



## İklim Değişikliğinin Deniz Suyu Sıcaklıkları Üzerindeki Olası Etkilerinin Değerlendirilmesi: Orta Karadeniz Örneği

### Assessment of the Possible Effects of Climate Change on Seawater Temperatures: A Case Study for the Central Black Sea

Sinan Nacar<sup>1\*</sup>, Betül Mete<sup>2</sup>, Betül Sezanur Tokgöz<sup>3</sup>, Adem Bayram<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 60150, Tokat TÜRKİYE

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 61080, Trabzon TÜRKİYE

<sup>3</sup>TC Milli Eğitim Bakanlığı, Bafra İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü, 55400, Bafra/Samsun TÜRKİYE

Başvuru/Received: 11/12/2023

Kabul / Accepted: 27/12/2023

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/01/2024

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2024

#### Öz

İklim değişikliği küresel ekosistemlerin karşı karşıya olduğu ciddi bir çevresel tehdit olarak tanımlanmakta ve etkisi altında artan küresel hava sıcaklıkları deniz suyu sıcaklıklarında da değişimlere sebep olmaktadır. Deniz suyu sıcaklıklarında meydana gelebilecek değişimler denizlerdeki ekolojik dengeyi önemli derecede bozma potansiyeline sahiptir. Bu çalışmanın amacı iklim değişikliğinin Orta Karadeniz kıyılarında yer alan İnebolu ve Sinop meteoroloji gözlem istasyonlarında kaydedilen deniz suyu sıcaklıkları üzerindeki olası etkilerini araştırmaktır. Çalışma kapsamında CMIP6 arşivinden seçilen dört genel dolaşım modeline ait SSP2-4.5 (iyimser) ve SSP5-8.5 (kötümser) senaryo çıktıları yapay sinir ağları istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi ile bölgesel ölçeğe indirgenmiş ve her bir istasyon için gelecek dönem (2023-2052) deniz suyu sıcaklık değerleri tahmin edilmiştir. Aylık ortalama deniz suyu sıcaklıklarının İnebolu istasyonunda iyimser senaryoya göre  $-0.24$  ile  $1.66$  °C ve kötümser senaryoya göre  $-0.30$  ile  $1.71$  °C arasında değişebileceği belirlenmiş ve yıllık ortalama değerlerin ise  $0.67$  ve  $0.56$  °C artacağı öngörülmüştür. Sinop istasyonunda da aylık ortalama deniz suyu sıcaklıklarında iyimser senaryo çıktılarına göre  $0.18$  ile  $1.95$  °C ve kötümser senaryo çıktılarına göre  $0.34$  ile  $1.85$  °C arası değişimlerin meydana gelebileceği tahmin edilmekte ve yıllık ortalama değerlerde  $0.93$  ve  $0.98$  °C'lik artışlar meydana geleceği öngörülmektedir.

#### Anahtar Kelimeler

“Birleştirilmiş model, Deniz suyu sıcaklığı, İklim değişikliği, Orta Karadeniz, Yapay sinir ağları”

#### Abstract

Climate change is defined as a serious environmental threat that global ecosystems face, and increasing global air temperatures due to climate change can also cause changes in seawater temperatures. These changes have a potential to significantly disrupt the ecological balance in the seas. The aim of this study is to investigate the possible effects of climate change on the seawater temperatures recorded in the İnebolu and Sinop meteorological observation stations located on the Central Black Sea coast of Turkey. Within the scope of the study, the SSP2-4.5 (optimistic) and SSP5-8.5 (pessimistic) scenario outputs of four general circulation models selected from the CMIP6 archive were downscaled to regional scale by artificial neural networks statistical downscaling method, and future period (2023-2052) seawater temperature values were estimated for both stations. It has been determined that the monthly mean seawater temperatures at İnebolu station may vary between  $-0.24$  and  $1.66$  °C according to the optimistic scenario and between  $-0.30$  and  $1.71$  °C according to the pessimistic scenario, and annual average values are predicted to increase by  $0.67$  and  $0.56$  °C, respectively. The monthly mean seawater temperatures at Sinop station are predicted to change between  $0.18$  and  $1.95$  °C according to the optimistic scenario outputs and between  $0.34$  and  $1.85$  °C according to the pessimistic scenario outputs, and increases of  $0.93$  and  $0.98$  °C are predicted to occur in the annual average values.

#### Key Words

“Ensemble model, Seawater temperature, Climate change, Central Black Sea, Artificial neural networks”

## 1. Giriş

Çeşitli sektörler üzerinde baskı oluşturmaya başlayan iklim değişikliği, tropik bölgelerden kutuplara kadar hava dizilerinde meydana gelen uzun süreli değişimler olarak tanımlanmaktadır (Abbass vd., 2022). Karmaşık ve düzensiz hava olayları, buzulların erimesi ve buna bağlı olarak deniz seviyelerinin yükselmesi ve aşırı hava olaylarının sıklığında meydana gelen artışlar iklim değişikliğinin bilinen en yaygın etkileri arasında yer almaktadır (Clarke vd., 2022; Romshoo vd., 2022). Hava ile deniz yüzeyleri arasındaki ısı değişiminin tahmin edilmesinde önemli bir yere sahip olan deniz suyu sıcaklıkları da iklim değişikliklerinden önemli derecede etkilenmektedir (Kalıpcı, 2021). Deniz suyu sıcaklıklarının artması veya azalması, ekosistemler üzerinde bir dizi etkiye neden olabilmektedir. Bunların başında deniz canlıları ve ekosistemleri gelmektedir. Özellikle hayat döngüleri belirli sıcaklık aralıklarında devam eden deniz canlıları su sıcaklıklarının aşırı artması veya düşmesi durumlarında beslenme, üreme ve genel yaşam süreçlerini sürdürmekte sorunlar yaşayabilmektedir. Deniz suyu sıcaklıklarındaki artışlar, mercan ağarmasına sebep olmakta ve dünya çapında mercan resif ekosistemleri için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Ayrıca deniz suyu sıcaklıklarındaki değişiklikler atmosferle etkileşime girerek yerel hava durumu ve iklimi etkileyebilmektedir. Örneğin, sıcak su yüzeyleri, tropikal siklonların oluşumuna ve güçlenmesine neden olabilmektedir (Karvonen vd., 2010; Ateweberhan ve McClanahan, 2010; Han ve Lee, 2020).

İklim değişikliği konusunda bilim dünyasında başlayan tartışmalar, iklim değişikliği ile mücadele kapsamında siyasi ve politik yönleri olduğu için Birleşmiş Milletler öncülüğünde dünya gündemine taşınmıştır. Böylece insan faaliyetlerinin neden olduğu iklim değişikliğinin risklerini değerlendirmek üzere 1988 yılında hükümetler arası iklim değişikliği paneli (IPCC) kurulmuştur. IPCC'nin yayımlanmış olduğu raporlarda iklim değişikliğinin % 100 insan etkileri nedeniyle meydana geldiği açık bir dille ifade edilmektedir. İklim değişikliği üzerine yapılan araştırmalar küresel anlamda bir değişimin meydana geldiği ve gelmeye devam edeceğini ortaya koymaktadır (Sayari vd., 2013; Mehr vd., 2020; Navarro-Racines vd., 2020; Tabari 2020; Kumar vd., 2022).

