

## **Proje Ana Alanı :Canlı Bilimleri**

### **Proje Tematik Alanı: Deniz ekosistemi**

### **Proje Adı (Başlığı): Sıcaklığın Kutup Deniz Ekosistemindeki Canlılar Üzerine Etkilerinin Fitoplankton ve Krill Örneği Üzerinden Modellenmesi**

#### **Özet**

Bu çalışmanın amacı fitoplankton sayısıyla uydu verilerinden elde edilen klorofil değerleri açısından karşılaştırmak, ardından geçmiş ve projeksiyon deniz yüzeyi sıcaklığı verileriyle çevrimiçi bir ekoloji modeli oluşturmak ve bu modelin Antarktika'daki canlıların yaşamları üzerine etkilerini yorumlayarak bölgedeki ekolojik araştırmalara katkı sunmaktadır. Çalışmamızda kutup bölgelerinde de bulunan; marin besin ağının kilit türleri hakkında literatür taraması yaptıktan sonra kutup krilleri (*Euphausia superba*) ve antarktik krillerinin ana besin kaynağı olan fitoplanktonların incelenmesine karar verilmiştir. Ardından fitoplankton kütle ve sayısının sıcaklık ile ortam arasındaki ilişkisi yapılan; deney, uzman diyologları, literatür kaynaklarıyla belirlenip *Euphausia superba* ile fitoplanktonların popülasyonu ve sayıca değişimleri hakkında akıllı bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde krill sıcaklık arasındaki SSIM-ORB değeri **0.1295** bulunurken, krill fitoplankton arasındaki SSIM-ORB değeri **0.4914** olarak bulunmuştur. Sıcaklık-klorofil ilişkisini görmek ve gelecek klorofil verileri hakkında tahmin yapmak için eğitilen regresyon modelinin hesaplanan **R<sup>2</sup>** değerinin **0.79** olduğu görülmüştür. Bu değer ile sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve oluşturulan modelin uyumluluğunun yüksek olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** *Regresyon, cbs modelleme, fitoplankton, Euphausia superba, veri analizi, sıcaklık*

#### **Amaç**

Çalışmamızın amacı sıcaklığın fitoplankton sayısıyla ilişkisini, yapmış olduğumuz klorofil deney sonuçlarını NASA MODIS AQUA uydusunun sağlamış olduğu klorofil değerleri ile karşılaştırmak, ardından geçmiş ve projeksiyon deniz yüzeyi sıcaklığı verileriyle çevrimiçi bir ekoloji modeli oluşturmak ve bu modelin Antarktika'daki canlıların yaşamları üzerine etkilerini yorumlayarak bölgedeki ekolojik araştırmalara katkı sunmaktadır.

#### **Giriş**

Antarktika Dünyamızın Güney Kutbunda bulunan sıcaklıklarla ilişkili olarak 32 ile 40 km genişliğe ulaşan bir kıtadır. Çağımızın getirdiği beşeri kirliliğe rağmen Dünyamızın en steril bölgelerinden biri olan Antarktika bilimsel araştırmalar için ideal ortam sağlamak ve dünyamızı tanımadıma yardımcı olmaktadır. Antarktika'daki deniz kaynaklarının 18.yy'a dayanan sömürüsü ardından 19.yy'da bölgedeki deniz yaşamı üzerine yapılan bilimsel çalışmalar bölge için yapılan ilk taksonomi literatürlerini oluşturmuştur (Rintoul ve diğerleri, 2018). Dünyadaki en zorlu ve rekabetçi ekosistemlerden birine sahip olan Antarktika; ekstrem sıcaklıklar (-93°C) uzun süreli karanlık periyotlar ve yüksek radyasyon ışınması gibi ortam koşullarına rağmen; penguenlerden endemik kuşlara, birçok balina (cetacea) türüne, foklara, amfibik omurgasızlara, sayısız balık çeşidine ve daha birçok canlıya ev sahipliği yapmaktadır, (Hempel, 2007; Griffiths, 2010; Chown ve diğerleri, 2015). Antarktika anakarasında yaşayan türlerin sayısı diğer karasal ortamlara kıyasla düşük olsa da (Coetzee ve Chown, 2016), dünyamızın en zengin deniz ekosistemlerine ev sahipliği yapmakta ve her yıl

birçok sayıda tür tespit edilip bildirilmektedir (Schiaparelli ve Hopcroft, 2017; Niittynen ve diğerleri, 2018). Fakat Antarktika'daki zorlu ortam koşulları, maliyet, çalışma yapılabilen alanın kısıtlı olması vb. faktörler nedeniyle tespit edilen canlı çeşidi buradaki tahmin edilen deniz yaşamı biyoçeşitliliğinin sayıca çok altında kalmaktadır (Taylor ve diğerleri, 2018; Danis ve diğerleri, 2020).

Antarktika'nın buzullardan oluşması sebebiyle ortamda yaşayan canlıların kitanın eriyip donması ile hayatları etkilenmekte, sıcaklık kutup ekosistemi üzerinde belirleyici faktör olmaktadır. Bu nedenle günümüzün önemli sorunlarında biri olan küresel ısınma ve sera gazları bölgenin ekolojik dengesini tehlikeye sokmaktadır (Callaghan ve diğerleri, 2004; Kordas ve diğerleri 2011). Yapılan araştırmalara göre Dünya ortalama sıcaklığının küresel ısınmaya bağlı olarak her on yıl içinde **0.3-0.9 °C** artacağı tahmin edilmiştir (SCAR: Life sciences activities, 2022). Bununla beraber Christen ve arkadaşları (2007) kutup bölgelerinin bu sıcaklık artışlarından en fazla etkilenecek bölgeler olacağını göstermişlerdir. Başka bir çalışmada Wassmann ve Reigstad, (2011) ivmelenen küresel ısınmanın getirdiği eksponential sıcaklık artışlarıyla beraber Antarktik Yarımadasında ve Güney Okyanusunda (Antarktik Okyanusu) büyük bir sıcaklık değişimi yaşanacağını raporlamışlardır. Antarktika'nın soğuk, bakır ve izole ortamı; küresel ısınma, bölgeye insanlar tarafından taşınan yabancı türlerin istilası, ozon tabakasını incelmesi, artan balıkçılık, bilimsel çalışma, turizm vb. faktörler ile büyük bir değişim geçirmektedir. Yapılan projeksiyon çalışmaları 21.yy sonrası Antarktika'nın  $3.4 \pm 1^{\circ}\text{C}$  ısınacağını ve buzullarının yaklaşık %30'unu kaybedeceğini öngörmektedir. (Etourneau ve diğerleri, 2013; Dell ve diğerleri, 2013). Bilimsel çalışmalar göstermektedir ki: bölgenin çeşitli deniz yaşamı tehlikeye girmekte, çoğu endemik canlı yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Antarktik Araştırmaları Bilimsel Komitesi (SCAR) bölgenin ekolojik politikaları üzerine yapmış olduğu çağrırlarda Antarktika bölgesinin yüksek biyolojik potansiyeli korunmalı ve bu konuda insanlar bilinçlendirilmelidir (SCAR.2016 ;National Geographic,2010).

Çalışmamızda kutup bölgelerinde de bulunan; marin besin ağının kilit türleri hakkında literatür taraması yaptıktan sonra kutup krilleri (*Euphausia superba*) ve antarktik krillerinin ana besin kaynağı olan fitoplanktonların incelenmesine karar verilmiştir. (Piñones ve Federov, 2016). Ardından fitoplankton kütte ve sayısının sıcaklık ile ortam arasındaki ilişkisi yapılan; deney, uzman diyalogları, literatür kaynaklarıyla belirlenip *Euphausia superba* ile fitoplanktonların popülasyonu ve sayıca değişimleri hakkında akıllı bir model geliştirilmiştir.

