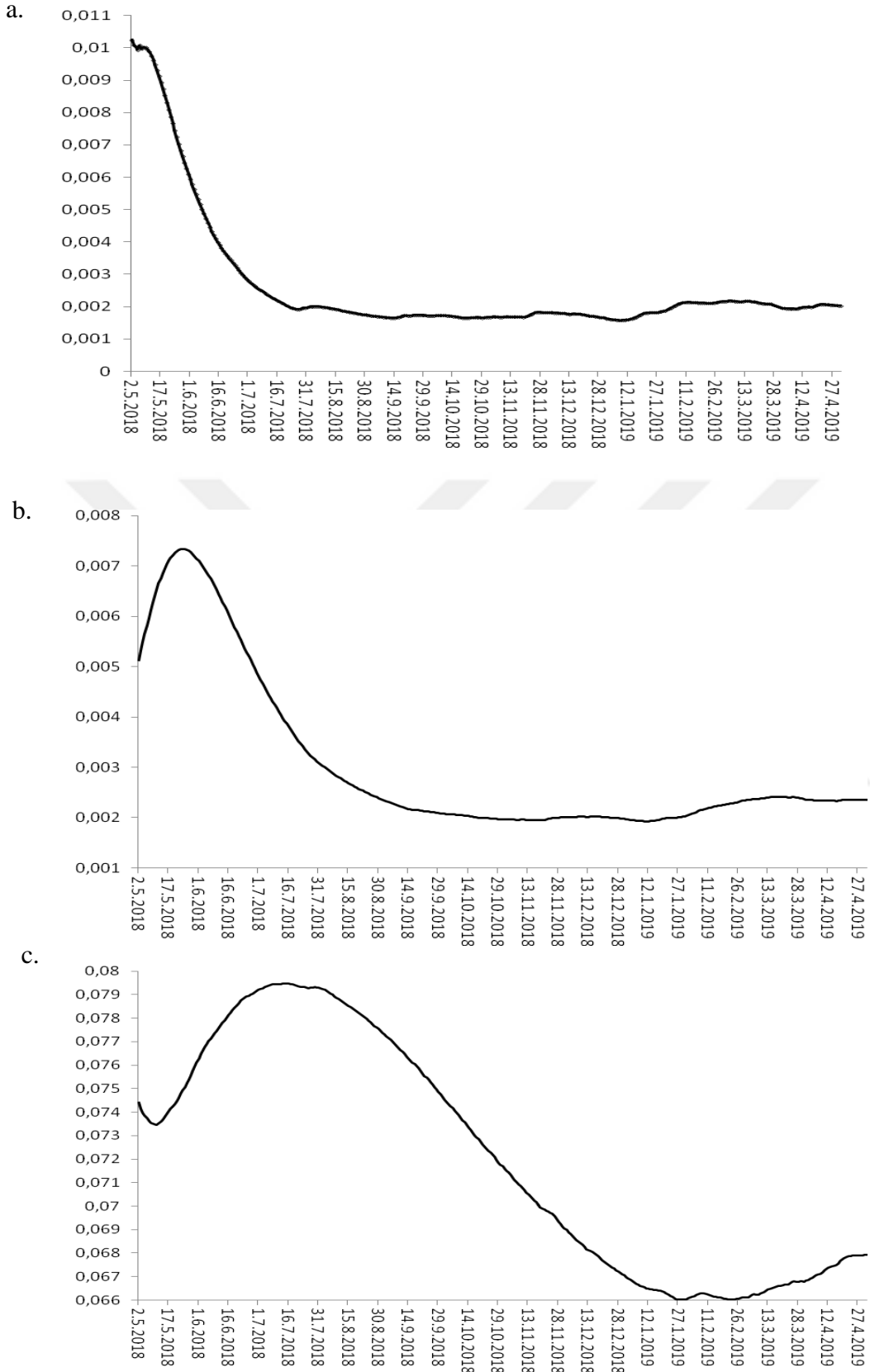
Çalışmanın yapıldığı dönemde Sığacık Körfezinden alınan su numunelerinin analizleri sonucu elde edilen su kalitesi verilerinin ortalamaları, HYDROTAM-3D Pro modelleme programında başlangıç değerleri olarak kullanılmıştır. Ayrıca örnekleme döneminde elde edilen fiziko-kimyasal değişkenlere ait sonuçlar da model sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Azot biyokimyasal döngüsü

Akıntı alt modeli ile entegre çalışan su kalitesi alt modelinde, modelleme sonuçlarına göre; ilkbahar mevsiminde amonyum konsantrasyonu 0,003285-0,009757 mg/L değerleri arasında bulunurken, diğer mevsimlerde 0,0005 mg/L'den daha düşük değerlerde bulunmaktadır. Örnekleme sonucundaki amonyum değerleri <0,01 mg/L olduğundan, modelleme sonucu benzeşmektedir (Şekil 24 a.). İlkbahar aylarında amonyum değerlerinin yüksek olması; artan fitoplankton yoğunluğu ile ortaya çıkan boşaltım ürünlerindeki artış ile ilişkilendirilebilir.

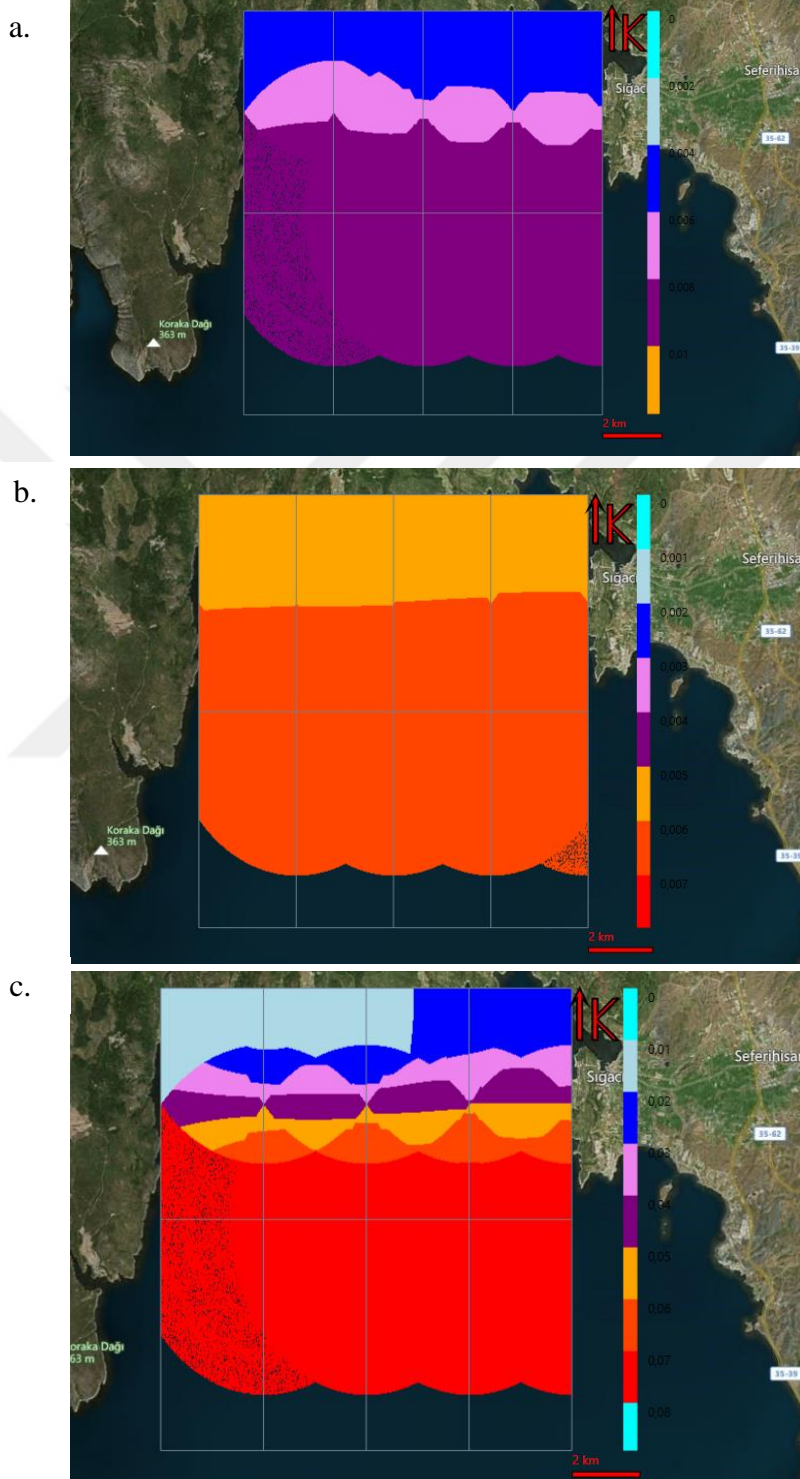
Nitrit (NO₂) değerleri, Mayıs ayı içerisinde 0,0609 ile en yüksek seviyesinde bulunurken, diğer aylar düşüş göstermekte ve 0,0005 seviyelerine kadar inmektedir (Şekil 24 b.). Yapılan örnekleme çalışmasından elde edilen verilerde, nitrit değerleri <0,005 mg/L olarak belirlenmiş olduğundan, modelleme sonucu ile uyumluluk göstermektedir.