19. yüzyıl sonlarından bugüne kadar küresel anlamda yaşanan en sıcak beş senenin son 10 sene içinde gözlenmesi, günümüzde iklim değişikliği ve sonuçlarının günlük yaşama etkilerinin artık ülkemizde de her alanda tartışılmaya ve sorgulanmaya başlamasına neden olmuştur (Bozoglul vd., 2019; Mehr vd., 2020; Turkes, 2020; Nacar vd., 2021; San vd., 2023a; San vd., 2023b). Bu kapsamda yapılan çalışmaların birçoğu gelecek dönem ikliminin ve meydana gelebilecek aşırı hava olaylarının tahmin edilmesine yöneliktir. Gelecek dönemlerde yaşanması muhtemel iklimin ve iklim parametrelerindeki (yağış, sıcaklık, buharlaşma vb.) değişimlerin belirlenmesinde en sık kullanılan ve kıyasla daha doğru sonuçlar verdiği kabul edilen yaklaşım genel dolaşım modeli (GDM) çıktılarının kullanılması yaklaşımıdır (Wilby ve Harris, 2006). Ancak GDM'ler sahip oldukları düşük çözünürlükler nedeniyle iklim değişikliği etki çalışmalarında doğrudan kullanılamamaktadır. Bu nedenle çözünürlüklerinin artırılması, bir başka ifadeyle ölçeklerinin indirgenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda dinamik ve istatistiksel olmak üzere iki farklı ölçek indirgeme yaklaşımı geliştirilmiştir. Bunların arasından kurulum, kullanım ve başka bölgelere uyarlanabilme kolaylığı, fazla veri gerektirmeme ve düşük hesaplama maliyetleri gibi üstünlükleri nedeniyle istatistiksel ölçek indirgeme yaklaşımı araştırmacılar tarafından iklim değişikliğinin bölgesel etkilerinin değerlendirildiği çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Wilby ve Dawson, 2013; Sachindra vd., 2018; Baghanam vd, 2020; Nacar vd., 2022).

Yapılan iklim değişikliği etki çalışmaları incelendiğinde, yağış ve sıcaklık değişkenleri üzerine yoğunlaşıldığı görülmektedir. Deniz suyu sıcaklığı iklim değişikliğini de etkileyen önemli bir parametre olmasına karşın literatür incelendiğinde dünya genelinde bu konuda yapılan çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür. Özellikle Karadeniz için yapılan bir iklim değişikliği etki çalışmasına rastlanılmamıştır. Bu noktadan hareketle bu çalışmada, iklim değişikliğinin Türkiye'nin Orta Karadeniz Bölgesi kıyılarında yer alan iki adet meteoroloji gözlem istasyonuna ait deniz suyu sıcaklıkları üzerindeki olası etkilerin araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda en güncel GDM verilerinin yer aldığı CMIP6 arşivinden seçilen ESM2-1, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0 ve NORESM2-MM iklim modellerine ait iyimser senaryoyu temsil ettiği ifade edilen SSP2-4.5 ve kötümser senaryoyu temsil ettiği ifade edilen SSP5-8.5 senaryo çıktıları kullanılmıştır. Kaba çözünürlüğe sahip GDM çıktılarının noktasal ölçeğe indirgenmesinde literatürde sıklıkla kullanılan yapay sinir ağları (YSA) tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca YSA tabanlı modellerin performanslarının karşılaştırılabilmesi için çoklu doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme modelleri de kurulmuş ve performans karşılaştırılması yapılmıştır. En yüksek performansa sahip model kullanılarak her iki istasyona ait gelecek dönem (2023-2052) deniz suyu sıcaklıkları üretilmiş ve geçmiş dönem sıcaklık verileri ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Çalışma Alanı ve Veriler

### 2.1. Meteorolojik veriler

Karadeniz, 40° 56' - 46° 33' K ile 27° 27' - 41° 42' D koordinatları arasında yer almaktadır. Yarı kapalı bir deniz olan Karadeniz, Marmara Denizi'ne İstanbul Boğazı, Ege ve Akdeniz'e Çanakkale Boğazı ve Azak Denizi'ne Kerch Boğazı ile bağlanmaktadır (Şekil 1). Kıyı çizgisi uzunluğu 8,350 km olan Karadeniz'in ortalama derinliği 1,300 m olup maksimum derinliği 2,588 m civarındadır (Ozsoy ve Unluata, 1997; Yıldız, 2010; Bingölbali, 2018). Birçok nehir ve akarsu sularını Karadeniz'e boşaltmaktadır. Dinyeper, Dinyester, Don Irmağı, Kuban Irmağı, Doğu ve Orta Avrupa'yı kapsayan Tuna Nehri Karadeniz'e dökülen önemli akarsulardır. Ülkemizde Kızılırmak, Yeşilirmak ve Sakarya başta olmak üzere Karadeniz sahili boyunca birçok akarsu sularını Karadeniz'e boşaltmaktadır.



**Şekil 1.** İnebolu ve Sinop meteoroloji gözlem istasyonlarının Karadeniz'deki konumları

Akdeniz iklim kuşağında yer alması nedeniyle Türkiye iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek ülkeler arasında yer almaktadır. İklim değişikliği sebebiyle artan hava sıcaklıkları aynı zamanda nehir ve deniz suyu sıcaklıklarında da artışlar meydana getirmektedir. Bu durum göz önüne alındığında, yarı kapalı bir iç deniz olan Karadeniz gibi sistemlerin bu etkileri derinden hissedeceği kaçınılmaz bir gerçektir (Çokaçar, 2021; Burman vd., 2022). İklim değişikliğinin deniz suyu sıcaklıkları üzerindeki olası etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada, Orta Karadeniz Bölgesi kıyı şeridinde yer alan İnebolu ve Sinop meteoroloji gözlem istasyonlarının 52 yıllık (1963-2014) aylık ortalama deniz suyu sıcaklık değerleri dikkate alınmıştır (Şekil 1).

## 2.2. Genel Dolaşım Modelleri Verileri

Gelecekte sebep olabileceği durumların önceden bilinmesiyle iklim değişikliği ile mücadelenin daha etkili olacağı bilim dünyasının vardığı ortak bir sonuçtur. Bu kapsamda ulusal ve uluslararası birçok kurum çalışmalar yürütmektedir. İklim modelleme çalışmaları gelecekte yaşanması muhtemel iklimin önceden belirlenmesine olanak tanıyan en kapsamlı çalışmalardır. Atmosfer, okyanuslar, kara yüzeyi ve buzullar arasındaki etkileşimleri temsil etmek için fiziksel yasaları kullanan karmaşık matematiksel modeller olarak tanımlanan GDM'ler, gelecekteki iklim değişikliği etkilerini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu modeller bilgisayar gücüne de bağlı olarak farklı çözünürlüklerde üretilmektedir. GDM'ler sahip oldukları düşük çözünürlükler (yaklaşık 200 km) nedeniyle küresel iklimin yorumlanmasına olanak tanısa da bölgesel iklimin tespit edilmesinde yetersiz kalabilmekte ve hatalı sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle ölçeklerinin bölgesel ölçeğe indirgenmesi gerekmektedir (Batıbeniz, 2014). Çalışma kapsamında ölçek indirgeme yöntemleri uygulanarak kullanılan GDM'lerin isimleri ve üretildikleri merkezlere ait temel bilgiler aşağıda verilmektedir.