Antarktika da 300 ile 500 milyon ton arasında bulunduğu tahmin edilen krillerin diyetlerinin neredeyse tamamı fitoplanktonlardan oluşmakta, bunun yanında bazı zooplankton ve küçük balık yumurtalarıyla da beslendikleri gözlemlenmiştir (Izaguirre ve diğerleri, 2020). *E. superba*'nın doğal ortamında 5-6 yila kadar yaşayabildiği ve 65mm'ye kadar büyüyebildiği bilinmektedir, bu sebeple kutup deniz ekosisteminde en büyük biyokütlelerden birine sahiptir ayrıca Güney denizinin 7 krill türü arasında açık ara en baskın türdür (Cuzin-Roudy ve diğerleri, 2014). *E. superba* biyokütlesi yapılan gözlemlerde deniz buzu kütlesiyle ters orantılı olduğu bildirilmiştir; bu da *E. superba* biyokütlesinin sıcaklıkla ilişkili olduğunu göstermektedir (Hill ve diğerleri, 2013). Tüm kriller birçok planktonik türden çok daha büyük olmasına rağmen, çoğu zaman plankton zannedilirler, ancak yetişkin krillerin güçlü yüzeme yetenekleri karakteristik bir nekton özelliğidir. Krill, hayvanlar alemindeki en büyük monospesifik kümelerden (sürülerden) bazlarını oluşturur (Ericson ve diğerleri, 2019), bu da onları balinalar, foklar ,deniz kuşları gibi canlılar için kritik bir besin maddesi yapmakla beraber Güney Okyanusu balıkçılığının en büyük hedefi haline getirir (Haberman ve diğerleri, 2003). Kutup krilleri yoğun avlanma faaliyetleri, küresel ısınma, ötrofikasyon, beslenme vb.

sebeplerden ötürü sayıca azalışa geçmiş ve *E. Superba*'nın en büyük yaşam alanlarından biri olan Ross Denizi CCAMLR (Commission for the Conservation of Marine Living Resources) tarafından 2016 yılında MPA (Marine Protected Area) kategorisine dahil edilmiştir. Böylece Ross Denizi güncel olarak dünyanın en büyük deniz koruma alanı ünvanına sahiptir. Ayrıca bölgede krill üzerine araştırma yapılması için KRZ bölgeleri belirlenmiş ve krillerin geleceği, ekosistem üzerine etkileri gibi çalışmalar yürütülmektedir (Ek 1). Bu sebeplerden ötürü çalışmamızın örnek inceleme sahası olarak Ross Denizi seçilmiştir (Nicol ve diğerleri, 2011).

Fitoplanktonik organizmalar kutup sahalarında gerek sıcaklık gerek arazi şartları sebebiyle düzenli bir şekilde izlenmemekte bu sebeple de fitoplankton verileri hakkında düzenli bir kütüphane oluşturmak zorluşmaktadır. Bu sebeple fitoplanktonik organizmalar hakkında daha fazla araştırma ve analiz yapılmalı, fitoplankton verilerini inceleyek metodlar geliştirilmelidir. Göllerin fitoplanktonik organizmalar için gelecekteki izleme çabaları, özellikle biyohacim tahmini ile ilgili olarak numune işleme yöntemlerinde tutarlılığı geliştirmeli ve mümkün olduğunda tür düzeyinde taksonomik çözünürlük iyileştirmelidir (CAFF Phytoplankton; 2022)

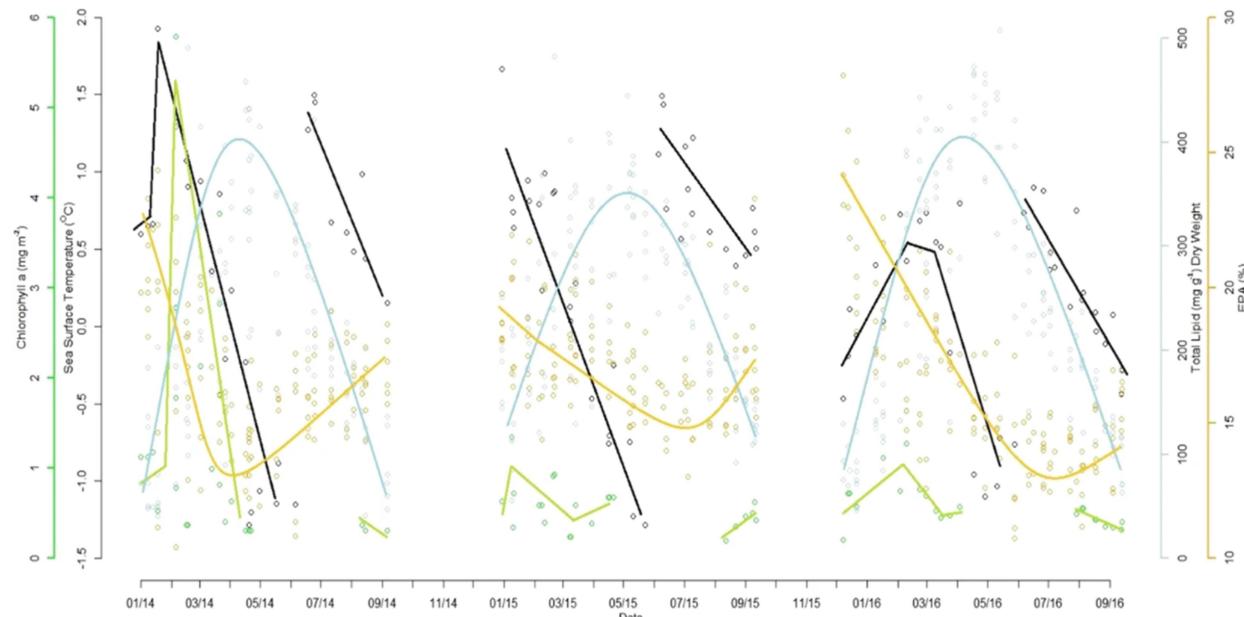
Boyce ve arkadaşları (2010), küresel ısınmanın sıcaklık ve okyanusların özellikle yüzeye yakın bölgelerindeki fitoplankton dengesini bozduğunu, bu sebeple alternatif modeller geliştirmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Bunun yanında mevsimsel olarak müsilaj, ötrofikasyon gibi sorunlar sebebiyle fitoplankton türleri süksesyona uğramakta tür dengesi zarar görmektedir.

2010 yılındaki verilere göre dünya deniz ve okyanuslarındaki fitoplanktonik organizmların %1.5'i yok olmuştur. Hindle ve Hutchinson (1967), yayılmış olduğu raporda fitoplankton popülasyonlarının mevsimsel olarak değişken olduğunu; popülasyon üzerinde hem fiziksel hem de kimyasal faktörlerin ilişkisini göstermiştir; sudaki yapı maddelerinin yoğunluğu, ışık, stokoiyometri değerleri ve sıcaklığın başlıca faktörler olduğunu söylemiştir. Her ne kadar yapılan çalışmalar Güney Okyanusu'ndaki alg ve diatom sınıflarının pigment bileşimleri başarılı bir şekilde analiz edilse de gelecekte Kutup bölgelerinde sıcaklık, ötrofikasyon, devinim gibi sebeler yüzünden daha kapsamlı araştırma ve analizlerin yapılması gerektiğini belirtmiştir (Matsuno ve diğerleri 2014). Yapılan diğer bir çalışmada küresel ısınmanın sonuçları neticesinde muhtemelen gelecekteki fitoplankton topluluğunu potansiyel olarak değiştirip karbon ve enerjinin daha yüksek trofik seviyelere transferini azaltabileceğini öne sürülmüştür (Marari ve diğerleri, 2008). Bunun başlıca sebebi ise sıcaklıklar ile artan biyotoksinler bölgedeki diğer canlıların lipid dokusuna zarar vermekte hatta zehirlemektedir. Red-tide etkisi olarak isimlendirilen bu durum çoğu larva, balık ve mikroorganizmanın ölmesine ve suyun renginde belirgin bir değişikliğe sebep olmaktadır.

Aydın ve Uzar (2009), yapmış oldukları çalışmada red-tide etkisinin zararlarından bahsetmiş; detaylı araştırmalar içinse tuzluluk, albedo ve soğurulma, seki diski, amonyum, iz elementler (özellikle Fe, N), vitaminler (özellikle B12), birincil üretim, otlama ve batma hızları ölçülmesi bakteri plankton tür tayinleri ve sayılarının yapılmasını, planktonun boy dağılımı incelenmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Uydu görüntüleri, su kütlelerinin dağılımı, hareketleri ve yüzey sularındaki algal biyomasları hakkında çok daha global ve detaylı bir veri sağlanacağını da söylemişlerdir.

Hellesey ve arkadaşları (2020), yapmış oldukları çalışmada klorofil, sıcaklık, krill (EPA yağ oranı) ilişkisini göstermiş; sıcaklıkla artan klorofil ile EPA değerinin kutup krilleri için optimum değerine ulaşmasıyla krill sayısında parabolik bir düşüş yaşandığı Şekil 1'de

gözükmektedir.



**Şekil 1:** Y Ekseni : Siyah-Sıcaklık, Mavi-Krill Lipid Oranı, Yeşil-Klorofil Oranı, Sarı- Eikosapentaenoik Asit

Bunun yanında Hellesey ve arkadaşları (2020) yapmış oldukları çalışmada krillerin popülasyonları üzerine etki eden faktörler hakkında detaylı bir analiz yapmış ve krill biyolojik belirteç olarak seçmiş oldukları üzerine en etkili faktörün öncelikle klorofil-a (0.948 p-value) ardından sıcaklık dolayısıyla etkilenen toplam klorofil (0,808 p-value) olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan çalışmada krill popülasyonunun sıcaklıkla olan ilişkisinin saptanmadığını fakat sıcaklıkla doğrudan ilişkili olan fitoplanktonları krill sayısını etkilediği görülmektedir.