Nitrat (NO₃) konsantrasyonu model hesaplamalarına göre, 0,07935 mg/L ile yaz ayı başında en yüksek seviyede bulunurken, sonbahar mevsiminden itibaren azalmaktadır. Ölçüm sonuçları ile model sonuçları karşılaştırıldığında; ölçüm sonuçlarına ait değerlerin model sonuçlarına göre daha düşük olmasına rağmen mevsimsel değişimleri benzerlik göstermektedir. Yaz aylarındaki amonyum ve nitrit değerlerinin düşük olması, amonyum ve nitritin nitrifikasyonla nitrate dönüşmesinden kaynaklanabilir. Ölçülen nitrat konsantrasyonları tatlı su kullanım seviyesinin (10 mg N/l) aşağısında bir değer olduğu için, Sığacık Körfezinde nitrat kaynaklı kirlilik söz konusu değildir (Şekil 24 c.).



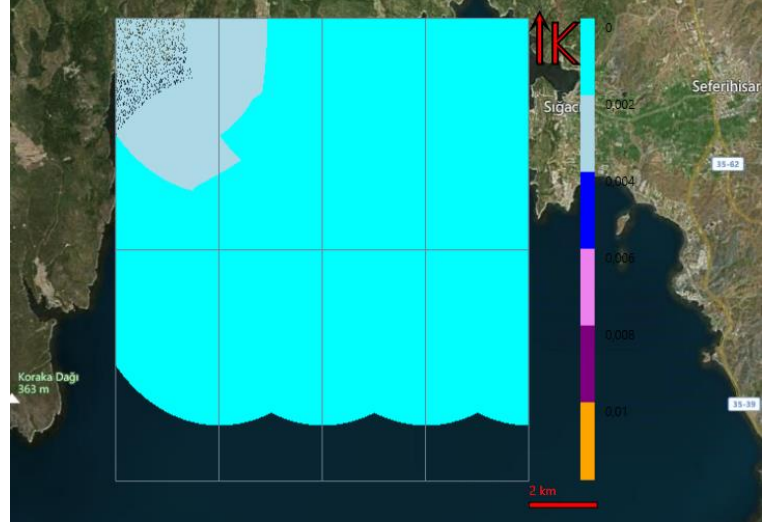
Şekil 24. Çalışmanın yapıldığı dönemde, amonyum (NH₄) (a.), nitrit (NO₂) (b.) ve nitrat (NO₃) (c.) konsantrasyonundaki değişim (HYDROTAM 3D Pro, 2022)

Su kalitesi alt modelinde Sığacık Körfezine ait, amonyum (NH_4), nitrit (NO_2) ve nitrat (NO_3) konsantrasyonlarının, çalışmanın yapıldığı aylardaki en yüksek rüzgâr hızında oluşan yüzeysel dağılımı Şekil 25.-26.-27.-28.'de gösterilmiştir.

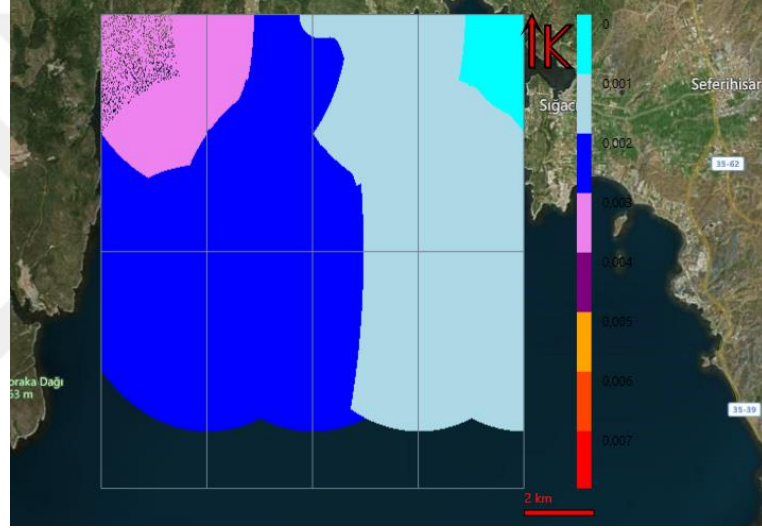


Şekil 25. 13.05.2018 tarihinde 10,01 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde; amonyum (NH_4) (a.), nitrit (NO_2) (b.) ve nitrat (NO_3) (c.) miktarının yüzeysel değişimi (HYDROTAM 3D Pro, 2022)

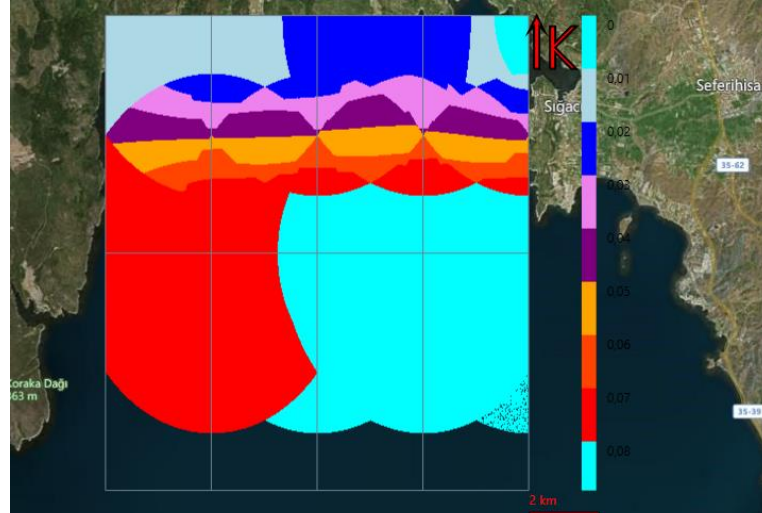
a.