- CNRM-ESM2-1 (National Centre for Meteorological Research and European Centre for Research and Advanced Training in Scientific Computation Earth System Model, Ulusal Meteorolojik Araştırma Merkezi ve Avrupa Bilimsel Hesaplama Yer Sistem Modeli Araştırma ve İleri Eğitim Merkezi),
- MPI-ESM1-2-HR (A Higher-Resolution Version of the Max Planck Institute Earth System Model, Max Planck Enstitüsü Yer Sistem Modeli),
- MRI-ESM2-0 (Meteorological Research Institute Earth System Model Version 2.0, Meteorolojik Araştırma Enstitüsü Yer Sistem Modeli Versiyon 2.0),
- NorESM2-MM (Norwegian Climate Centre Earth System Model, Norveç İklim Merkezi Yer Sistem Modeli)

IPCC'nin yayımladığı altıncı değerlendirme raporunda tanıttığı ortak sosyo-ekonomik rotalar (shared socio-economic pathways, SSPs) en güncel iklim değişikliği senaryolarıdır. Temel iklim sistemi bileşenleri (atmosfer, kara yüzeyi, okyanus ve deniz buzu) esas alınarak oluşturulan SSP senaryoları ile gelecekte meydana gelebilecek muhtemel durumlar değerlendirilmiştir. Bunlar sırasıyla SSP1: sürdürülebilir odaklı büyüme ve eşitlik dünyası, SSP2: trendlerin tarihsel örüntülerini büyük ölçüde takip ettiği yolun ortasında bir dünya, SSP3: parçalanmış ve yeniden dirilen milliyetçilik dünyası, SSP4: sürekli artan eşitsizliğin olduğu bir dünya ve SSP5: ekonomik çıktı ve enerji kullanımında hızlı ve kısıtlamasız büyümenin olduğu bir dünya şeklinde tanımlanmaktadır (Özdemir, 2022). Bu senaryolar farklı ışınımsal zorlama değerlerine göre alt gruplara (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP4-3.4, SSP4-6.0, SSP5-3.4OS ve SSP5-8.5) ayrılmaktadır. Bu çalışmada, yukarıda bilgileri verilen GDM'lerin geçmiş dönem ve iyimser ve kötümser senaryoyu temsil ettiği ifade edilen iki farklı gelecek dönem senaryosu olan SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına ait veriler kullanılmıştır. SSP2-4.5 orta seviye sera gazı emisyonları senaryosu, SSP5-8.5 ise yüksek sera gazı emisyonları senaryosu olarak ifade edilmektedir. IPCC tarafından yayımlanan raporlara göre bu iki senaryo çıktıları dikkate alındığında küresel yüzey sıcaklığının sırasıyla ortalama 2.8 ve 4.5 °C artacağı öngörülmektedir (IPCC, 2021).

### 3. Kullanılan Yöntemler

#### 3.1. Ölçek İndirgeme Yöntemleri

Çalışma kapsamında biri YSA diğeri regresyon tabanlı olmak üzere iki farklı istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi kullanılmıştır. Regresyon analizi bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen regresyon analizinde çoklu doğrusal ve doğrusal olmayan eşitlikler kullanılmıştır. Bu eşitlikler sırasıyla doğrusal, üs, üstel ve kuadratik (DF, ÜF, EF ve KF) fonksiyonlardır (Eşitlik 1-4).

$$y_{DF} = w_0 + w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 + \dots + w_n x_n \quad (1)$$

$$y_{ÜF} = w_0 x_1^{w_1} x_2^{w_2} x_3^{w_3} x_4^{w_4} \dots x_n^{w_n} \quad (2)$$

$$y_{EF} = w_0 + \exp(w_1 + w_2 x_1 + w_3 x_2 + \dots + w_{n-1} x_n) \quad (3)$$

$$y_{KF} = w_0 + w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_5 x_1 x_2 + w_6 x_1 x_3 + \dots + w_{11} x_1^2 + w_{12} x_2^2 + \dots + w_{14} x_4^2 \quad (4)$$

Bu eşitliklerde deniz suyu sıcaklıklarını  $y$ , ağırlıkları  $w$  ve bağımsız değişkenleri  $x$  temsil etmektedir.

YSA basit biyolojik sinir sisteminin işleyiş şeklini benzeştirmek amacıyla tasarlanan bilgisayar yazılımlarıdır (Akgürbüz, 2017). Biyolojik sinir sistemlerinde olduğu gibi nöronların bir araya gelmesiyle oluşturulmaktadır. YSA ile oluşturulan bir ağ mimarisinin üç temel bileşeni bulunmaktadır. Bunlar bağımlı değişkenlerin yer aldığı girdi katmanı, nöronların bulunduğu ara katman ve bağımlı değişkenin yer aldığı çıktı katmanıdır. YSA herhangi bir ön bilgi gerektirmeksizin bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi yüksek doğrulukta ifade edebilmektedir. YSA tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi ile modeller kurulurken bağımlı ve bağımsız değişkenlere ait bütün verilerin tek seferde kullanılmasından kaçınılmalıdır. Veriler, eğitim, doğrulama ve test veri setlerine ayrılarak eğitilen modelin test edilebilmesi sağlanmalıdır. Modelin eğitilmesi sırasında kullanılan iterasyon sayısı doğrulama ve test aşamalarını etkilediği için uygun iterasyon sayısının belirlenmesinde farklı iterasyon sayıları için denemeler yapılmalıdır (Okkan 2013, Okkan ve Karakan, 2015; Akgürbüz, 2017). Model performansını etkileyen bir diğer değişken ise ara katmandaki eleman sayısıdır. Bu sayının belirlenmesi için net bir kural olmamasının yanı sıra sayı deneme yanılma ile bulunabilmektedir. Çalışma kapsamında 5, 10, 15, 20 ve 25 nörona sahip beş model oluşturulmuştur.

#### 3.2. Kantil Delta Haritalama Yöntemi

GDM'lerin düşük çözünürlüklerinin yanı sıra bazı atmosferik süreçlerin modellenen kabiliyetlerinin sınırlı olması gibi sebeplerle bazı yanlışlıklara sahip olabildikleri literatürde ve IPCC raporlarında ifade edilmektedir. GDM'ler sahip oldukları yanlışlıklar nedeniyle ölçek indirgeme modellerinin performanslarını düşürebilmekte ve projeksiyonlarda hatalara neden olabilmektedir (IPCC, 2013; Ballı, 2019; Kırdemir ve Okkan, 2019). Daha güvenilir projeksiyonların elde edilebilmesi için ölçek indirgeme modellerine ait çıktıları yanlışlık düzeltmesi yapılması önerilmektedir. Yanlılık düzeltme yöntemleri, incelenen değişkene ait model ve gözlem verilerinin dağılım fonksiyonlarının tanımlanarak birinden diğerine simülasyonların transfer edilmesi esasına dayanmaktadır (Ballı, 2014). Bu çalışmada iklim değişikliği etki çalışmaları kapsamında sıklıkla kullanılan kantil delta haritalama (KDH) yöntemi uygulanmıştır. Yöntem GDM'lere ait dağılımların gözlem verilerine ait dağılımlar üzerine haritalanması ilkesine dayanmaktadır. KDH ile veri setlerinin uyumlu olduğu teorik dağılımlar dikkate alınır. Geçmiş dönem dağılımları altında, her aya ait geçmiş ve gelecek dönem eklenik olasılık değerleri ve bu değerlere karşılık gelen kantil değerleri gözlenmiş dağılımlar altında elde edilerek düzeltilmiş ve gelecek dönem verileri elde edilmiştir. KDH yöntemi doğrudan rölatif değişimler dikkate alınarak modellenmiş verilerdeki yanlışlıkları düzeltme ilkesindedir. Yanlılığı düzeltilmiş değerler Eşitlik (5) kullanılarak elde edilmiştir (Cannon vd., 2015; Okkan ve Kırdemir, 2016; Kırdemir ve Okkan, 2019).

$$y_{cor}(t) = F^{-1}(F(y_{mod}(t), \theta_{mod}), \theta_{obs}) \left( \frac{y_{mod}(t)}{F^{-1}(F(y_{mod}(t), \theta_{mod}), \theta_{REF})} \right) \quad (5)$$

Bu eşitlikte,  $t$  anındaki iklim modelinden elde edilen referans dönem veya gelecek dönem senaryolarına ait değerleri  $y_{mod}(t)$ ,  $t$  zamanındaki düzeltilmiş değerleri  $y_{cor}(t)$ , benzeştirilen referans ve gözlenmiş verilerden elde edilmiş dağılım parametrelerini sırasıyla  $\theta_{REF}$  ve  $\theta_{obs}$ , referans dağılımına ait eklenik olasılık fonksiyonunu ve gözlenmiş verilere ait ters kümülatif olasılık fonksiyonunu ise sırasıyla  $F(\cdot)$  ve  $F^{-1}(\cdot)$  ifade etmektedir (Kırdemir ve Okkan, 2019).