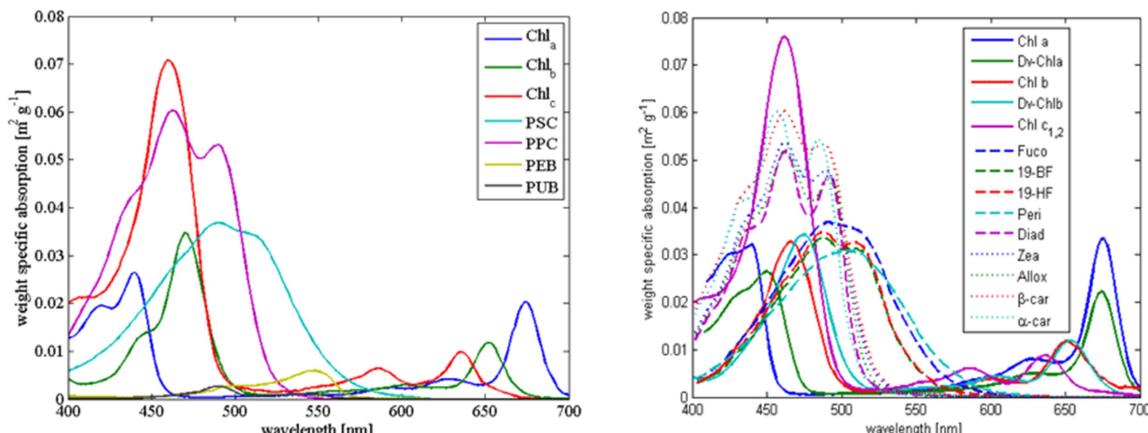
Deniz ekosistemlerini daha iyi anlamak için CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) kullanılması görsel ve analitik dokümantasyon için çok önemlidir. Kullanılan görüntü ve modelleme teknikleri olay örgütlerini daha açık ve anlaşılır kılmakla beraber bu sistemler için gerekli veri tedariki çoğuluklu uydular aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu sebeple denizler özelinde çalışan biyolojik amaçlarla çalışan uydular modernize edilmelidir (Carver ve diğerleri, 1995). Subramaniam ve arkadaşlarının, (2020) belirttiği gibi Antarktika gibi yeni bir bölgenin incelenmesi sırasında verilerin düzenlenmesi ve kategorize edilmesi önem arz etmekte, aksi takdirde yapılacak çalışmalar zorlaşmaktadır.

## Yöntem

Fitoplankton sayısının ortam ve sıcakla olan ilişkisini göstermek için almış olduğumuz su örnekleri ENVECO kapsamında yapılan fitoplankton örneklemeye çalışmasında belirtilen tarihler baz alınarak Nisan ayının 18. gününde 2 farklı bölgeden alınmıştır (ENVECO, 2020). Örnek sahaları yüksek rakımlı, soğuk bölgeler ve arı seçilerek kutup ekosistemindeki düşük sıcaklıkta yaşayan fitoplanktonların örneklenme ihtiyalinin arttırılması hedeflenmiştir (Jalal ve diğerleri, 2011). Örnek alınan 1. Bölge  $37^{\circ}47'35.4"N$   $31^{\circ}06'41.8"E$  kordinatındaki Karağı Gölü (rakım 1281m) 2. Bölge ise  $37^{\circ}47'10.1"N$   $30^{\circ}46'02.7"E$  kordinatındaki Davraz Dağı'dır (rakım 2637) (Ek 2-3). Örnek sahalarında sıcaklığın fitoplankton ilişkisini incelemek için güneş gören ve görmeyen olmak üzere iki farklı sıcaklıkta toplam 4 örnek alınmıştır. Örnekler steril mikrobiyolojik 250ml şişelere koyulduktan sonra %4 formaldehit solusyonu eklenerek içlerindeki fitoplanktonların çoğalması engellenmiştir (Ek 4). Örnekler testleri yapmak üzere

Eğirdir Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü'ne (SAREM) götürülmüştür. Alınan örnekler içlerine formaldehit eklendikten sonra testler yapılmasına kadar  $+4^{\circ}\text{C}$  dolapta saklanmıştır. Ardından alınan örneklerin içindeki fitoplanktonlar görüntülenmek üzere Olympus BX53 mikroskopuya **40X** mercek ile görüntülenmiş, örneklerin içindeki fitoplanktonlar gözlemlendikten sonra Olympus SC180 kamerasıyla fotoğraflanmıştır (Ek 5). Örnekler içindeki yabancı maddelerden arındırmak için **10  $\mu\text{m}$**  fitoplankton ağından geçirilip süzülmüş ve testler yapılmadan önce örnekler oda sıcaklığına gelmesi beklenmiştir. Yapılan çalışmalarda fitoplankton sayısının sudaki nitrat ve nitrit gibi bileşenlerle ilişkili olduğu bilindiği için yapılan yorumların doğruluğunu artırmak amacıyla süzülen örnekler XD7500 Lovibond Spektrofotometri cihazı kullanılarak nitrit ( $807 \lambda \text{ nm}$ ) ve nitrat ( $410 \lambda \text{ nm}$ ) testleri SAREM yardımıyla yapılmıştır (Bricaud, 2004). Nitrit testleri için 5ml su örneği içine Lovibond nitrit kiti eklenerek 20 dakika beklenmiştir. Nitrat testleri içinse 3ml su örneği içersine Lovibond nitrat kiti eklenerek 5 dakika beklenmiş ve spektrofotometri testleri SAREM labaratuvar uzmanları tarafından yapılmıştır (Ek 6).

Alınan örneklerdeki klorofil pigmenti testleri için her biri 200 ml olacak şekilde örnekler MGF/C 47 mm filtre kağıtlarından Vacumbrand D-6980 vakum pompası yardımıyla geçirilip filtre kağıtları 5ml %90 aseton çözeltisin içinde 24 saat boyunca karanlık ortamda saklanmıştır (Talling, 2012; Ek 7). Klorofil testleri için Bidigare ve ark. (1990) ile Bricaud (2004) Şekil 2'de bildirmiş oldukları fitoplankton pigment absorbans verileri kullanılarak dalga boyları belirlenmiştir.



**Şekil 2:** Fitoplankton Klorofil Pigmentleri Absorbans Değerleri

Şekil 2'deki verilerde görüldüğü üzere fitoplanktonların içinde bulunan klorofil pigmentlerinin absorbans değerleri 450-500 ve 650-700 nm dalga boyunda pik yapmıştır. Bu sebeple spektrofotometri cihazımızdaki absorbans dalga boyları  $450-500 \lambda \text{ nm}$  ve  $650-700 \lambda \text{ nm}$  aralıklarında çalışılmıştır. Elde edilen sonuç 5 ile çarpılıp 1 litredeki klorofil miktarı belirlenmiştir. Bunun yanında Antarktika'da bulunan canlı ekosisteminin çevreyle etkileşiminin gözlenmesi, yorumlanması ve sorgulanması için CBS kaynaklı uydu verileri kullanılmıştır.

NASA'nın Aqua uydusunda bulunan MODIS spektroradyometresi 2002 yılından beri bölge hakkında veri sağlamaktadır. Uydunun 21 senedir sağladığı klorofil-a ve deniz yüzey sıcaklığı verilerinin mevcut olması ekosistem hakkında kapsamlı yorumlar yapılabilmesini sağlamaktadır. Aqua uydusunu MODIS sensörü %53 doğruluk orANIyla güncel klorofil ve sıcaklık uyduları arasında seçilebilecek en uygun veri kaynağıdır (NASA: Ocean Color,

2022). Bunun yanında çalışmamızda klorofil adına yapmış olduğumuz projeksiyon çalışmaları için CDS (Climate Data Store) üzerinden sağlanmış olduğumuz 50 yıllık (12x50) geleceğe dönük deniz yüzeyi sıcaklığı verisi ile klorofil sayısı hakkında akıllı bir model geliştirilmiştir. CDS üzerinden almış olduğumuz veriler SSP4-3.4 modeliyle, dünya genelinde 62 ölçüm merkezi tarafından beslenen veri tabanı aracılığıyla alanında uzman kişiler tarafından raporlanmıştır (Meinshausen ve diğerleri, 2020; CDS:Climate, 2022). KRILLBASE ve bilim insanları tarafından yapılan çalışmalardaki veri kaynakları kullanılarak krill dağılımı hakkında bilgi edinilmiştir.