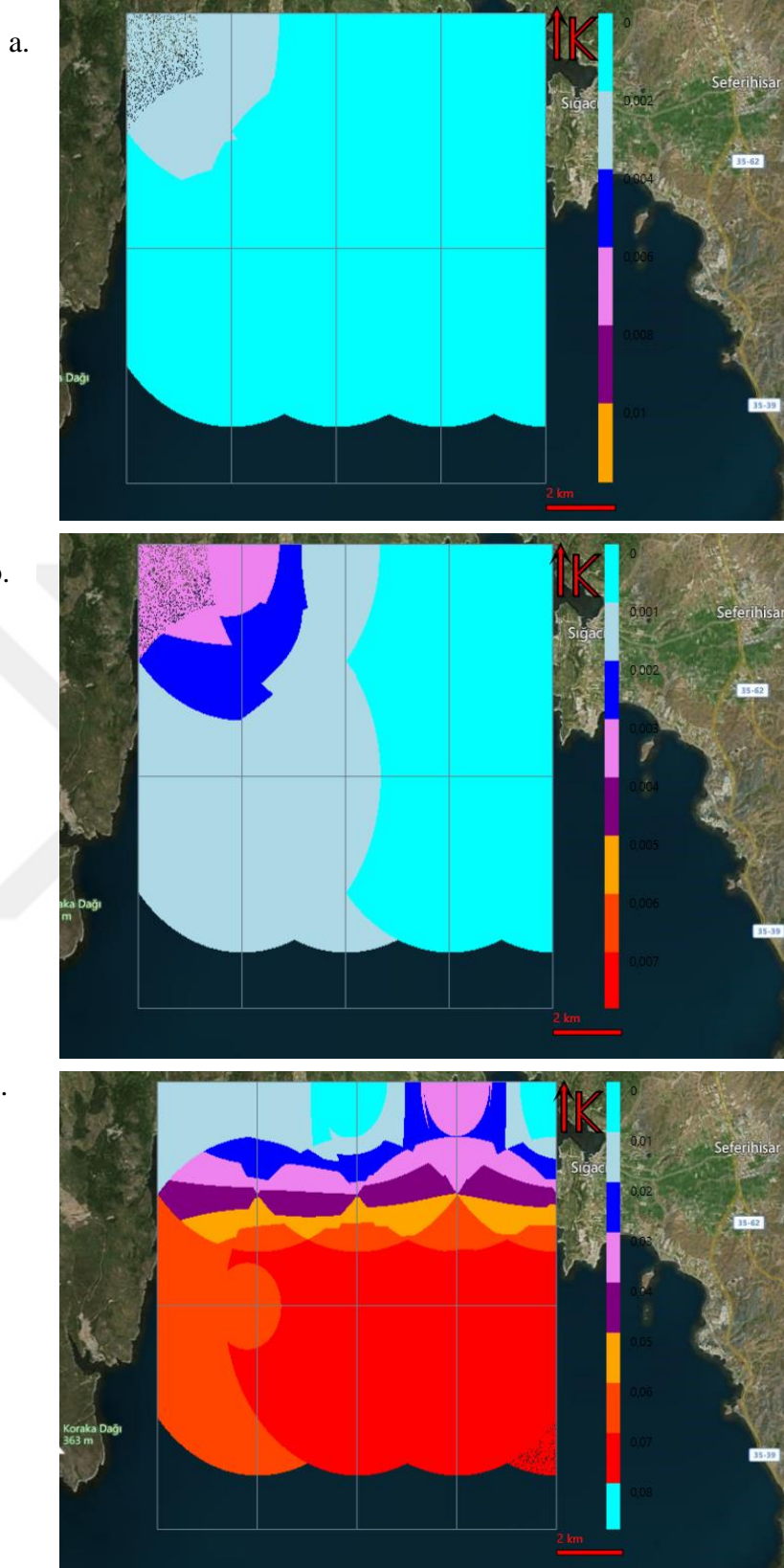
b.



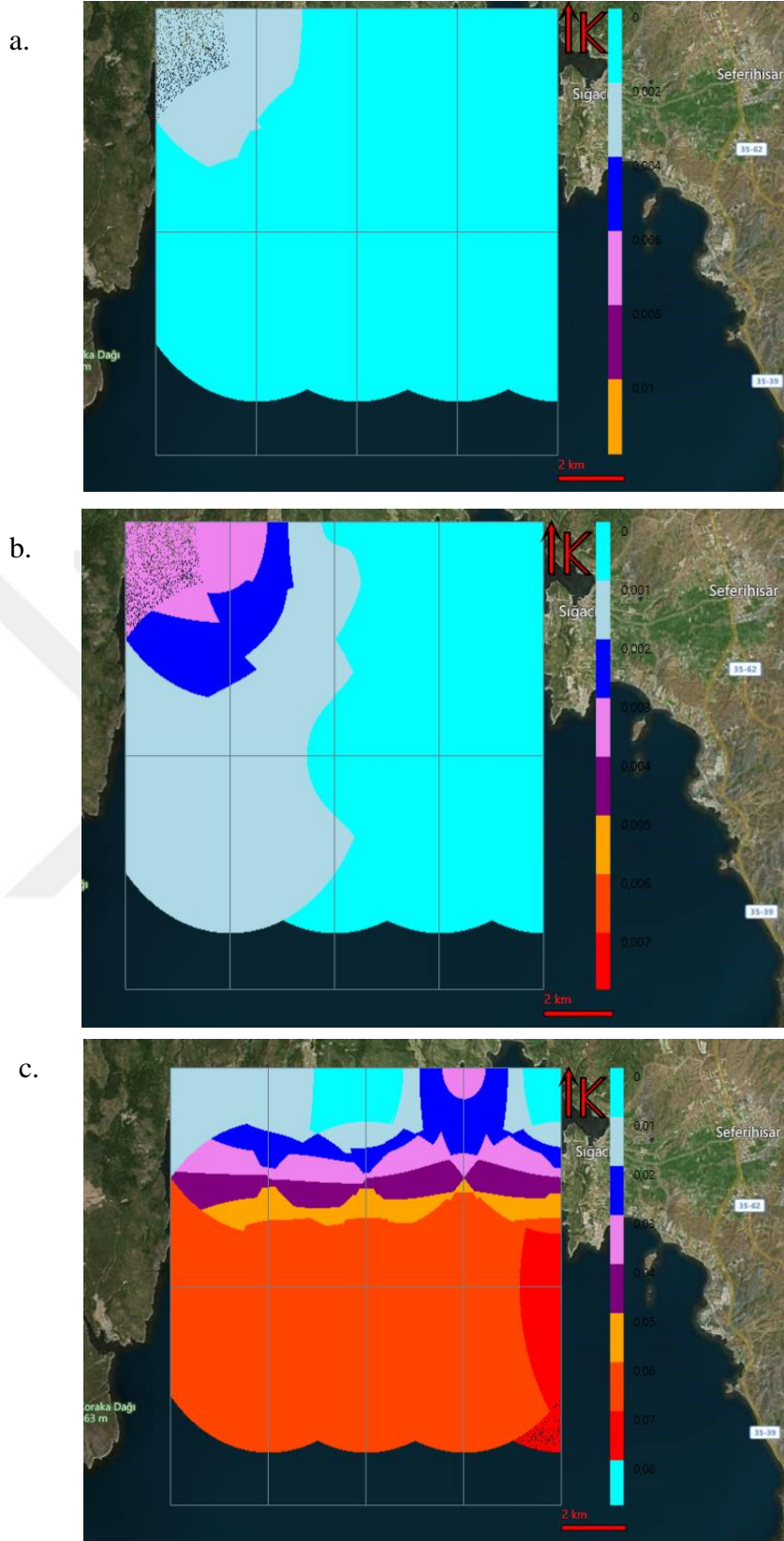
c.