#### 4. Yapılan Çalışmalar

İklim değişikliğinin deniz suyu sıcaklıkları üzerindeki olası etkilerini irdelemek için hazırlanan bu çalışmada, ilk olarak meteoroloji gözlem istasyonlarına ait veriler değerlendirilmiştir. Bu aşamada kesintisiz gözlem verisine sahip olan istasyonlar araştırılmış ve Orta Karadeniz Bölgesi'nde yer alan İnebolu ve Sinop meteoroloji gözlem istasyonları çalışma alanı olarak seçilmiştir. İlgili istasyonlara ait 1952-2014 dönemi 52 yıllık aylık ortalama deniz suyu sıcaklıkları Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. İstatistiksel ölçek indirgeme modellerinde GDM'lere ait aynı dönemi kapsayan geçmiş dönem senaryo veri setlerinde yer alan hava sıcaklığı değişkenleri ve ilgili aya ait sayısal değer (örneğin Ocak ayı için 1 ve Aralık ayı için 12) bağımsız değişken, deniz suyu sıcaklıkları ise bağımlı değişken olarak tanımlanmıştır. Böylece dört GDM'nin birleştirilmiş bir modeli oluşturulmuştur. Modelleme çalışmalarına başlamadan önce veri setleri 0.1 ile 0.9 değerleri arasında normalize edilmiştir. Normalizasyon süreci hakkında detaylı bilgilere literatürden (Nacar vd., 2020) erişilebilir. Daha sonra ölçek indirgeme modellerinin kurulmasında verilerin % 58'i eğitim

(1963-1992 dönemi), % 21'i doğrulama (1993-2003 dönemi) ve kalan % 21'i test (2004-2014 dönemi) veri setlerine ayrılmıştır. Eğitim, doğrulama ve test veri setlerine ait temel istatistikler Tablo 1'de verilmektedir.

**Tablo 1.** Eğitim, doğrulama ve test veri setleri için deniz suyu sıcaklıklarına (°C) ait temel istatistikler

Veri seti	İstatistik	İnebolu	Sinop
Eğitim	Minimum	4.6	6.4
	Ortalama	13.8	15.2
	Maksimum	24.8	25.5
	Standart Sapma	5.1	5.7
Doğrulama	Minimum	4.7	5.2
	Ortalama	14.1	14.9
	Maksimum	24.3	25.9
	Standart Sapma	5.6	6.1
Test	Minimum	6.4	6.8
	Ortalama	14.5	16.0
	Maksimum	24.1	26.8
	Standart Sapma	5.1	6.0
Tüm veriler	Minimum	4.6	5.2
	Ortalama	14.0	15.3
	Maksimum	24.8	26.8
	Standart Sapma	5.2	5.8

Kurulmuş olan istatistiksel ölççek indirgeme modellerinin performansları ortalama karesel hatanın karekökü (OKHK), ortalama mutlak hata (OMH), saçılım indeksi (Sİ) ve Nash-Sutcliffe (NS) performans istatistikleri (Eşitlik 6-9) kullanılarak değerlendirilmiştir.

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2} \quad (6)$$

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |t_i - td_i| \quad (7)$$

$$Sİ = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2}}{\bar{t}} \quad (8)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2} \quad (9)$$

En yüksek performans gösteren model belirlenmiş ve bu modele gelecek dönem SSP senaryo veri setlerinde yer alan hava sıcaklığı ve ay sayıları yeni girdiler olarak tanımlanarak gelecek dönem deniz suyu sıcaklıkları üretilmiştir. Son olarak üretilen bu verilere, GDM verilerinin üretim aşamalarından kaynaklanan çeşitli yanlışlıkların giderilmesi amacıyla KDH yanlışlık düzeltme yöntemi uygulanmıştır.

## 5. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında veri setleri düzenlenip normalize edildikten sonra regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizlerinde eğitim veri seti için her bir denkleme ait ağırlıklar hesaplanmış ve bu ağırlıklar kullanılarak doğrulama ve test veri setleri üretilmiştir. İnebolu ve Sinop istasyonları için eğitim veri seti kullanılarak hesaplanan ağırlıklar Tablo 2'de verilmektedir.

**Tablo 2.** İnebolu ve Sinop istasyonları için elde edilen regresyon eşitliklerinde yer alan ağırlıklar

İstasyonlar	İnebolu				Sinop			
	DF	ÜF	EF	KF	DF	ÜF	EF	KF
w <sub>0</sub>	-0.038	1.047	0.071	0.302	-0.083	1.183	0.068	0.316
w <sub>1</sub>	0.199	0.321	-2.660	-0.207	0.185	0.385	-2.940	-0.448
w <sub>2</sub>	0.036	0.075	0.901	-0.197	0.584	0.463	1.109	0.409
w <sub>3</sub>	0.244	0.207	0.384	0.144	0.029	0.133	0.881	-0.365
w <sub>4</sub>	0.319	0.249	0.456	-0.173	0.146	0.170	0.415	-0.281
w <sub>5</sub>	0.198	0.338	0.557	-0.356	0.131	0.261	0.623	-0.443
w <sub>6</sub>			0.803	0.433			0.540	0.337
w <sub>7</sub>				0.389				0.756
w <sub>8</sub>				0.000				0.273
w <sub>9</sub>				0.008				-0.121
w <sub>10</sub>				0.098				-0.814
w <sub>11</sub>				0.680				0.835
w <sub>12</sub>				-1.386				-2.166
w <sub>13</sub>				-0.453				0.106
w <sub>14</sub>				0.156				0.397
w <sub>15</sub>				0.213				0.671

W16	0.157	0.279
W17	0.416	0.802
W18	-0.054	0.324
W19	0.094	-0.474
W20	1.168	1.273

Regresyon analizi sonrasında YSA tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme modelleri kurulmuştur. YSA tabanlı modellerde beş farklı nöron sayısı için denemeler yapılmış ve her bir nöron için en yüksek performansı veren model belirlenmiştir. Regresyon analizi ve YSA tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme yöntemleri kullanılarak üretilmiş olan eğitim, doğrulama ve test setleri değerleri ile gözlem verileri arasında performans istatistikleri hesaplanmıştır. İnebolu ve Sinop istasyonlarına ait regresyon ve YSA tabanlı ölçek indirgeme modellerinin eğitim, doğrulama ve test veri setleri için hesaplanmış olan performans istatistikleri sırasıyla Tablo 3 ve 4'te verilmektedir.