NASA MODIS AQUA aracılığıyla elde ettiğimiz klorofil-a ve CDS aracılığıyla elde edilen deniz yüzeyi sıcaklık verilerini kullanarak Antarktika bölgesinde Ross Denizi üzerinde bulunan fitoplanktonlar ile ilgili akıllı bir model geliştirilmiştir. Bu modelde CDS üzerinden almış olduğumuz 50 yıllık sıcaklık tahminleri kullanılarak klorofil miktarları hakkında karar ağacı algoritmali Random Forest regresyon modelliyle projeksiyon çalışmaları yapılmış ardından elde edilen veriler kullanılarak bölge üzerinde uzaysal olarak QGIS uygulamasıyla modellenmiştir. Elde edilen modeller krill dağılımlarıyla ORB ve SSIM benzerlik kütüphaneleriyle karşılaştırılarak fitoplankton-krill-sıcaklık ilişkisi yorumlanmıştır.

Random Forest (Rassal orman) algoritmasının temel prensibi: RandomForest modeli çoklu karar ağaçları oluşturulmasına dayanan bir toplu öğrenme yöntemidir. Modelleme işlemesinde, değişkenler içerisinde rassal olarak alt setler seçilmesi, karar ağaçları oluşturulması ve her karar ağacının oluşturduğu tahmin değerlerinin ortalamasının alınması sağlanır. Çalışmamızda RandomForest modeli mevcut sıcaklık tahminlerine dayanarak bölgedeki klorofil a miktarının tahmin edilmesi ve incelenmesi için kullanılmıştır. Regresyon modeli olarak Random Forest'ın kullanılmasının sebepleri: eksik verilerden etkilenmemesi, bağımsız veriler arasındaki kompleks ilişkileri yansıtılabilmesi ve değişkenlerin sonuç üzerine etkisinin karşılaştırılabilmesidir. Veri tahminlerinin doğruluk oranını ölçmek için modelin determinasyon katsayısı  $R^2$  değeri hesaplanmıştır. Denklem 1'de gözüktüğü gibi  $R^2$  değeri matematiksel olarak tahmin edilen her verinin gerçek veriye uzaklığının toplamının, her tahminin verilerin ortalamasına olan uzaklıklar toplamına bölümlesiyle hesaplanır.

$$R^2 = \frac{\sum(Y_{tahmi} - Y_{veri})^2}{\sum(Y_{tahmin} - Y_{ort})^2} \quad (1)$$

$Y_{veri}$ : Deneyel olaraq saptanmış değerler,

$Y_{tahmin}$ : Regresyon eşitliğinden hesaplanmış değerler,

$Y_{ort}$ : Deneyel verilerin ortalaması.

## Kodlama Süreci

Çalışmamızda modelleme çalışmaları, veri dosyalarının düzenlenmesi, verilerin işlenmesi ve kalan bütün kodlama süreci Python 3 dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Python dilinin çevrimiçi çalışma, veri analizi, matris düzenleme kütüphanlerinin çeşitli ve güçlü olması sebebiyle bu dilin kullanılmasına karar verilmiştir.

```
1 import xarray as xr
2 import pandas as pd
3 import numpy as np
4 import os
5 from sklearn.linear_model import LinearRegression
6 from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
7 from datetime import datetime
```

*Şekil 3:* Kütüphaneler

```
9 # Deney sonuçlarını içeren veri dosyası
10 deney = pd.read_excel("./chla veri.xlsx")
11 # Deney sonuçlarını çıkartma
12 deney = deney.loc[:14, ("Sıcaklık", 645)]
```

*Şekil 4:* Veri Dosyası Hazırlığı

Şekil 3'te gerekli kütüphaneler içe aktarıldıktan sonra Şekil 4'te deney sonuçları ile uydu verilerinden sıcaklık ve klorofil değerlerinin çıkarılması ardından değişkenle atanması sağlanmıştır.

```
14 # Uydu verilerini içeren dosya listelerini değişkenlere aktarma
15 chlr = tuple("./data/chloro180/" + i for i in os.listdir("./data/chloro180/") if i.endswith(".nc"))
16 chll = tuple("./data/chloro-180/" + i for i in os.listdir("./data/chloro-180/") if i.endswith(".nc"))
17 sstr = tuple("./data/sst180/" + i for i in os.listdir("./data/sst180/") if i.endswith(".nc"))
18 sstl = tuple("./data/sst-180/" + i for i in os.listdir("./data/sst-180/") if i.endswith(".nc"))
19
20 # Uydu verilerini düzenlememiz için yardımcı fonksiyon
21
22 def nccat(fileset):
23     # Tüm dosyaları yükle
24     files = [xr.open_dataset(i) for i in sorted(fileset)]
25
26     # Veriye eklenecek zaman değeri değişkeni oluşturma
27     times = [i.attrs["time_coverage_start"] for i in files]
28     times = sorted([datetime.strptime(i, "%Y-%m-%dT%H:%M:%S.%fZ") for i in times])
29     time_var = xr.Variable('time', times)
30     # Verileri birleştirme
31     dset = xr.concat(files, dim=time_var)
32     # Gereksiz boyutu çıkarma
33     dset = dset.drop_dims("eightbitcolor")
34
35     return dset
```

*Şekil 5:* Veri Dosyası Hazırlığı

Şekil 5'te 2002-2022 yıllar için aylık ortalama klorofil ve sıcaklık değerleri içeren netCDF dosya formatındaki uydu verilerinin birleştirilmesi ve kapsanan tarihlere göre etiketlenmesini sağlayan bir yardımcı fonksiyon oluşturulmuştur.

```
36 # Klorofil verilerini birleştirirme  
37 chl = xr.concat( ( nccat(chlr), nccat(chll) ), dim='time' )  
38 # Sıcaklık verilerini birleştirirme  
39 sst = xr.concat( ( nccat(sstr), nccat(sstl) ), dim='time' )
```

*Şekil 6:* Verilerin Birleştirilimesi

```
41 # Klorofil verilerini dataframe'e dönüştürme  
42 chldf = chl.to_dataframe().dropna()  
43 chldf.reset_index(inplace=True)  
44 chldf["time"] = chldf["time"].astype("datetime64[M]")  
45 chldf["lat"] = chldf["lat"]//1  
46 chldf["lon"] = chldf["lon"]//1  
47 chldf.set_index(["lat","lon","time"], inplace=True)  
48 chldf.sort_index(inplace=True)
```

*Şekil 7:* Klorofil Verilerinin Düzenlenmesi Ve Eksik Verilerin Hazırlanması

Şekil 6'da netCDF türünde sıcaklık ve klorofil verileri birleştirilmiştir, Şekil 7'de birleştirilen veriler arasındaki boşluklar koordinat ve zaman bilgileri veriler arası bütünlük sağlanacak şekilde düzenlenmiştir.

```
50 # Sıcaklık verilerini dataframe'e dönüştürme  
51 sstdf = sst.to_dataframe().drop("qual_sst", axis=1).dropna()  
52 sstdf.reset_index(inplace=True)  
53 sstdf["time"] = sstdf["time"].astype("datetime64[M]")  
54 sstdf["lat"] = sstdf["lat"]//1  
55 sstdf["lon"] = sstdf["lon"]//1  
56 sstdf.set_index(["lat","lon","time"], inplace=True)  
57 sstdf.sort_index(inplace=True)
```

*Şekil 8:* Sıcaklık Verilerinin Düzenlenmesi Ve Eksik Verilerin Hazırlanması

Şekil 8 de aynı işlemler sıcaklık verileri için gerçekleştirilmiştir.

```
59 # Klorofil verilerini koordinatlara göre gruplama  
60 chlbytime = chldf.groupby(level="time").agg({"chlor_a":"mean"})  
61 sstbytime = sstdf.groupby(level="time").agg({"sst":"mean"})
```

**Şekil 9:** Verilerin Uzaysal Olarak Hazırlanması

```
63 # Gelecek sıcaklık tahminlerini içe aktarma ve dataframe'e dönüştürme  
64 sst_predict = xr.open_dataset("./predicted/ts_Amon_NorESM2-LM_ssp585_r1i1p1f1_gn_202101-203012_v20191108.nc")  
65 sst_predict = sst_predict.drop_dims("bnds").to_dataframe()  
66 sst_predict = sst_predict.reset_index(level=["lon","time"])  
67 sst_predict["lon"] -= 180  
68 sst_predict.set_index("lon",append=True,inplace=True)
```