Şekil 26. 10.08.2018 tarihinde 11,7 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde; amonyum (NH_4) (a.), nitrit (NO_2) (b.) ve nitrat (NO_3) (c.) miktarının yüzeysel değişimi (HYDROTAM 3D Pro, 2022)

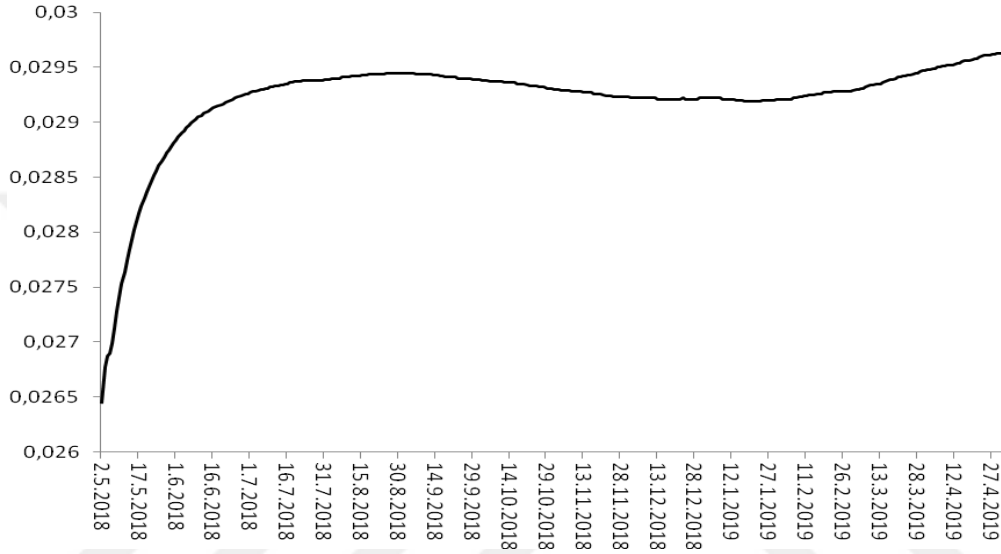


Şekil 27. 23.11.2018 tarihinde 13,6 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde; amonyum (NH_4) (a.), nitrit (NO_2) (b.) ve nitrat (NO_3) (c.) miktarının yüzeysel değişimi (HYDROTAM 3D Pro, 2022)



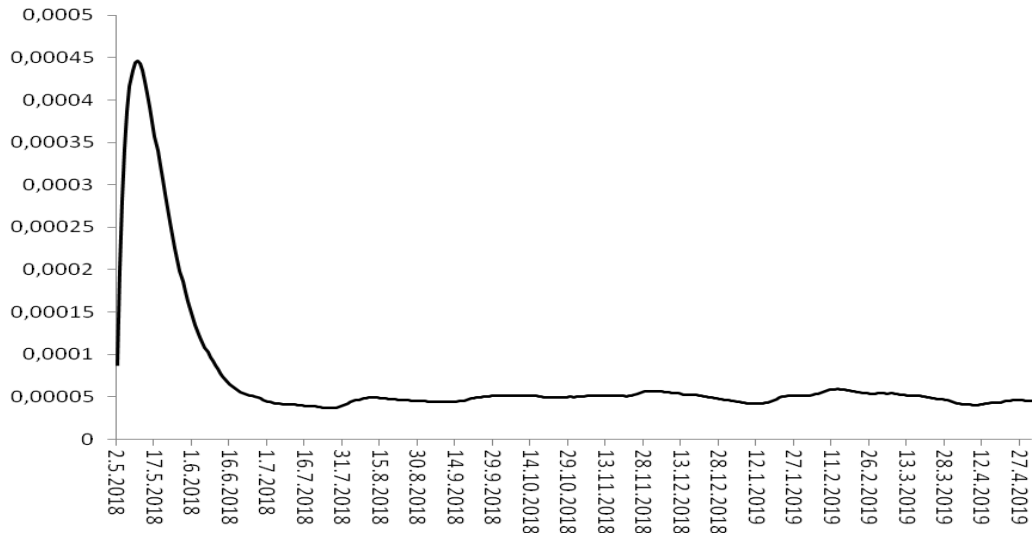
Fosfor biyokimyasal döngüsü

Modelleme sonuçlarına göre, inorganik fosfor değerleri ilkbahar mevsiminde artış göstererek 0,02963 mg/L ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır (Şekil 29.) Örnekleme çalışmasından elde edilen verilerde, toplam fosfor değerleri <0,01 ve 0,1 mg/L değerleri arasında olduğundan, modelleme sonucu ile uyumluluk göstermektedir.



Şekil 29. Çalışmanın yapıldığı dönemde, inorganik fosfor konsantrasyonundaki değişim (HYDROTAM 3D Pro, 2022)

Korunumlu çözülmüş organik fosfor konsantrasyonu, partikül organik fosforun bozunması ile artmakta ve mineralizasyon yolu ile inorganik fosfora dönüşmesi ile azalmaktadır (Cebe, 2016). Modelleme sonucunda, Mayıs ayında 0,00047 mg/l ile en yüksek seviyeye ulaşan korunumlu çözülmüş organik fosfor konsantrasyonu, diğer aylarda düşüş belirlenmiştir (Şekil 30.). Çalışmanın yapıldığı dönemde elde edilen verilerde organik fosforun <0,01 mg/L olduğundan, modelleme sonucu ile uyumludur.

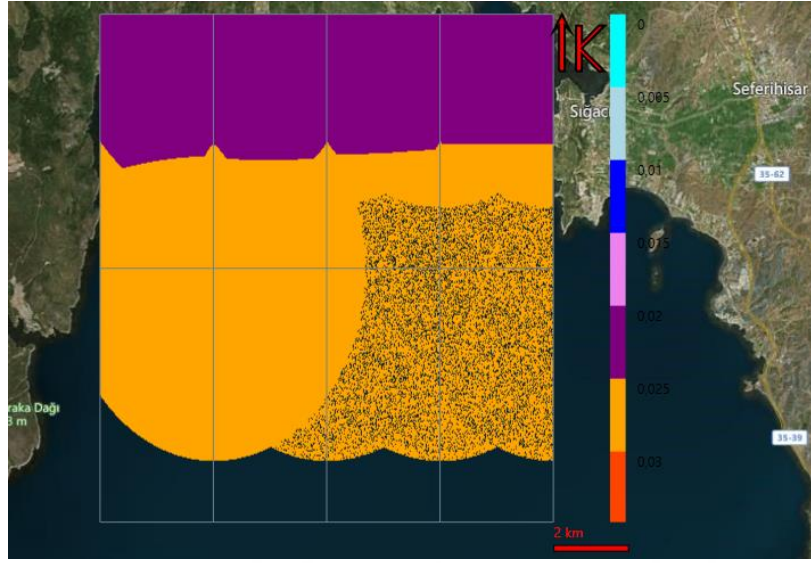


Şekil 30. Çalışmanın yapıldığı dönemde Korunumlu çözülmüş organik fosfor konsantrasyonundaki değişim (HYDROTAM 3D Pro, 2022)

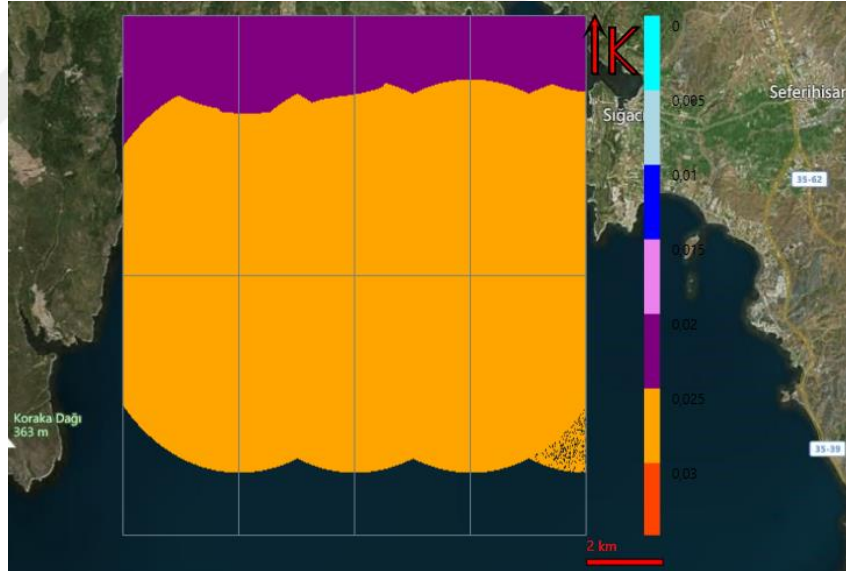
Sığacık Körfezine ait, inorganik fosfor konsantrasyonlarının, çalışmanın yapıldığı aylardaki en yüksek rüzgâr hızında oluşan yüzeysel dağılımı Şekil 31.-32.-33.-34.'te gösterilmiştir. Körfezin kıyısal alanlarında, sonbahar ve kış aylarındaki inorganik fosfor konsantrasyonu, ilkbahar ve yaz aylarına istinaden artış göstermektedir.