**Tablo 3.** İnebolu istasyonu için kurulan istatistiksel ölçek indirgeme modellerine ait performans istatistikleri

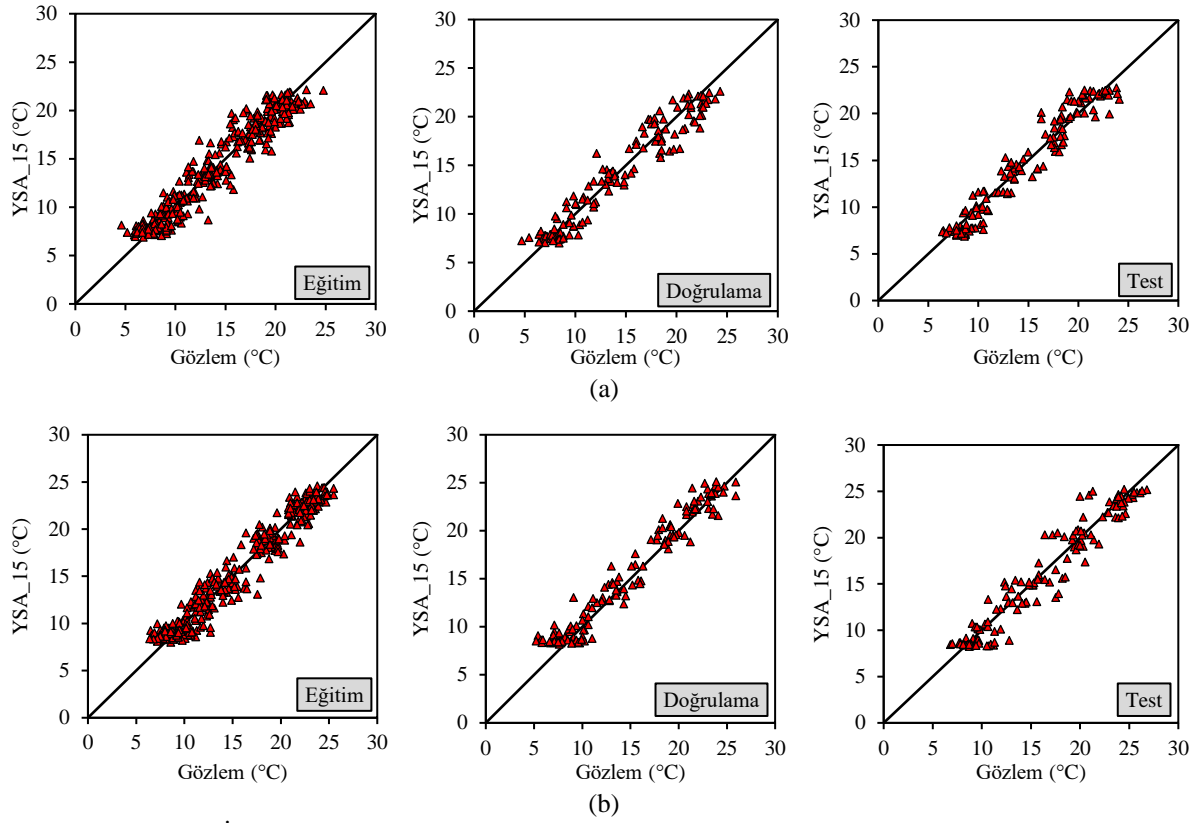
Yöntemler		Regresyon		YSA						
Modeller		DF	ÜF	EF	KF	YSA_5	YSA_10	YSA_15	YSA_20	YSA_25
Eğitim	OKHK (°C)	1.933	1.613	1.877	1.499	1.481	1.455	<b>1.372</b>	1.423	1.373
	OMH (°C)	1.553	1.289	1.495	1.184	1.157	1.155	<b>1.065</b>	1.095	1.066
	Sİ	0.141	0.117	0.136	0.109	0.108	0.106	<b>0.100</b>	0.103	<b>0.100</b>
	NS	0.857	0.901	0.866	0.914	0.916	0.919	<b>0.928</b>	0.923	<b>0.928</b>
Doğrulama	OKHK (°C)	1.833	1.652	1.800	1.652	1.416	1.449	1.444	<b>1.409</b>	1.446
	OMH (°C)	1.468	1.293	1.470	1.307	1.176	1.202	1.182	1.176	<b>1.170</b>
	Sİ	0.130	0.117	0.127	0.117	0.100	0.102	0.102	<b>0.100</b>	0.102
	NS	0.891	0.911	0.895	0.911	0.935	0.932	0.932	<b>0.935</b>	0.932
Test	OKHK (°C)	1.861	1.601	1.772	1.507	1.310	1.364	1.332	1.343	<b>1.329</b>
	OMH (°C)	1.534	1.293	1.467	1.239	1.033	1.091	1.088	1.084	<b>1.079</b>
	Sİ	0.129	0.111	0.123	0.104	0.091	0.094	<b>0.092</b>	0.093	<b>0.092</b>
	NS	0.868	0.902	0.880	0.913	0.934	0.929	<b>0.932</b>	0.931	<b>0.932</b>

Tablo 3 incelendiğinde regresyon analizlerinde en yüksek performansın her üç veri seti içinde KF'den elde edildiği görülmektedir. Hesaplanan en düşük performans değerleri ise DF'ye aittir. YSA tabanlı modellerin ise genel olarak regresyon tabanlı modellere kıyasla daha yüksek performans değerleri verdiği görülmektedir. YSA tabanlı modellerin performansları arasında önemli bir fark bulunmadığı, ancak en yüksek performansın 15 nörona sahip olan YSA\_15 modelinden elde edildiği belirlenmiştir.

**Tablo 4.** Sinop istasyonu için kurulan istatistiksel ölçek indirgeme modellerine ait performans istatistikleri

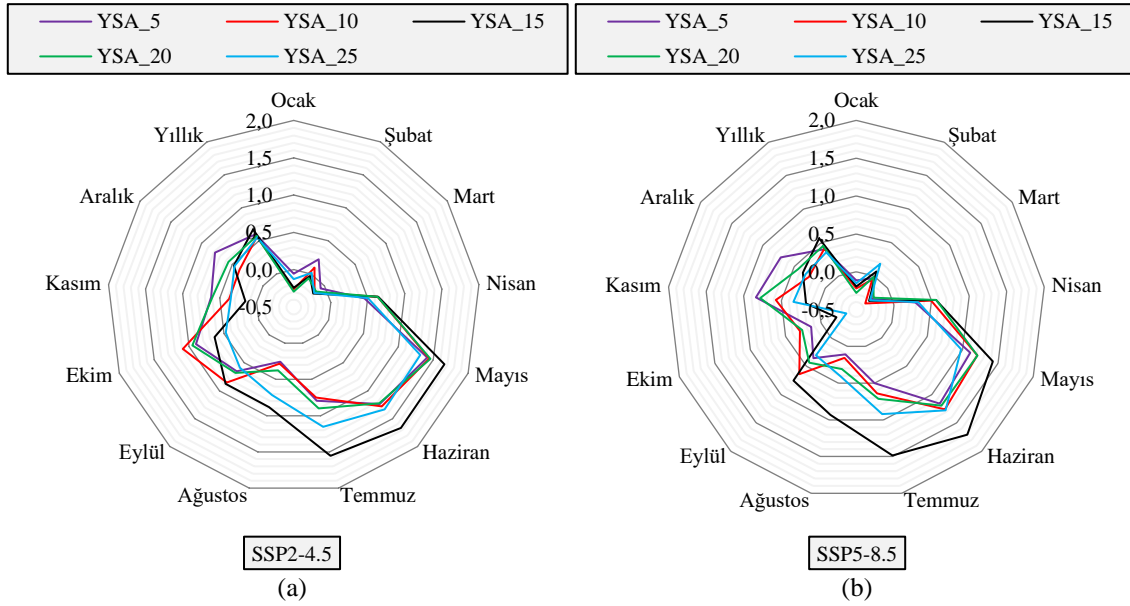
Yöntemler		Regresyon		YSA						
Modeller		DF	ÜF	EF	KF	YSA_5	YSA_10	YSA_15	YSA_20	YSA_25
Eğitim	OKHK (°C)	1.940	1.498	1.766	1.330	1.301	<b>1.238</b>	1.262	1.248	1.258
	OMH (°C)	1.560	1.221	1.405	1.074	1.032	0.994	1.012	<b>0.993</b>	1.005
	Sİ	0.128	0.099	0.117	0.088	0.086	<b>0.082</b>	0.083	<b>0.082</b>	0.083
	NS	0.882	0.930	0.903	0.945	0.947	<b>0.952</b>	0.950	0.951	0.951
Doğrulama	OKHK (°C)	1.975	1.615	1.845	1.507	1.434	<b>1.403</b>	1.451	1.405	1.459
	OMH (°C)	1.584	1.263	1.414	1.215	1.167	1.133	1.170	1.155	1.192
	Sİ	0.132	0.108	0.124	0.101	0.096	0.094	0.097	0.094	0.098
	NS	0.893	0.929	0.907	0.938	0.944	<b>0.946</b>	0.942	<b>0.946</b>	0.942
Test	OKHK (°C)	2.211	1.757	2.025	1.661	1.527	1.548	1.537	<b>1.496</b>	1.508
	OMH (°C)	1.817	1.340	1.581	1.237	1.154	1.181	1.149	<b>1.118</b>	1.130
	Sİ	0.138	0.109	0.126	0.104	0.095	0.096	0.096	<b>0.093</b>	0.094
	NS	0.861	0.912	0.883	0.922	0.934	0.932	0.933	<b>0.936</b>	0.935