**Şekil 10:** Gelecek Sıcaklık Verisinin Hazırlanması

Şekil 9'da klorofil ve sıcaklık verilerinin koordinatlarına göre gruplandırıldıktan sonra Şekil 10 da gelecek sıcaklık verileri içeri aktarılmış ve uydu verileriyle birlikte çalışması için düzenlenmiştir.

```
71 mergedbytime = pd.concat([sstbytime,chlbytime],axis=1).dropna()  
72 X = mergedbytime["sst"].to_numpy()  
73 X = X.reshape(-1,1)  
74 y = mergedbytime["chlor_a"]  
75 reg = RandomForestRegressor().fit(X,y)  
76 # Veri tahmini yapılması  
77 sst_predict["chlpred"] = reg.predict(sst_predict["ts"].to_numpy().reshape(-1,1))
```

**Şekil 11:** Random Forest Regresyon Modelinin Eğitilmesi

Şekil 11'de satırlar arası uydu verileri birleştirilmiş ve RandomForest regresyon modeli eğitilmiştir ardından tahmin edilen sıcaklık verileri regresyon modeli ile kullanılmış, 2022-2030 seneleri için klorofil konsantrasyon tahminleri gerçekleştirilmiştir.

```
1 #Gerekli kütüphanelerin eklenisi
2 from skimage.metrics import structural_similarity
3 import cv2
4 import os
5
6 #Klorofil ve krill haritalarının eklenmesi
7 file1 = os.path.join((os.path.dirname(_file_)), 'C:/Users/User/Desktop/arcp/krill.jpeg')
8 file2 = os.path.join((os.path.dirname(_file_)), 'C:/Users/User/Desktop/arcp/klorofil.jpeg')
9 img01 = cv2.imread(file1, 0)
10 img1 = cv2.imread(file2, 0)
11
12 #Farklı eksenlerde inceleme yapmak için ORB modülüne haritaların eklenmesi
13 def orb_sim(img1, img01):
14     orb = cv2.ORB_create()
15
16 #Haritalardaki benzerliklerin belirlenmesi
17     kp_a, desc_a = orb.detectAndCompute(img1, None)
18     kp_b, desc_b = orb.detectAndCompute(img01, None)
19
20 # Haritaların aynı boyuta sıkıştırılarak getirilmesi
21     from skimage.transform import resize
22     img01 = resize(img01, (img1.shape[0], img1.shape[1]), anti_aliasing=True, preserve_range=True)
23
24 #Haritalardaki benzerliklerin işlenisi
25     bf = cv2.BFM Matcher(cv2.NORM_HAMMING, crossCheck=True)
26     benzerlik = bf.match(desc_a, desc_b)
27     similar_regions = [i for i in benzerlik if i.distance < 50]
28     if len(benzerlik) == 0:
29         return 0
30     return len(similar_regions) / len(benzerlik)
31
32
33 #Benzerliklerin bir değere atanması ve yazdırılması
34 def structural_sim(img1, img01):
35     sim, diff = structural_similarity(img1, img01, full=True)
36     return sim
37 orb_similarity = orb_sim(img1, img01)
38 print("Similarity using ORB is: ", orb_similarity)
39 ssim = structural_sim(img1, img01) # 1.0 eş, 0.0 benzerlik yok
40 print("Similarity using SSIM is: ", ssim)
```

**Şekil 12:** SSIM/ORB Kütüphaneleri Kullanılarak Krill-Sıcaklık-Klorofil İlişkisi Belirlenmesi

Şekil 12'de elde edilen krill verileriyle ortalama klorofil ve sıcaklık verileri arasındaki benzerliği modellerin çözünürlüğü bozulmadan sıkıştırılarak hesaplanmıştır.

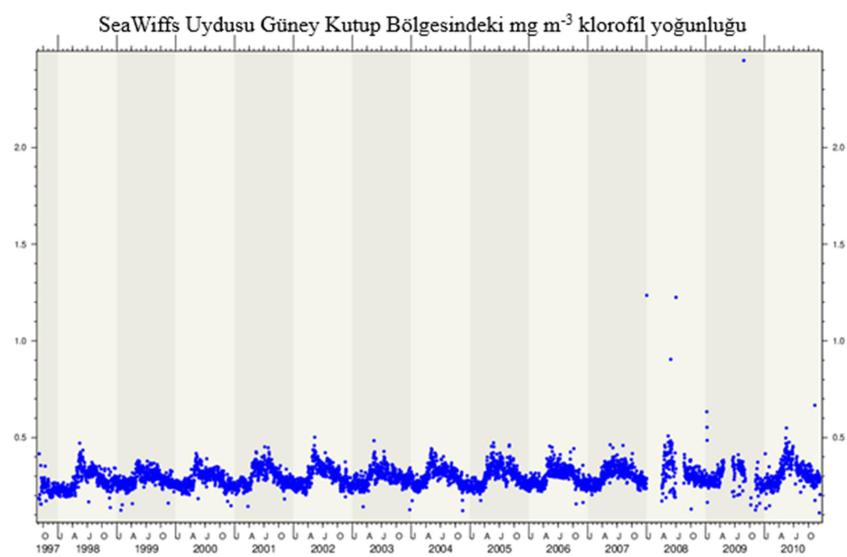
## Proje İş-Zaman Çizelgesi

**Tablo 2:** İş Zaman Çizelgesi

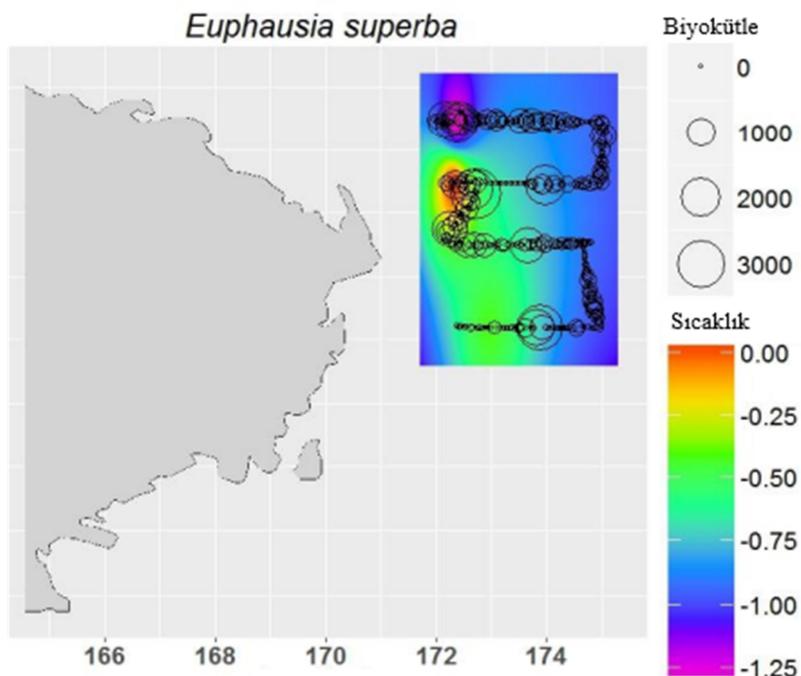
## Bulgular

**Tablo 1:** SAREM Deney Sonuçları

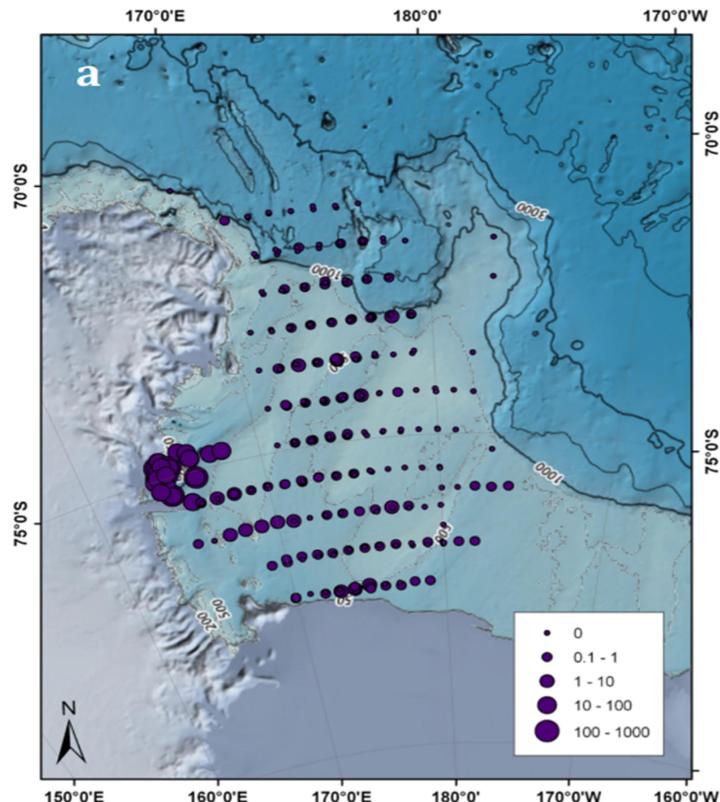
| Sıcaklık<br>(°C) | Ortam  | Nitrat<br>mg/l | Nitrit<br>mg/l | Chl-a $\mu\text{g/l}$<br>450 $\lambda$ nm | Chl-a $\mu\text{g/l}$<br>500 $\lambda$ nm | Chl-a $\mu\text{g/l}$<br>650 $\lambda$ nm | Chl-a $\mu\text{g/l}$<br>750 $\lambda$ nm |
|------------------|--------|----------------|----------------|---|---|---|---|
| + 12.6           | Karağı | 1              | 0.008          | 1.63                                      | 1.445                                     | 0.945                                     | 0.71                                      |
| + 0.4            | Karağı | 1.1            | 0.006          | 0.705                                     | 0.46                                      | 0.26                                      | 0.155                                     |
| - 6.1            | Davraz | 1.3            | 0.014          | 0.475                                     | 0.38                                      | 0.22                                      | 0.14                                      |
| + 1.7            | Davraz | 1.4            | 0.012          | 0.51                                      | 0.405                                     | 0.24                                      | 0.145                                     |