İnorganik fosfor konsantrasyonunun sudaki artışına başlıca;

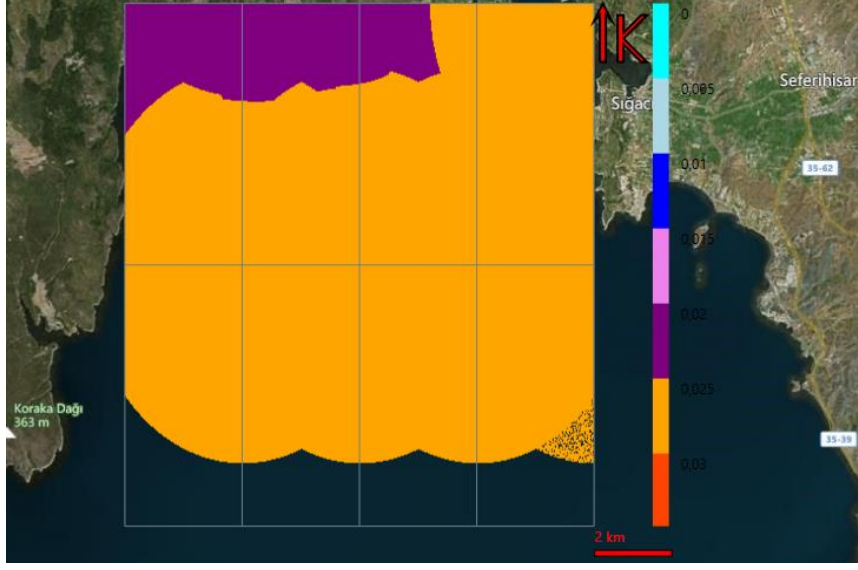
- Fitoplankton boşaltım ve solunumu ile suya salgılanan materyalin inorganik kısmı.
- Zooplankton solunumu ile suya salgılanan materyal.
- Korunumlu ve korunumsuz çözülmüş organik fosforun mineralizasyonu.
- Partikül organik fosforun bozunması neden olmaktadır.



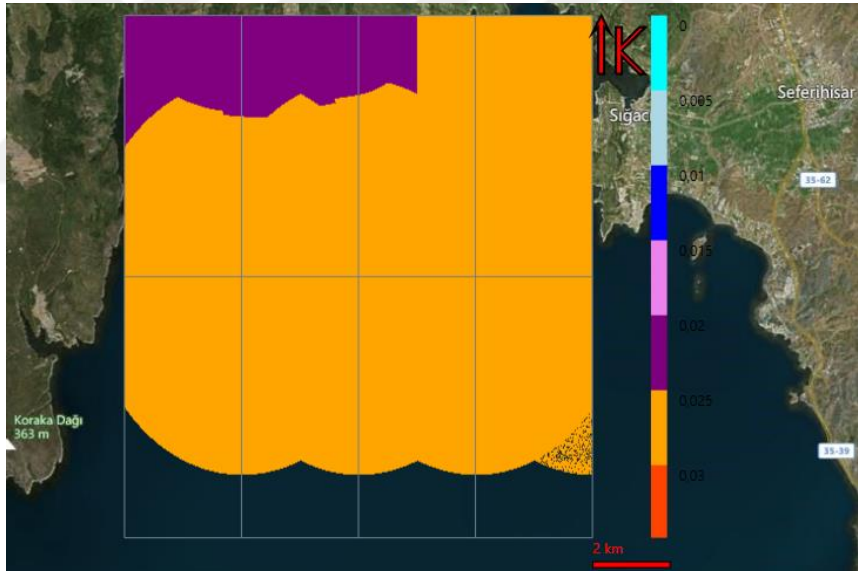
Şekil 31. 13.05.2018 tarihinde 10,01 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde; inorganik fosfor miktarının yüzeysel değışimi (HYDROTAM 3D Pro, 2022)



Şekil 32. 10.08.2018 tarihinde 11,7 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde; inorganik fosfor miktarının yüzeysel değışimi (HYDROTAM 3D Pro, 2022)



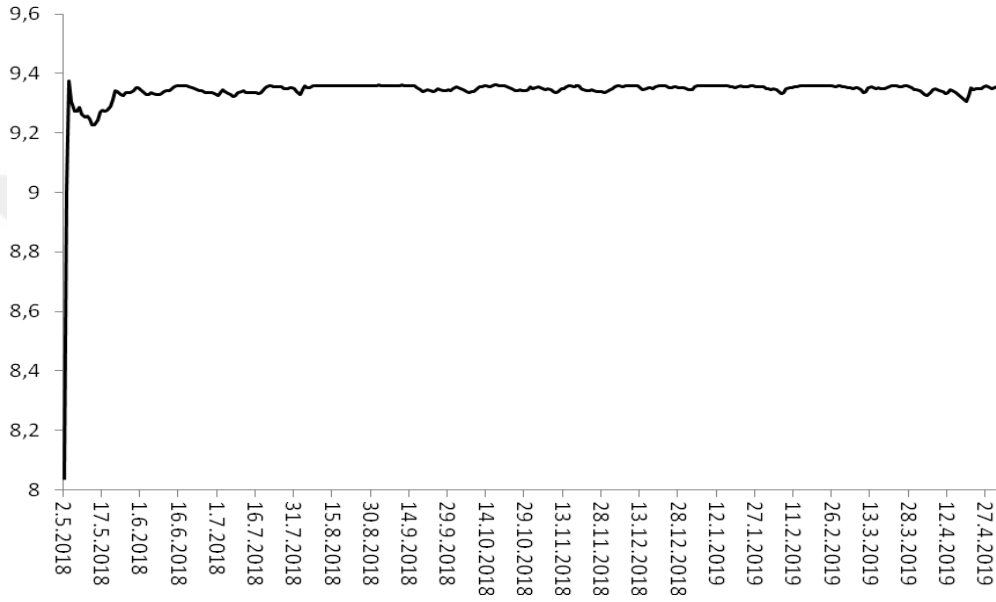
Şekil 33. 23.11.2018 tarihinde 13,6 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde; inorganik fosfor miktarının yüzeysel değişimi (HYDROTAM 3D Pro, 2022)



Şekil 34. 15.01.2019 tarihinde 14,4 m/sn hızında esen rüzgâr etkisinde; inorganik fosfor miktarının yüzeysel değişimi (HYDROTAM 3D Pro, 2022)

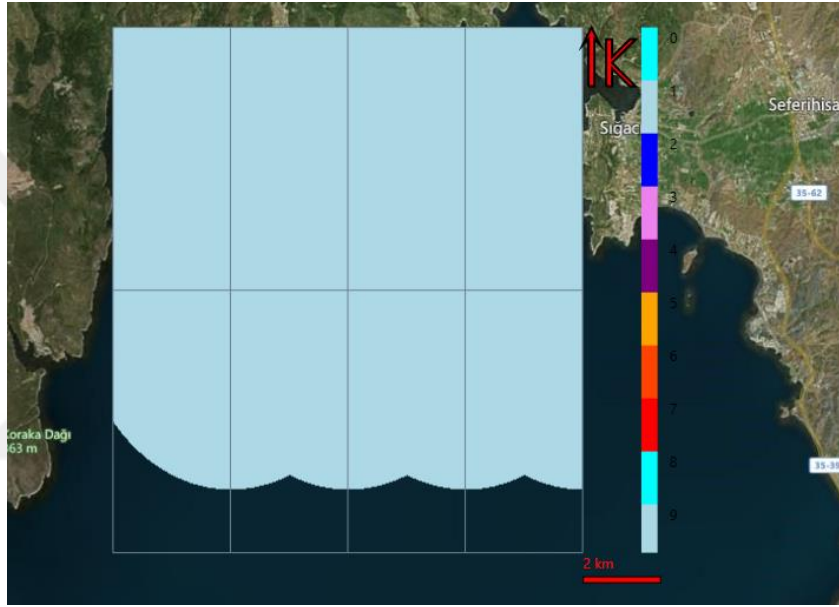
Oksijen biyokimyasal döngüsü

Oksijen biyokimyasal döngüsü sırasında canlı organizmaların solunumu ve partikül organik maddelerin bozunma ve mineralizasyonu ile çözülmüş oksijen miktarı azalmakta, fitoplanktonun fotosentezi ve denitrifikasyon süresince açığa çıkan oksijen ile artış göstermektedir (Şekil 35.)