Tablo 4'e göre regresyon tabanlı modellerde en yüksek ve en düşük performansa sahip modellerin İnebolu istasyonunda olduğu gibi sırasıyla KF ve DF kullanılarak elde edildiği görülmektedir. YSA tabanlı modeller arasında önemli derecede bir performans farkı olmadığı ve regresyon tabanlı modellere kıyasla genel olarak daha yüksek doğrulukta sonuçlar ürettiği ve belirlenmiştir. En yüksek performansa sahip modelin Sinop istasyonu için 20 nörona sahip olan YSA\_20 modeli olduğu görülmektedir. Geçmiş dönem gözlem verileri ile gelecek dönem tahmin değerleri arasındaki en büyük sıcaklık farkının YSA\_15 modelinden elde edilmesi ve YSA modelleri arasındaki performans farklarının çok küçük olması sebebiyle değerlendirmeler YSA\_15 modeli üzerinden gerçekleştirilmiştir. İnebolu ve Sinop istasyonları için YSA\_15 modellerine ait saçılım grafikleri eğitim, doğrulama ve test veri setleri için Şekil 2'de verilmektedir.

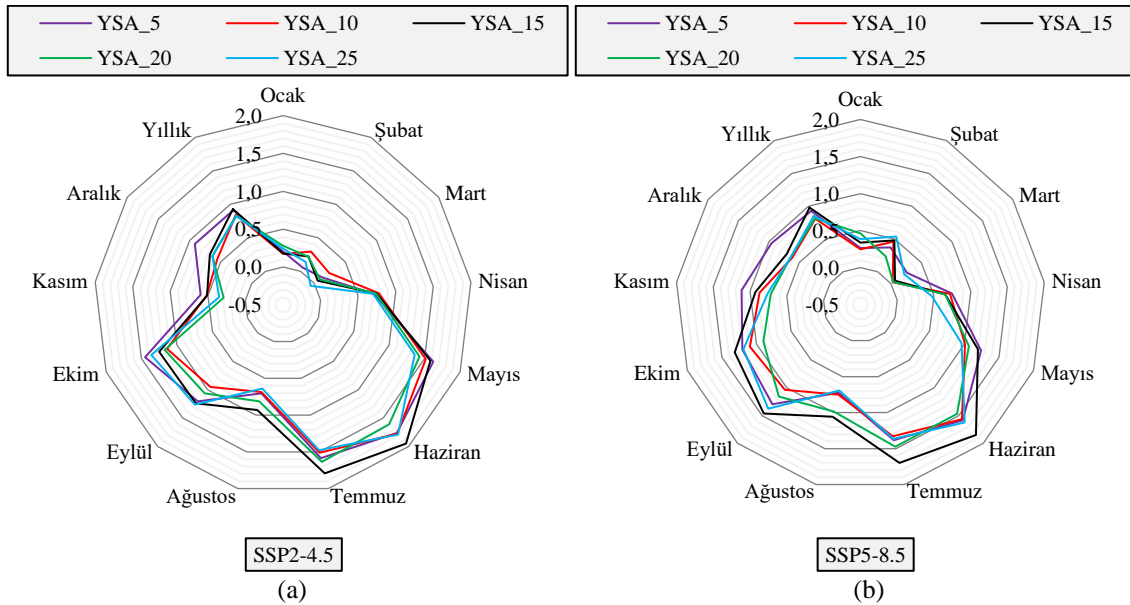


**Şekil 2.** İnebolu (a) ve Sinop (b) meteoroloji gözlem istasyonlarına ait saçılım grafikleri

YSA tabanlı modellerin İnebolu ve Sinop istasyonları için regresyon tabanlı modellere kıyasla daha yüksek performans değerleri vermesi sebebiyle gelecek dönem deniz suyu sıcaklıklarının üretilmesinde YSA tabanlı modellerin kullanılması uygun görülmüştür. Her iki istasyon için de YSA\_15 modellerine SSP senaryo verilerinde yer alan hava sıcaklık değerleri ve aylara ait sayısal değerler yeni girdiler olarak tanıtılmış ve 2023-2052 dönemi için deniz suyu sıcaklıkları tahmin edilmiştir. İnebolu ve Sinop istasyonları için YSA tabanlı modellerden SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için elde edilen 2023-2052 dönemi deniz suyu sıcaklık değerleri ile geçmiş dönem deniz suyu sıcaklık değerleri arasındaki aylık ve yıllık ortalama sıcaklık farkları Şekil 3 ve 4'te radar grafikler ile verilmektedir. Radar grafikler incelendiğinde en keskin artış ve düşüş değerlerinin en yüksek performans istatistiği değerlerine sahip YSA\_15 modelinden elde edildiği görülmektedir. Her iki senaryoya göre her iki istasyonda da özellikle ilkbahar ve yaz aylarında 2.00 °C'ye yaklaşan sıcaklık artışlarının olabileceği tespit edilmiştir. Sonbahar aylarında ise genel olarak deniz suyu sıcaklıklarının düşeceği öngörülmektedir. En fazla sıcaklık artışının öngörüldüğü ay Haziran olurken, en fazla düşüşün İnebolu istasyonu için Ekim, Sinop istasyonu için ise Mart ayında meydana gelebileceği belirlenmiştir. Sıcaklık değişimlerinin SSP2-4.5 senaryosuna kıyasla SSP5-8.5 senaryosunda daha fazla olması beklenmektedir. Uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık değerleri incelendiğinde, İnebolu istasyonu için 0.50 °C Sinop istasyonunda ise 1.00 °C'lik sıcaklık artışlarının meydana gelebileceği tespit edilmiştir.



**Şekil 3.** İnebolu meteoroloji gözlem istasyonu için (a) SSP2-4.5 ve (b) SSP5-8.5 senaryoları altında gelecek dönem (2023-2052) aylık ortalama deniz suyu sıcaklık tahmin değerlerinin geçmiş dönem (1985-2014) gözlem verilerine göre değişimleri



**Şekil 4.** Sinop meteoroloji gözlem istasyonu için (a) SSP2-4.5 ve (b) SSP5-8.5 senaryoları altında gelecek dönem (2023-2052) aylık ortalama deniz suyu sıcaklık tahmin değerlerinin geçmiş dönem (1985-2014) gözlem verilerine göre değişimleri

İnebolu ve Sinop istasyonlarında gelecek dönem deniz suyu sıcaklıklarında meydana gelebilecek değişimlerin aylık ve yıllık bazda daha net değerlendirilebilmesi için ısı tabloları oluşturulmuştur (Tablo 5). Tablolardan da anlaşılacağı üzere özellikle yaz aylarında deniz suyu sıcaklıklarında önemli artışlar öngörülmektedir. Sıcaklık düşüşü sadece İnebolu istasyonunda Ocak, Şubat ve Mart aylarında beklenmektedir. İnebolu istasyonda aylık deniz suyu sıcaklıklarında beklenen değişimler  $-0.36$  ile  $1.71$  °C aralığında iken bu değerler Sinop istasyonu için  $-0.06$  ile  $1.95$  °C aralığındadır.