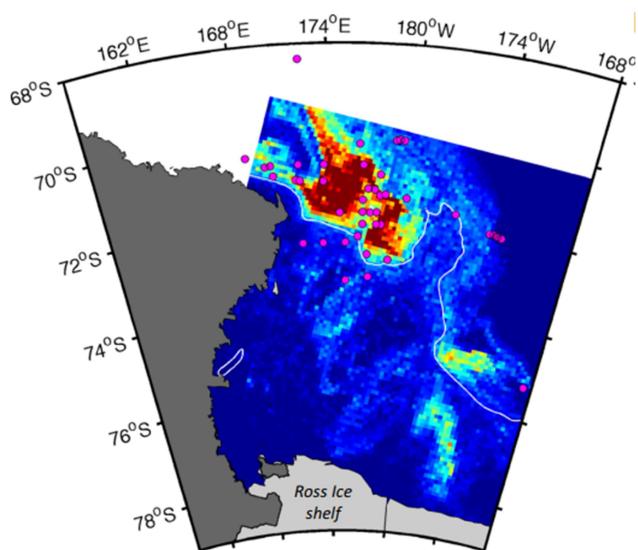
**Şekil 13:** SeaWiFS Uydusu Klorofil Değerleri (NASA: Ocean Color, 2022)



**Şekil 14:** E. Superba Kütlesi Ve Deniz Yüzey Sıcaklığı (KRILLBASE, 2012)



*Şekil 15:* *E. Superba* Kütlesi  $\text{mT km}^{-2}$  (KRILLBASE, 2016)



*Şekil 16:* *E. Superba* Dağılımı (Piñones ve diğerleri, 2015)

## Sonuç ve Tartışma

Eğirdir Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü'nde yapmış olduğumuz deneylerin sonucunda Tablo 1'de görüldüğü gibi sıcaklık artışıyla beraber klorofil absorbansında da lojistik bir artış olduğu gözükmemektedir. Fakat ortamın nitrat ve nitrit değerlerinin farklı olması sudaki fitoplankton sayısının sıcaklığından bağımsız olarak değişmesine sebep olacağı için bu verilerin yalnızca sıcaklık-fitoplankton yorumları için kullanılması yeterli olmamakla beraber ortamların kendi aralarında karşılaştırılmasıyla kalitatif bir yorum sağlanılabilir.

Doğal ortamlarında fitoplanktonları görüntülemek ve bu canlıların sıcaklıkla ilişkisini gösterme amacıyla yapmış olduğumuz deneyler ile görmekteyiz ki fitoplanktonların daha önce yapılan çalışmalarında da onayladığı üzere sıcaklığından sayıca olumlu etkilendiğini bunun yanında -6°C gibi suyun donma sıcaklığından düşük ortamlarda dahi birden fazla türünün çoğalabildiği gözlemlenmiştir (Ek 5). Atlantik okyanusunda Hill ve diğerleri, (2013) okyanus ısınmasına ve klorofilin azalmasına bağlı olarak krill büyümeye habitatının azalacağını belirtmiştir. Yüksek rakımlı alandan toplanılan örneklerde sıcaklık artışına bağlı klorofil absorbans değerlerindeki artısa bağlı olarak fitoplankton pigment değerlerindeki artış, çalışmada tek seferlik veri ile karşılaştırma açısından yetersizdir. Fakat bu bölgeden alınan düzenle sıcaklık, fitoplankton ve klorofil değerlerinin kutup ekosistemi ile karşılaşılması kril üzerinden model oluşturmak için gelecekte detaylı çalışmalar elzemdir. Markager'in kutup gölleri ve denizlerinde bahar aylarında yapılan çalışmalarında rapor edilenin aksine (max:1.24; min: 0.04) yapmış olduğumuz deneylerde chl-a deney sonuçlarımızın sudaki  $\mu\text{g}/\text{l}$  değerlerinin en yükseği 1.63 en düşüğü ise 0.14'tür (Markager, 2001). Bunun başlıca sebebi ise deneylerimizin sayıca az ve kutup bölgelerine göre daha sıcak ortamlar olması ayrıca yabani hayvanları, turizm, hava kirliliği sebeplerle kontaminasyona açık coğrafyalar olduğu söylenebilir.

Çalışmamız Hellesey ve arkadaşlarının yapmış olduğu doğrular nitelikte olup: *E. superba* sayısını KRILLBASE üzerinden almış olduğumuz **kısıtlı ve güncel olmayan veriler** ile karşılaşıldığımızda sıcaklıkla arasında doğrudan bir ilişki bulunamamış olup, sıcaklıkla artan fitoplankton sayısı sebebiyle krill sayısında bir artış yaşandığı görülmüştür (Hellesey ve diğerleri, 2020). Ross denizinin güney okyanusu ile kuzey sınırında bulunan fitoplankton grubundan diatom grubu organizmalar *E. superba* için ana besin kaynağı olurken (Leonori ve diğerleri, 2017), yüksek dağ göllerinde bu çalışmada gözlenen soğuk su diatom ve fitoplankton örneklerinin Kutup bölgelerinde gözlenmesi, sıcaklık ve klorofil ile ilişki göstermeleri iklim değişikliğini anlamada yol gösterici olabileceğini söylemişlerdir. Krill sıcaklık arasındaki SSIM-ORB değeri Şekil 14-15-16 baz alınarak **0.1295** bulunurken krill fitoplankton arasındaki SSIM-ORB değeri **0.4914** olarak bulunmuştur.

Kutup bölgelerinde saha çalışması yapma imkânımız olmadığı için ötrotifikasyon ve red-tide etkileri hakkında tam ve doğru bir şekilde yorum yapmak mümkün olmamaktadır. Bu sebeple ekstrem sıcaklıklar yaşanacak anomaliler tahminlere yansıtılmamıştır. Fakat yapılan çalışmalar küresel ısınmayla birlikte ötrotifikasyon etkisinin artacağını bu sebeple kutup bölgesindeki fitoplanktonların ürettiği toksinlerin diğer canlılara zarar vereceğini öngörmektedir (Wassmann ve diğerleri, 2011; Dell ve diğerleri, 2011; Hill ve diğerleri, 2013). Şekil 13'te de açıkça gözüktüğü üzere fitoplanktonların mevsimsel olarak sayıca değiştigini, sıcaklık faktörünün kutup bölgesindeki fitoplanktonlar üzerinde önemli bir faktör olduğunu tekrar göstermektedir. Sıcaklık-klorofil ilişkisini görmek ve gelecek klorofil verileri hakkında tahmin yapmak için eğitilen regresyon modelinin hesaplanan  $R^2$  değerinin **0.79** olduğu görülmüştür bu değer sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ve oluşturulan modelin uyumluluğunun oldukça yüksek olduğunu gösterir (Cutler ve diğerleri, 2007).

Çalışmamızda sonuç olarak elde edilen model, kutup bölgesinde fitoplanktonik organizmalar ve krillerin incelenmesinde rahatlıkla kullanılabilir olup; sıcaklık, konum, batimetri gibi verileri bünyesinde barındırması sebebiyle gerekli veriler sağlandığında, başka deniz canlılarına da uyarlanılabilir.