Şekil 35. Çalışmanın yapıldığı dönemde çözülmüş oksijen konsantrasyonundaki değişim (HYDROTAM 3D Pro, 2022)

Modelleme sonucunda çözülmüş oksijen konsantrasyonu genel olarak 9,30 mg/L seviyelerinde bulunmakta olup, yüzeysel dağılımında farklılık gözlenmemiştir (Şekil 36.). Örnekleme sonuçlarında da Sığacık Körfezi, *Yerüstü Su kalitesi Yönetmeliği, Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Kıyı Suları Alıcı Ortam Kalite Kriterlerinde*, Ege-Akdeniz için verilen çözülmüş oksijen değeri, I.sınıf su kalitesinde belirtilen ≥ 7 mg/L'den yüksek olduğu belirlenmiştir (Yerüstü Su kalitesi Yönetmeliği, 2021).



Şekil 36. Çözülmüş oksijen konsantrasyonunun yüzeysel dağılımı (HYDROTAM 3D Pro, 2022)

Saha ölçüm çalışmaları ve modelleme sonuçları arasında oldukça önemli bir ilişki bulunmaktadır. Mayıs 2018- Ocak 2019 tarihleri arasında mevsimsel olarak gerçekleştirilen bu tez çalışmasında belirlenen istasyonlardan alınan su örneklerinin fiziko-kimyasal (çözülmüş oksijen, amonyum, nitrit, nitrat ve fosfor) analiz sonuçları ile HYDROTAM-3D Pro modelleme programının su kalitesi alt modeli sonuçları karşılaştırıldığında, söz konusu verilerin uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde su ürünleri yetiştiriciliği için önemli bir yere sahip Sığacık Körfezinde, Mayıs 2018- Ocak 2019 döneminde mevsimsel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada; saha örneklemelerinin sonuçları ile model sonuçlarının karşılaştırılması ve örnekleme sonuçlarının desteklenmesi amaçlanmıştır. Bölgedeki yetiştiricilik faaliyetleri sonucunda fiziko-kimyasal değişkenlerin dağılım karakteristiğinin ortaya çıkarılması için, Türkiye’de birçok kıyı alanına uyarlanmış ve yerli bir modelleme programı olan HYDROTAM-3D Pro modeli kullanılmıştır.

Sığacık Körfezi’nde yapılan araştırma sonuçlarına göre; kafes ve referans istasyonlarında tuzluluk, sıcaklık, çözünmüş oksijen (Ç.O), askıda katı madde (AKM) ve besin tuzları gibi fiziko-kimyasal su kalitesi parametrelerinin ve klorofil-*a* gibi biyolojik parametrelerin değerlerinde önemli bir farklılık olmadığı gözlenmiştir. Tuzluluk, sıcaklık, ve çözünmüş oksijen değerlerinin mevsim değerlerinde olduğu, besin tuzları (NO₃+NO₂-N, NH₄-N, TN, PO₄-P, TP, Si) değerlerinin T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından açıklanan deniz ürünleri yetiştiriciliğinde su kalite kriterlerinin üzerinde olmadığı söylenebilir. AKM değerlerinin de deniz suyu genel kalite kriteriyle uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Denizlerde su kalitesi değişimini etkileyen en önemli faktörlerden olan akıntı yönünün ve hızının belirlenmesi için; rüzgâr, yoğunluk, gel-git ve coriolis kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır. HYDROTAM-3D Pro modelleme programının, akıntı modellemesi sonucuna göre; Sığacık körfezinde yüzey suları baskın olarak güneybatı (SW) yönüne doğru ilerlerken, akıntı hızı Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, *Denizlerde Faaliyet Gösteren Balık Çiftliklerinin Çevresel Yönetimi Yönetmeliğinde* belirtilen 0,1m/sn’nin altına düşmemiştir. Sığacık Körfezinde, 2007-2010 yılları arasında üç yıl süreyle yürütülen "Su Ürünleri Yetiştiricilik İşletmelerinin Denizel Ekosisteme olan Etkilerinin Belirlenmesi" (Proje No: 105G038) adlı TUBITAK araştırma projesinde, Sığacık Körfezinde yapılan aylık akıntı ölçüm çalışmaları ADCP cihazı ile yapılmıştır. Sığacık Körfezinde, Demircili Koyu yakınında bulunan ÖZSU ağ kafes işletmesinden

alınan akıntı verilerine göre hakim akıntının güney-güneybatı yönlü olduğu tespit edilmiştir (Palta, 2010).

Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre;

- ✓ Saha çalışmalarına ait fiziko-kimyasal ve biyolojik veriler ile su kalitesi alt modeli sonuçları karşılaştırılarak sonuç değerlerinin uyumlu olduğu,
- ✓ Modelleme programında, Sığacık Körfezine ait rüzgâr verileri Seferihisar Devlet Meteoroloji İstasyonu ve ECMWF'den alınarak karşılaştırılmış, bölgede hakim rüzgârların kuzey ve kuzeydoğu yönlerinden olduğu,
- ✓ Kıyusal yapıların yapımında çok önemli yer tutan dalga iklimi modellenmesi ile bölgede hakim dalga yönünün güney ve güneygüneybatı olduğu,
- ✓ Çalışmanın yapıldığı döneme ait en yüksek rüzgâr hızında, akıntı hızının ve yönünün modellenmesi sonucu, akıntı ilerlemesinin baskın olarak güneybatı yönünde olduğu,
- ✓ Bölgeye ait hakim rüzgârların akıntı karakteristiğine doğrudan etki yaptığı belirlenmiştir.

Sığacık Körfezinin kuzey ve kuzeydoğu tarafında kentsel yerleşim bulunmakta olup, batı tarafında ise daha çok su ürünleri yetiştiricilik tesisleri yer almaktadır. Amonyum, nitrit ve nitrat konsantrasyonlarının yüzeysel değişimleri ile fosfor döngüsü konsantrasyonunun yüzeysel değişimleri incelendiğinde; akıntıların ve rüzgârların etkisiyle güney ve güneybatı yönüne doğru sürüklenmenin olduğu gözükmektedir. Amonyum ve nitrit konsantrasyonları körfezin kuzey ve kuzeybatı bölgelerinde yoğun iken nitrifikasyon sonucu ve akıntıların etkisiyle güney yönlerine doğru azalmaktadır. Dolayısıyla nitrat konsantrasyonunun güney yönlerine doğru artış içinde olduğu görülmektedir. Fosfor döngüsü konsantrasyonunun körfezin kuzey alanlarına nazaran, açık olan güney tarafında yoğunlaştığı gözlenmiştir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu yıl boyunca aynı seviyelerde bulunurken, körfezin tüm alanlarında farklılık göstermemiştir.

Sığacık Körfezinde fiziko-kimyasal parametrelerin dağılımının benzetimi yapılarak, ortamdaki dağılımın yerleşim yerleri ve yetiştiricilik tesislerinin bulunduğu bölgelerden,

körfezin açık olan güney tarafına doğru sürüklenme eğilimde olacağı sonucuna varılabilir. Ayrıca, yetiştiricilik faaliyetleri sonucu oluşan yem, dışkı...vs. atıkların, körfezin içerisinde herhangi bir birikime kalıcı olarak yol açmasının mümkün olmadığı söylenebilir.