**Tablo 5.** İnebolu ve Sinop meteoroloji gözlem istasyonları için SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları altında gelecek dönem (2053-2082) aylık ortalama deniz suyu sıcaklık tahmin değerlerinin geçmiş dönem (1985-2014) gözlem verilerine göre değişimleri

İnebolu istasyonu											Δ°C
Senaryo	SSP2-4.5					SSP5-8.5					
Ay/Nöron	5	10	15	20	25	5	10	15	20	25	
Oca											-0.36
Şub											-0.18
Mar											-0.01
Nis											0.16
May											0.33

Sinop istasyonu											Δ°C
Senaryo	SSP2-4.5					SSP5-8.5					
Ay/Nöron	5	10	15	20	25	5	10	15	20	25	
Oca											-0.06
Şub											0.11
Mar											0.28
Nis											0.44
May											0.61



Haz														0.50	Haz														0.78
Tem														0.68	Tem													0.95	
Ağu														0.85	Ağu													1.11	
Eyl														1.02	Eyl													1.28	
Eki														1.19	Eki													1.45	
Kas														1.36	Kas													1.61	
Ara														1.54	Ara													1.78	
Yıllık														1.71	Yıllık													1.95	

IPCC'nin en son yayımlanmış olduğu raporlara (IPCC, 2021) göre geçmiş ve gelecekteki sera gazı emisyonlarından kaynaklanan birçok değişiklik, özellikle okyanus, buz tabakaları ve deniz seviyelerindeki değişiklikler, yüzyıllarca hatta bin yıllarca geri döndürülemeyecektir. Ayrıca 21. yüzyılın geri kalanında, muhtemel okyanus ısınmasının, 1971-2018 değişikliğinin 2-4 (SSP1-2.6) ila 4-8 katı (SSP5-8.5) arasında olabileceği öngörülmektedir. Çok sayıda kanıtla dayalı olarak, üst okyanus tabakalanması, okyanus asitlenmesi ve oksijensizleşmesi gelecekteki emisyonlara bağlı olarak 21. yüzyılda artmaya devam edecektir. Küresel okyanus sıcaklığında, derin okyanus asitlenmesi ve oksijensizleşmesinde yüz ila bin yıllık zaman ölçeklerinde geri döndürülemez durumların ortaya çıkabileceği net bir şekilde vurgulanmıştır. Küresel ortalama deniz seviyesinin 21. yüzyılda yükselmeye devam edeceği neredeyse kesin olarak tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen bulguların IPCC raporlarında küresel olarak değerlendirilen bulgularla örtüştüğü anlaşılmıştır.

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmanın amacı iklim değişikliğinin deniz suyu sıcaklıkları üzerindeki olası etkilerini araştırmaktır. Bu kapsamda Orta Karadeniz Bölgesi'nde yer alan İnebolu ve Sinop meteoroloji gözlem istasyonlarının bulunduğu bölge çalışma alanı olarak seçilmiştir. Geleceğe yönelik deniz suyu sıcaklık değerlerinin üretilebilmesi için CMIP6 arşivinden seçilen dört genel dolaşım modeline (GDM) ait iyimser (SSP2-4.5) ve kötümser (SSP5-8.5) senaryo çıktıları kullanılmıştır. GDM'lerin kaba ölçekli çıktılarının bölgesel ölçeğe indirgenmesi için regresyon tabanlı doğrusal ve doğrusal olmayan fonksiyonlar ile yapay sinir ağları (YSA) tabanlı modeller kurulmuştur. Kurulan modellerin performanslarının değerlendirilebilmesi için performans karşılaştırması yapılmıştır. En yüksek performansa sahip model kullanılarak İnebolu ve Sinop meteoroloji gözlem istasyonları için iyimser ve kötümser senaryo çıktıları kullanılarak 2023-2052 dönemi deniz suyu sıcaklık değerleri üretilmiş ve geçmiş dönem deniz suyu sıcaklıkları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca 1985-2014 ve 2023-2052 dönemlerine ait ortalama deniz suyu sıcaklıkları değişim miktarları hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir. Ölçek indirgeme modellerinden en yüksek performans istatistikleri YSA tabanlı modellerden elde edilirken regresyon tabanlı modeller arasından en yüksek performansı kuadratik fonksiyon göstermiştir. YSA tabanlı modeller arasından her iki istasyon içinde 15 nörona sahip modeller daha yüksek doğrulukta tahminler yapmıştır. GDM çıktılarına göre 2023-2052 döneminde geçmiş döneme kıyasla önemli sıcaklık değişiklikleri beklenmektedir. Bu değişim miktarı her iki istasyon için farklı özellikler sergilemektedir. Aylık ortalama deniz suyu sıcaklıklarında İnebolu istasyonu için -0.36 ile 1.71 °C aralığında bir değişim beklenirken bu değerlerin Sinop istasyonu için -0.06 ile 1.95 °C aralığında olacağı öngörülmektedir. Deniz suyu sıcaklık artışlarının en yüksek değerlere ilkbahar ve yaz aylarında ulaşacağı, özellikle haziran ayında pik değere sahip olacağı tahmin edilmektedir. Sıcaklık artışlarının Haziran ayında her iki istasyon ve her iki senaryoda da 2.00 °C'ye ulaşabileceği beklenmektedir. Her iki istasyonda da sıcaklık düşüşlerinin beklenmesine karşın İnebolu istasyonunda sonbahar ve kış aylarında daha fazla olacağı tahmin edilmektedir. Modellere ait çıktılar incelendiğinde kötümser senaryo çıktılarının iyimser senaryoya kıyasla daha fazla değişim öngördüğü belirlenmiştir. Bu çalışmanın iklim değişikliği etkilerinin belirlenmesi çalışmalarında literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışma kapsamında üretilen gelecek dönem sıcaklık verileri kullanılarak iklim değişikliğinin deniz canlıları üzerindeki etkileri araştırılabilir.