## Öneriler

Antarktika'daki iklim değişikliği ve çevresel şartlardan en hızlı etkilenen canlı gruplarından olan planktonik organizmalar, krill beslenmesinde önemli etkiye sahiptir. Bu nedenle bu canlı gruplarının sürekli izlenmesi ve çevresel parametreler ile ilişkilerinin belirlenmesi ve krill beslenmesinde önemli olan fitoplankton türlerinin kutuplarda etkileşimlerinin bilinmesi, iklim değişikliğini anlamada etkili olacaktır. Antarktika ekosistemindeki hemen hemen her şey krillere bağlıdır ve okyanus sıcaklıklarını yükselmeye devam ettikçe popülasyonları daha da azalacaktır. Krill popülasyonlarının yeniden inşasına yardımcı olmak için iklim değişikliğini durdurmak için harekete geçilmeli ve fitoplankton ve çevresel parametreler ile ilişkileri gösteren çok sayıda çalışma yapılmalıdır. Bu nedenle son yıllarda Türkiye'nin de araştırma üssünü kurdugu Antarktika'da, kutup araştırmaları çalışmalarına ivme kazandırılmalıdır.

Çalışmamızda Antarktika bölgesinin ekolojik bilgi arşivinin eksikliği ve özellikle biyolojik amaçlar özelinde çalışan uyduların yetersizliği ortaya çıkmıştır. Bölgede klorofil tayini yapan uyduların doğruluk oranı çok düşük olup yüksek çözünürlüklü ve kesintisiz bilgi akışı olmaması çalışmaları zorlaştırmaktadır. Bölge üzerine yapılacak çalışmalar için daha gelişmiş ve düzenli uydu raporlarına olan ihtiyaç dışında Antarktika deniz yaşamının yakından incelenmesi için bölgedeki çalışmaların detaylı bir şekilde arşivlenmesi gerekmektedir. Bunun yanında bölgedeki fitoplankton türlerinin tayin edilip yeni türlerin literatüre katılması daha detaylı bir çalışma yapılması da elde edilen modelin çözünürlüğünü artıracaktır. Sudaki bileşenlerin detaylı bir şekilde analiz edilmesi (salinite, azot, asidifikasyon gibi) ve bu raporların erişilebilir olması da fitoplankton sayısı hakkında yorum yapmayı kolaylaştıracaktır. Bölgedeki krillerin kısıtlı bölgelerde izlenmesi ve saha çalışmalarının masraflı olması sebebiyle krill verilerinde önemli bir eksiklik saptanmıştır. Özellikle balıkçılık ve bilinçli avcılık sistemleri için önemli olan krill analizleri teşvik edilmeli, bilim insanları bölge çalışmalarına ağırlık vermelidir.

## Kaynaklar

Aydın, H. & Uzar, S. (2009). Denizel Mikroalg Biyotoxinsi Ve Etkileri - Marine Microalgae Biotoxins And Their Effects . *Celal Bayar University Journal of Science*, 5 (1), 87-100 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/cbayarfbe/issue/4048/53368>

Bidigare, R. R., Ondrussek, M. E., Morrow, J. H., & Kiefer, D. A. (1990). In-vivo absorption properties of algal pigments. *SPIE Proceedings*. SPIE. doi:10.1117/12.21451

Boyce, D. G., Lewis, R. M. & Worm, B. Global phytoplankton decline over the past century. *Nature*, 466, 591–596 (2010)

Bricaud, A. (2004). Natural variability of phytoplanktonic absorption in oceanic waters: Influence of the size structure of algal populations. *Journal of Geophysical Research*, 109 (C11). doi:10.1029/2004jc002419

Callaghan, T. V., Björn, L. O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T. R., Huntley, B. ve Zöckler, C. (2004). Biodiversity, distributions and adaptations of Arctic species in the context of environmental change. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 33(7), 404–417. doi:10.1579/0044-7447-33.7.404

Carver, S. J., Cornelius, S. C., Heywood, D. I. ve Sear, D. A. (1995). Using computers and geographical information systems for expedition fieldwork. *The Geographical Journal*, 161 (2), 167. doi:10.2307/3059973

CDS Copernicus Climate Data Store. (2022), Copernicus Climate Data Store website: <http://cds.climate.copernicus.eu>

Chown SL, Clarke A, Fraser CI, Cary SC, Moon KL, McGeoch MA. (2015). The changing form of Antarctic biodiversity. *Nature*. 522(7557):431–438.

Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., et al. (2007). “Regional climate projections,” in *IPCC Climate Change 2007: The Physical Science*

Coetzee BW, Chown SL. (2016). A meta-analysis of human disturbance impacts on Antarctic wildlife. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*. 91(3):578–596.

Cuzin-Roudy, J., Irisson, J. O., Penot, F., Kawaguchi, S. & Vallet, C. (2014). Southern Ocean Euphausiids. in Biogeographic Atlas Southern Ocean pp 510, Cambridge, SCAR.

Cutler, D. R., Edwards, T. C., Jr., Beard, K. H., Cutler, A., Hess, K. T., Gibson, J., & Lawler, J. J. (2007). Random Forests For Classification In Ecology. *Ecology*, 88(11), 2783–2792. <https://doi.org/10.1890/07-0539.1>

Danis, B., Van de Putte, A., Convey, P., Griffiths, H., Linse, K. ve Murray, A. E. (2020). Editorial: Antarctic biology: Scale matters. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8. doi:10.3389/fevo.2020.00091

Dell, A. I., Pawar, S., and Savage, V. M. (2011). Systematic variation in the temperature dependence of physiological and ecological traits. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 108, 10591–10596. doi:10.1073/pnas.1015178108

ENVECO Technical Assistance for Capacity Building on Water Quality Monitoring Phytoplankton Sampling Methods. (2014), *Ege Universitiy Department of Biology, Turkey ENVECO S.A., Greece*

Ericson, J. A., Hellessey, N., Nichols, P. D., Nicol, S., Kawaguchi, S., Hoem, N., & Virtue, P. (2019). New insights into the seasonal diet of Antarctic krill using triacylglycerol and phospholipid fatty acids, and sterol composition. *Polar Biology*, 42(11), 1985–1996. doi:10.1007/s00300-019-02573-6

Etourneau, J., Collins, L. G., Willmott, V., Kim, J.-H., Barbara, L., Leventer, A., et al. (2013). Holocene climate variations in the western Antarctic Peninsula: evidence for sea ice extent predominantly controlled by changes in insolation and ENSO variability. *Clim. Past*, 1431–1446. doi:10.5194/cp-9-1431-2013

Griffiths, H. J. (2010). Antarctic marine biodiversity – What do we know about the distribution of life in the Southern Ocean? *PONE*, 5 (8), 11683. doi:10.1371/journal.pone.0011683

Haberman, K. L., Quetin, L. B. ve Ross, R. M. (2003). Diet of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 283(1–2), 79–95. doi:10.1016/s0022-0981(02)00466-5

Hellessey, N., Johnson, R., Ericson, J. A., Nichols, P. D., Kawaguchi, S., Nicol, S., ... Virtue, P. (2020). Antarctic Krill Lipid and Fatty acid Content Variability is Associated to Satellite Derived Chlorophyll a and Sea Surface Temperatures. *Scientific Reports*, 10(1). doi:10.1038/s41598-020-62800-7

Hempel, G. (2007). Antarctic marine biology – two centuries of research. *Antarctic Science*, 19 (2), 195–203. doi:10.1017/s0954102007000272

Hill, S.L., Phillips, T. ve Atkinson, A. (2013) Potential climate change effects on the habitat of Antarctic krill in the Weddell Quadrant of the Southern Ocean. *Pone.* 8 (8), 72246. doi:10.1371/journal.pone.0072246

Hindle, E., & Hutchinson, G. E. (1967). A treatise on limnology. Vol. II. Introduction to lake biology and the limnoplankton. *The Geographical Journal*, 133(4), 556. doi:10.2307/1794542

Izaguirre, I., Allende, L. & Romina Schiaffino, M. (2020). Phytoplankton in Antarctic lakes: Biodiversity and main ecological features. *Hydrobiologia*, 848(1), 177–207. doi:10.1007/s10750-020-04306

Jalal, K. C. A., Azfar, B. M. A., John, B. A. & Kamaruzzam, Y. B. (2011). Spatial variation and community composition of phytoplankton along the Pahang Estuary, Malaysia. *Asian Journal of Biological Sciences*, 4(5), 468–476. doi:10.3923/ajbs.2011.468.476

Kordas, R. L., C. D. G. Harley, M. & I. O'Connor. (2011). Community ecology in a warming world: The influence of temperature on interspecific interactions in marine systems. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 400: 218–226. doi:10.1016/j.jembe.2011.02.029

Leonori, I., De Felice, A., Canduci, G., Costantini, I., Biagiotti, I., Giuliani, G., & Budillon, G. (2017). Krill distribution in relation to environmental parameters in mesoscale structures in the Ross Sea. *Journal of Marine Systems*, 166, 159–171. doi:10.1016/j.jmarsys.2016.11.003.