Sığacık Körfezi su ürünleri yetiştiriciliği ve turizm açısından önemli bir konumda bulunmaktadır. Ülkemizde, Sığacık Körfezi gibi üretim ile turizm faaliyetlerinin birlikte olduğu alanların sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla;

Günümüzde, ülke ekonomisine sağlamış olduğu katkı ve içerdiği besin değeri bakımından insan sağlığı için önemli yere sahip su ürünlerinin yetiştiriciliğinin, çevreye zarar vermeden verimli bir şekilde yapılabilmesinde, tesislerin kurulacağı bölgelerin fiziksel koşullarının önceden araştırılması önemlidir,

Yetiştiricilik tesisinin bulunduğu koy veya körfezin; hakim rüzgâr yönlerinin, akıntı karakteristiğinin bilinmesi ve modellenmesi, ileride oluşabilecek olası kirlenmenin boyutlarının öngörülebilirliğini sağlayarak, geri dönüşü olmayan kayıpların önüne geçebilir,

Düzenli olarak su kalitesi değişkenlerinin takip edilmesi ve tez çalışmasında kullanılan HYDROTAM-3D Pro modelleme programı gibi teknoloji ürünlerinden destek alınarak, yaygın bir şekilde su ürünleri yetiştiricilik tesislerinin faaliyet gösterdiği alanlarda kullanılması, üretimden kaynaklı çevresel olumsuzlukların önceden tespiti için önerilebilir.

Ülkemizde su ürünleri yetiştiricilik tesislerinin çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla birçok farklı çalışma yapılmıştır. Ancak, bu tez çalışması saha çalışmalarının HYDROTAM-3D Pro modelleme programında yeralan rüzgâr iklimi alt modeli, dalga iklimi alt modeli, taşınım alt modeli ve su kalitesi alt modelleri ile birlikte desteklenerek ortaya çıkan özgün bir çalışmadır.

KAYNAKÇA

Aksu, M. (2009). "Investigation of the Impacts of some fish farms on marine environment in the Izmir Bay (İzmir Körfezi'ndeki Bazı Balık Çiftliklerinin Sucul Çevreye Etkilerinin Araştırılması)". *E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 26 (4): 271–279.

Aksu, M., Kaymakçı-Başaran A. ve Egemen Ö. (2016) "Doğu Akdeniz'de Kıyı Ötesi Mavi Yüzgeçli Orkinos Besiciliğinin Su Kalitesine Etkileri". *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 16 (4): 855 - 863

Al-Sammarraie, K. (2019). "A Comparative Study on the Wave Climate of Southern Aegean Coastline of Turkey". *MSc Thesis, Atılım University, Institute of Science and Technology, Ankara, Turkey.*

APHA (1995). *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater.*

Balas, L. ve Özhan, E. (2001). "Applications of a 3-D Numerical Model to Circulations in Coastal Waters". *Coastal Engineering Journal*, 43, 99-120.

Balas, L. ve Özhan, E. (2002). "Three Dimensional Modelling of Stratified Coastal Waters". *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 56, 75-87.

Balas, L. ve Cebe, K. (2011). "A Three-Dimensional Numerical Model to Simulate Coastal Flow and Transportation Mechanism". Paper presented at the *2nd International Symposium on Computing in Science & Engineering*, Aydın, Turkey.

Balas, L., (2001). "Simulation of Pollutant Transport in Marmaris Bay". *Chinese Ocean Engineering Journal*, 15, 565-578.

Balas, L., Cebe, K. ve Akay, N. (2011). "A Coastal Engineering Model Based on Cloud Computing". Paper presented at the *The 10th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST*, Rhodes, Greece.

Balas, L., Kucukosmanoğlu, A. ve Ozhan, E. (2004). "Bodrum Körfezi 'nde Akıntı Düzeninin ve Kirletici Taşınımının Benzeştirilmesi". *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları V. Ulusal Konferansı*, 4-7 Mayıs, Adana.

Barg, U.C. (1992). "Guidelines for the promotion of environmental management of coastal Aquaculture development". *FAO Fish Tech. Rap.* 328:122 p.

Bishop, P.L. (1983). "Marine Pollution and Its Control", *McGraw-Hill Book Company*, New York, Pp: 357.

Cebe, K. ve Balas, L. (2010). "HYDROTAM-3 Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım Modeli". Türkiye Kıyıları '10: *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları VIII. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*. 3, 1121-1135.

Cebe, K. ve Balas, L. (2013). "Hydrotam: Water quality simulation by numerical modeling". Presented at the *International Conference on Environmental Science and Technology, IC0EST2013*. Nevşehir, Turkey.

Cebe, K. ve Balas, L. (2015). "Numerical Modelling and Monitoring of Coastal Water Quality". Presented at the *International Conference on Civil and Environmental Engineering, IC0CEE2015*. Nevşehir, Turkey.

Cebe, K., Yılmaz, N., Fidanoğlu Yıldırım, P., İnan, A. ve Balas, L. (2015). "The Need for the Integration of Land Use Planning and Water Quality Modeling in the Case of Fethiye Bay." *2nd International Sustainable Buildings Symposium, ISBS2015*, Ankara, Türkiye.

Cebe, K. ve Balas, L. (2016). "Water Quality Modelling in Kaş Bay, Applied Mathematical Modelling, Simulation and Computation for Engineering and Environmental Systems", Ed. *Johann Sienz*. 40 (2016), 1887-1913.

Chapra, S.C. (1997). "Surface Water-Quality Modeling". *The McGraw-Hill Companies*, NewYork, USA.

Clesceri, L.S., Greenberg, A.E. ve Eaton, A.E. (1998). "Method 2540 B. (Total Solids), Method 2540 C. (Total Dissolved Solids) and Method 2540 D. (Total Suspended Solids). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", *20th Edition*. 1325 p.

Culha-Turk, S. ve Karaduman, F.R. (2020). “The influence of marine fish farming on water and sediment quality: Ildır Bay (Aegean Sea)”. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192: 528

Eronat, (2017). “İzmir Körfezi’nin fiziksel oşinografisine genel bakış” *Ege Journal of fisheries and Aquatic Sciences*, 34(1): 1-9

FAO, (2018). FAO Statistical Query Results, Fisheries and Aquaculture Information and Statistics Branch. Retrieved July 15, 2018, from http://www.fao.org/figis/servlet/SQServlet?file=/usr/local/tomcat/8.5.16/figis/webapps/figis/temp/hqp_7427730058871457676.xml&outtype=html.

Gillibrand, P. ve Turrell, W. (1997). “The use of simple models in the regulation of the impact of fish farms on water quality in Scottish sea lochs”. *Aquaculture*, 159: 33-46.

Gowen, R. J. ve Bradbury, N. B. (1987). “The ecology impact of salmonid farming in coastal waters”. A review. *Oceaogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 25: 563-575.

Gürses, R.K, Büyükkateş, Y., Yiğit, M., Ergün S., Ateş A.S. ve Özdilek H.G. (2019). “Potential environmental impacts of tuna cage farming in the Aegean Sea”. *Aquat Res* 2(2):61–72.

Jorgensen, S.E. ve Bendoricchio, G. (2001). “Fundamentals of Ecological Modelling”, *Third Edition. Oxford, England: Elsevier Science*.

İnan, A. ve Balas, L. (2002). “Bir Dalga İlerlemesi Modeli ve Belceğiz Kıyı Alanına Uygulanması”, *Türkiye’nin Kıyı ve Deniz Alanları IV. Ulusal Konferansı*, 57., İzmir.

İnan, A., Cebe, K. ve Ankara, A. (2020). Rüzgar ve Dalga İkliminin Modellenmesi: Gökçeada Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 144-151.

Kampuoris, T.E., Zabeli A.C. ve Batjakas I.E. (2018). "Large scale offshore fish farm in Greece by using submerged cages, the case of Holy & Great Monastery of Vatopedi, Mount Athos North Aegean Sea". Proceedings of the *3th International Congress HydroMediT 2018*, University of Thessaly, Volos, Greece.