## Referanslar

- Abbass, K., Qasim, M.Z., Song, H., Murshed, H.M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539-42559. doi: 10.1007/s11356-022-19718-6
- Akgürbüz, Z.B. (2017). Gökçekaya Barajı enerji üretim miktarının yapay sinir ağları ile değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Ateweberhan, M., & McClanahan, T.R. (2010). Relationship between historical sea-surface temperature variability and climate change-induced coral mortality in the western Indian Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 60(7), 964-970. doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.03.033
- Baghanam, A.H., Eslahi, M., Sheikhabaei, A., & Seifi, A.J. (2020). Assessing the impact of climate change over the northwest of Iran: An overview of statistical downscaling methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 141(3-4), 1135-1150. doi: 10.1007/s00704-020-03271-8
- Ballı, C. (2014). Bias correction of precipitation simulated by regional climate model with different configurations over Turkey, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Ballı, C. (2019). İklim değişikliğinin kar erimelerine ve akımlarına etkisinin belirlenmesi projesi, Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Batıbeniz, F. (2014). Yüksek çözünürlükteki bölgesel iklim modeli simülasyonu ile ekstrem iklim indekslerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Bingölbali, B. (2018). Karadeniz'in güney batı kıyıları için iç içe geçmiş karelej sistemli dalga tahmin modelinin geliştirilmesi ve dalga iklim analizi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Üniversitesi, Bursa.
- Bozoglu, M., Baser, U., Eroglu, N.A., & Topuz, B.K. (2019). Impacts of climate change on Turkish agriculture. *Journal of International Environmental Application and Science*, 14(3), 97-103.
- Burman, T.E., Catlos, B.A., & Meyerson, M.D. (2022). *The sea in the middle: The Mediterranean World, 650–1650*. University of California Press.
- Cannon, A.J., Sobie, S.R. & Murdock, T.Q. (2015). Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes?, *Journal of Climate*, 28(17), 6938-6959. doi:10.1175/JCLI-D-14-00754.1
- Clarke, B., Otto, F., Stuart-Smith, R., & Harrington, L. (2022). Extreme weather impacts of climate change: An attribution perspective. *Environmental Research: Climate*, 1(1), 012001. doi:10.1088/2752-5295/ac6e7d
- Çokaçar, T. (2021). Karadeniz deniz yüzey sıcaklık artışları: Uydu gözlemleriyle güncel trendler üzerine bir değerlendirme. (24-32). Salihoğlu, B., & Öztürk, B. (Ed.) *İklim Değişikliği ve Türkiye Denizleri Üzerine Etkileri*, Türk Deniz Araştırmaları Vakfı, İstanbul.
- Han, I.S., & Lee, J.S. (2020). Change the annual amplitude of sea surface temperature due to climate change in a recent decade around the Korean Peninsula. *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, 26(3), 233-241. doi:10.7837/kosomes.2020.26.3.233
- IPCC, (2021). Summary for policymakers. *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (eds. MassonDelmotte, V.P., Zhai, A., Pirani, S.L., Connors, C., Pean, S., Berger, N., Caud, Y., Chen, L., Goldfarb, M.I., Gomis, M., Huang, K., Leitzell, E., Lonnoy, J.B.R., Matthews, T.K., Maycock, T., Waterfield, O., Yelekçi, R., & Yu, B.) Cambridge University Press. In Press.
- IPCC, (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, İngiltere ve New York, NY, USA, s. 1535.
- Kalıpcı, E., Başer, V., Türkmen, M., Genç, N. & Cüce, H. (2021). Türkiye kıyılarında deniz suyu sıcaklık değişiminin CBS ile analizi ve ekolojik etkilerinin değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 278-288. doi:10.21324/dacd.829938
- Karvonen, A., Rintamaki, P., Jokela, J., & Valtonen, E.T. (2010). Increasing water temperature and disease risks in aquatic systems: Climate change increases the risk of some, but not all, diseases. *International Journal for Parasitology*, 40(13), 1483-1488. doi:10.1016/j.ijpara.2010.04.015
- Kırdemir, U., & Okkan., U. (2019). Farklı yanlılık düzeltme yöntemlerinin istatistiksel ölçüğe indirgenmiş yağış projeksiyonlarına uygulanması, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 868-881. doi:10.25092/baunfbed.654535
- Kumar, R., Manzoor, S., Vishwakarma, D.K., Al-Ansari, N., Kushwaha, N.L., Elbeltagi, A., Sushanth, K., Prasad, V., & Kuriqi, A. (2022). Assessment of climate change impact on snowmelt runoff in Himalayan region. *Sustainability*, 14(3), 1150. doi:10.3390/su14031150
- Mehr, A.D., Sorman, A.U., Kahya, E., & Hesami Afshar, M.H. (2020). Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: Case study of Ankara, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 65(2), 254-268. doi:10.1080/02626667.2019.1691218
- Nacar, S., Kankal, M., & Okkan, U. (2022). Evaluation of the suitability of NCEP/NCAR, ERA-Interim and, ERA5 reanalysis data sets for statistical downscaling in the Eastern Black Sea Basin, Turkey. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 134(2), 39. doi:10.1007/s00703-022-00878-6
- Nacar, S., Mete, B., & Bayram, A. (2020). Estimation of daily dissolved oxygen concentration for river water quality using conventional regression analysis, multivariate adaptive regression splines, and TreeNet techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(12), 752. doi:10.1007/s10661-020-08649-9

- Nacar, S., Kankal, M., & Okkan, U. (2021). EraInterim re-analiz verileri kullanılarak istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi ile Doğu Karadeniz Havzası aylık ortalama sıcaklık değerlerinin tahmin edilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 136-148. doi:10.21324/dacd.700144
- Navarro-Racines, C., Tarapues, J., Thornton, P., Jarvis, A., & Ramirez-Villegas, J. (2020). High-resolution and bias-corrected CMIP5 projections for climate change impact assessments. *Scientific Data*, 7(1), 7. doi:10.1038/s41597-019-0343-8
- Okkan, U., & Kirdemir, U., 2016. Downscaling of monthly precipitation using CMIP5 climate models operated under RCPs. *Meteorological Applications*, 23(3), 514-528. doi:10.1002/met.1575
- Okkan, D., & Karakan, D. (2015). İklim değişikliğinin Balıkesir ili içme suyu potansiyeline etkilerinin modellenmesi: İçme suyu talebinin 2015-2030 projeksiyonu. T.C. Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi.
- Okkan, U. (2013). İklim değişikliğinin akarsu akışları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Özdemir, S. (2022). Batı Akdeniz’de iklim değişimine göre asli orman ağacı türlerinin dağılım modellemesi. Doktora Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta.
- Ozsoy, E., & Unluata, U. (1997). Oceanography of the Black Sea: A review of some recent results. *Earth-Science Reviews*, 42(4), 231-272. doi:10.1016/S0012-8252(97)81859-4
- Romshoo, S.A., Murtaza, K.O., Shah, W., Ramzan, T., Ameen, U., & Bhat, M.H. (2022). Anthropogenic climate change drives melting of glaciers in the Himalaya. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(35), 52732-52751. doi:10.1007/s11356-022-19524-0
- Sachindra, D.A., Ahmed, K., Rashid, M.M., Shahid, S., & Perera, B.J.C. (2018). Statistical downscaling of precipitation using machine learning techniques. *Atmospheric Research*, 212, 240-258. doi:10.1016/j.atmosres.2018.05.022
- San, M., Nacar, S., Kankal, M., & Bayram, A. (2023a). Daily precipitation performances of regression-based statistical downscaling models in a basin with mountain and semi-arid climates. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 37(4), 1431-1455. doi:10.1007/s00477-022-02345-5
- San, M., Nacar, S., Kankal, M., & Bayram, A. (2023b). Spatiotemporal analysis of transition probabilities of wet and dry days under SSPs scenarios in the semi-arid Susurluk Basin, Türkiye. *Science of the Total Environment*, 912, 168641. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.168641
- Sayari, N., Bannayan, M., Alizadeh, A., & Farid, A. (2013). Using drought indices to assess climate change impacts on drought conditions in the northeast of Iran (case study: Kashafrud basin). *Meteorological Applications*, 20(1), 115-127. doi:10.1002/met.1347
- Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, 10(1), 13768. doi:10.1038/s41598-020-70816-2
- Turkes, M., Turp, M.T., An, N., Ozturk, T., & Kurnaz, M.L. (2020). Impacts of climate change on precipitation climatology and variability in Turkey. *Water Resources of Turkey*, 2, 467-491. doi:10.1007/978-3-030-11729-0\_14
- Wilby, R.L., & Dawson, C.W. (2013). The statistical downscaling model: Insights from one decade of application. *International Journal of Climatology*, 33(7), 1707-1719. doi:10.1002/joc.3544
- Wilby, R.L., & Harris, I. (2006). A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 42(2), W02419. doi:10.1029/2005WR004065
- Yıldız, İ. (2010). Güney Karadeniz’de mesozooplankton kompozisyonu ve dağılımı, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.