Markager, S. (2001). Light absorption by phytoplankton: Development of a matching parameter for algal photosynthesis under different spectral regimes. *Journal of Plankton Research*, 23(12), 1373–1384. doi:10.1093/plankt/23.12.1373

Marrari, M., Daly, K. L., & Hu, C. (2008). Spatial and temporal variability of SeaWiFS chlorophyll a distributions west of the Antarctic Peninsula: Implications for krill production. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 55(3–4), 377–392. doi:10.1016/j.dsr2.2007.11.011

Matsuno, K., Yamaguchi, A., Fujiwara, A., Onodera, J., Watanabe, E., Imai, I., ... Kikuchi, T. (2013). Seasonal changes in mesozooplankton swimmers collected by sediment trap moored at a single station on the Northwind Abyssal Plain in the western

Arctic Ocean. *Journal of Plankton Research*, 36(2), 490–502. doi:10.1093/plankt/fbt092

Meinshausen, M., Nicholls, Z. R. J., Lewis, J., Gidden, M. J., Vogel, E., Freund, M. & Wang, R. H. J. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development*, 13(8), 3571–3605. doi:10.5194/gmd-13-3571-2020

NASA ocean color. (2022). from <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>

National Geographic: Krill. (2010). from Animals website: <https://www.nationalgeographic.com/animals/invertebrates/facts/krill>

Nicol, S., Foster, J. & Kawaguchi, S. (2011). The fishery for Antarctic krill - Recent developments. *Fish and Fisheries*, 13 (1), 30–40. doi:10.1111/j.1467-2979.2011.00406.x

Niittynen, P., Heikkinen, R.K. & Luoto, M. (2018). Snow cover is a neglected driver of Arctic biodiversity loss. *Nature Clim Change* 8, 997–1001. doi:10.1038/s41558-018-0311-x

CAFF Phytoplankton. (2022) .from Arctic biodiversity, Conservation of Arctic Flora and Fauna CAFF website: <https://www.arcticbiodiversity.is/index.php/finding/phytoplankton>

Piñones, A., & Fedorov, A. V. (2016). Projected changes of Antarctic krill habitat by the end of the 21st century. *Geophysical Research Letters*, 43(16), 8580–8589. <https://doi.org/10.1002/>

Piñones, A., Hofmann, E. E., Dinniman, M. S., & Davis, L. B. (2015). Modeling the transport and fate of euphausiids in the Ross Sea. *Polar Biology*, 39(1), 177–187. doi:10.1007/s00300-015-1798-5

Rintoul, S. R., Chown, S. L., DeConto, R. M., England, M. H., Fricker, H. A., Masson-Delmotte, V., & Xavier, J. C. (2018). Choosing the future of Antarctica. *Nature*, 558 (7709), 233–241. doi:10.1038/s41586-018-0173-4

SCAR, Antarctic science bursaries. (2016), from Antarctic Science Bursaries website: <https://www.antarcticsciencebursary.org.uk/apply-for-an-asi-bursary/>

SCAR, S. Life sciences activities. (2022) from SCAR website: <https://www.scar.org/science/lsg/home/>

Schiaparelli, S., & Hopcroft, R. R. (2011). The Census of Antarctic Marine Life: Diversity and change in Southern Ocean Ecosystems. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 58(1–2), 1–4. doi:10.1016/j.dsr2.2010.11.002

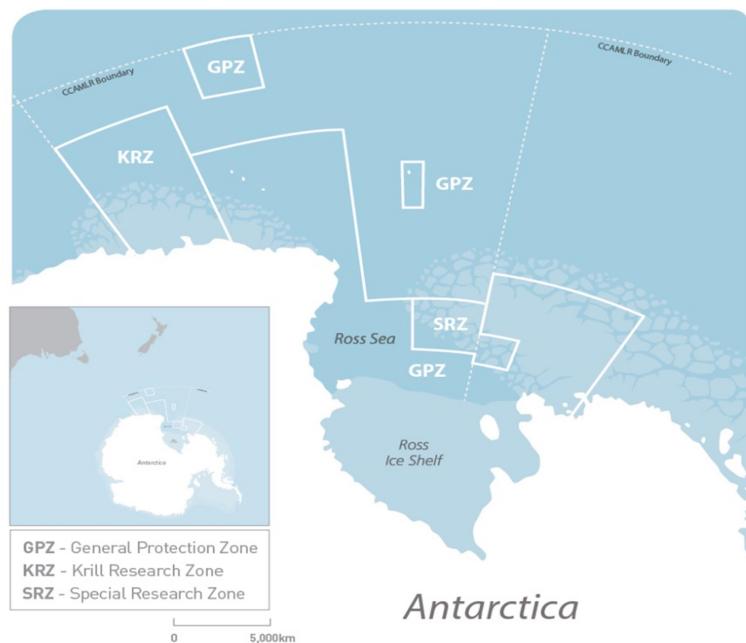
Subramaniam, R. C., Melbourne-Thomas, J., Corney, S. P., Alexander, K., Péron, C., Ziegler, P., & Swadling, K. M. (2020). Time-Dynamic Food Web Modeling to Explore Environmental Drivers of Ecosystem Change on the Kerguelen Plateau. *Frontiers in Marine Science*. doi:10.3389/fmars.2020.00641

Talling, J. F. (2012). Freshwater phytoplankton ecology: The British contribution in retrospect. *Freshwater Reviews*, 5 (1), 1–20. doi:10.1608/frj-5.1.453

Taylor, P., Hegyi, B., Boeke, R. ve Boisvert, L. (2018). On the increasing importance of air-sea exchanges in a thawing arctic: A review. *Atmosphere*, 9(2), 41. doi:10.3390/atmos9020041

Wassmann, P., Duarte, C. M., Agustí, S., & Sejr, M. K. (2011). Footprints of climate change in the Arctic Marine Ecosystem. *Global Change Biol.* 17, 1235–1249. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02311.x

## Ekler



**Ek 1:** Ross Sea Korunan Bölgeler (CCAMLR)



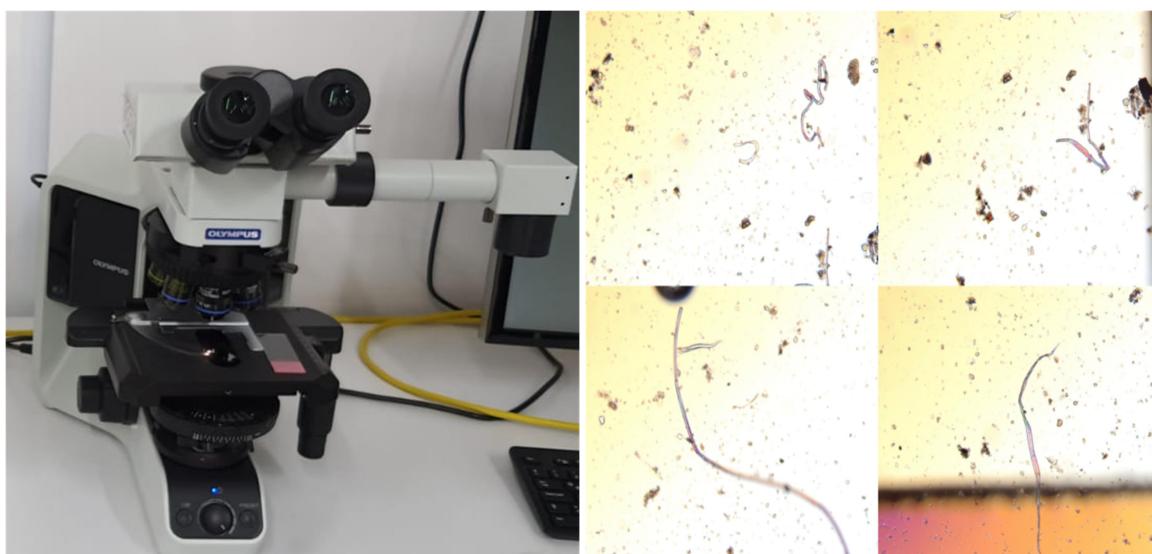
*Ek 2:* Davraz Dağı Örnek Alınması



*Ek 3:*Karağı Gölü Örnek Alınması



*Ek 4:* Formaldehit ve Damlalık



*Ek 5:* Olympus BX53 Mikroskop Ve SC180 Kamerasıyla Alınan Fitoplankton Görüntüleri



**Ek 6:** Lovibon XD 7500 Spektofotometri Cihazı



**Ek 7:** Klorofil Test Örneği (5ml %90 Aseton Ve Gf/C Filtre Kağıdı)