Kaymakçı-Başaran, A., Aksu, M. ve Egemen, Ö. (2007). "İldır Koyu'nda İzmir-Ege Denizi Açık Deniz Ağ Kafeslerde Yapılan Balık Yetiştiriciliğinin Su Kalitesi Üzerine Etkilerinin İzlenmesi". *Tarım Bilimleri Dergisi*, 13 (1): 22-28

Kaymakci-Basaran, A., Aksu, M. ve Ozdemir, E. (2009). "Impacts of the fish farms on the water column nutrient concentrations and accumulation of heavy metals in the sediments in the eastern Aegean Sea (Turkey)". *Environmental Monitoring and Assessment*, Doi: 10.1007/s10661-009-0808-x

Kucukosmanoglu, A., Balas, L. ve Özhan, E. (2003). "Modelling of Mixing and Flushing in Fethiye Bay", Proceedings of the *Sixth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST03*. 3, 2099-2107, Ravenna, Italy.

Okumuş, İ. (1997a). "Deniz kafeslerinde balık yetiştiriciliğinin ekolojik bazı etkileri ve balık midye polikültür yaklaşımı". *Akdeniz balıkçılık kongresi*, 9-11 Nisan, İzmir 10.

Okumuş, İ. (1997b). "Deniz Kafeslerinde Balık Yetiştiriciliğinin Çevresel Etkileri"; *Türkiye Kıyıları 97, I. Ulusal Konferansı Bildiriler Kitabı* (Edit. E. Özhan), 24-27 Haziran 1997, Kıyı Alanları Yönetimi Türk Milli Komitesi, ODTÜ, Ankara, 491-501 s.

Okumuş, İ. (1997a). "Deniz Kafeslerinde Balık Yetiştiriciliğinin Ekolojik Bazı Etkileri ve Balık - Midye Polikültür Yaklaşımı". Hossu, B. (Ed.) *Mediterranean Fisheries Congress*, 9-11 April 1997, İzmir, 323-329 p.

Orçun, E. ve Sunlu, U. (2007). "Sığacık (Seferihisar-İzmir) Bölgesi Ağ Kafeslerde Yapılan Balık Yetiştiriciliğinin Sucul Ortama Olan Etkilerinin Araştırılması." *Ege Üniversitesi Dergisi*, 24: 01-09

Özhan, E. ve Balas, L. (1992). "Three Dimensional Mathematical Modelling of Currents and Pollutant Transport in İzmir Bay. Hydraulic and Environmental Modelling: Coastal Waters - Proceedings of the Second International Conference on Hydraulic and

Environmental Modelling of Coastal, Estuarine and River Waters”, 1: 381-397, *Ashgate Publishing Limited.*, Bradford, United Kingdom.

Palta, Z.H. (2010). “Gerence ve Sığacık Körfez’inde (Ege Denizi), iki ağ kafes işletmesinde çevresel parametrelerin zooplankton dinamiğine etkisi”. *Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* 91s

Pitta, P., Karakassis, I., Tsapakis, M. ve Zivanovic, S. (1999). “Natural vs. mariculture induced variability in nutrients and plankton in the eastern Mediterranean”. *Hydrobiologia* 391: 181–194.

Sayın, E., Gündüz, M., ve Eronat, C. (2017). “Sığacık Körfezi’nde Su Kütlesinin Değişim Durumunu İçeren Modellemenin Yapılması” Projesi (2016-2019). Erişim: 8 Mart 2021, <http://eced.csb.gov.tr/ced/jsp/ek1/32998#>.

Strickland, J.D.H. ve Parsons, T.R. (1972). “A practical handbook of seawater analysis”. *2nd ed. Bulletin, Ottawa: Fisheries Research Board of Canada*, 167: 310.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, (2006). “Su Ürünleri Yetiştiriciliği Yönetmeliğine İlişkin Uygulama Esasları, Denizlerde Su Ürünleri Yetiştiriciliği İçin Su Kalite Kriterleri”, *Resmi Gazete*, 25967

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, (2016). Su Ürünleri İstatistikleri, Erişim:01 Aralık 2021, <http://www.tarim.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BSGM.pdf>.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, (2021). “Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik”, *Resmi Gazete*, 31513.

USEPA, (1985). “Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modelling,” *2nd. Edition. (EPA/600/3-85/040)*. Washington DC, USA: USEPA.

Wu, R.S.S., Shin, P.K.S., MacKay, D.W., Mollowney, M. ve Johnson D. (1999). “Management of marine fish farming in the sub-tropical environment: a modelling approach”. *Aquaculture*, 174: 279-298.

Yabanlı, M. ve Ozdemir, E. (2009). “Monitoring the environmental impacts of marine aquaculture activities on the water column and the sediment in vicinity of the

Karaburun peninsula (Turkey Eastern Aegean Sea)”. *Journal of FisheriesSciences.com*, 3(3): 207-213.

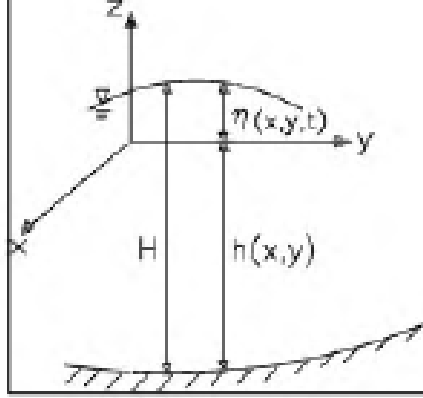
Yigit, M., Ergun S., Buyukates Y., Ates, A.S. ve Ozdilek H.G. (2020). “Physical carrying capacity of a potential aquaculture site in the Mediterranean: the case of Sigacik Bay, Turkey”. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 9753–9759.

Yilmaz, N., (2018), “Modeling of wind climate, wave climate and current pattern in Samsun Bay coastal waters,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(1), 279-297.

Yucel-Gier, G., Kucuksezgin, F. ve Kocak, F. (2007). “Effects of fish farming on nutrients and benthic community structure in the Eastern Aegean (Turkey)”. *Aquaculture Research*, 38: 256-267.

EKLER
EK-1
MODEL FORMÜLLERİ

Su yüzü yüksekliği ve derinlik tanımları;



Şekilde,

$h(x,y)$: Hareketsiz su yüzeyinden ölçülen derinlik

$H(x,y,t)$: Toplam su derinliğini ifade etmektedir.

Su yüzündeki kinematik koşullar aşağıda ifade edilmektedir

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u_s \frac{\partial \eta}{\partial x} + v_s \frac{\partial \eta}{\partial y} - w_s = 0$$

Burada,

u_s, v_s : Yüzeydeki su partikülünün yatay hızları

w_s : Yüzeydeki su partikülünün düşey hızı

η : Su yüzü yüksekliği

Süreklilik denkleminin derinlik boyunca integrasyonu ve yüzeydeki kinematik koşullara ait eşitlik ile birlikte aşağıdaki eşitlik elde edilmektedir (Balas, 1998: 24).

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + u \frac{\partial Q}{\partial x} + v \frac{\partial Q}{\partial y} + w \frac{\partial Q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial Q}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial Q}{\partial z} \right)$$

Toplam su derinliği ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır (Balas, 1998: 24):

$$H(x,y,t)=h(x,y)+ \eta (x,y,t)$$

Hesaplanan su yoğunluğu, sıcaklık, tuzluluk ve basınç değerlerine göre sıcaklık, tuzluluk ve kirlenici taşınım-dağılım denklemleri üç boyutlu olarak çözülmektedir. Aşağıdaki denklem sıcaklık veya tuzluluğun dağılımını ifade etmektedir (Balas, 1998: 22):

Bu eşitlikte;

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\int_{-h}^{\eta} w \, dz \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\int_{-h}^{\eta} v \, dz \right] = 0$$

D_x , D_y ve D_z : Sırasıyla x,y ve z yonlerindeki turbulansın difüzyon katsayıları

Q : Taşınıma uğrayan su özelliği, su sıcaklığı (T) veya tuzluluk (S) vb.