

DOI: 10.26650/JGEOG2024-1513029

**COĞRAFYA DERGİSİ**  
**JOURNAL OF GEOGRAPHY**  
**2024, (49)**

<https://iupress.istanbul.edu.tr/en/journal/jgeography/home>

# Kocasu Çayı Deltasının Kıyı Çizgisi Değişim Hassasiyeti ve Geleceğe Dönük (2033 ve 2043) Kıyı Değişim Tahminleri

## *Shoreline Change Sensitivity in The Kocasu Stream Delta and The Future (2033 and 2043) Shore Change Predictions*

S. Murat UZUN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya bölümü, İstanbul, Türkiye

ORCID: S.M.U. 0000-0003-2191-3936

### ÖZ

Kıyı yönetimi ve planlanması için değişkenlik potansiyeli yüksek olan kıyıların zamansal ve mekânsal değişimlerinin tespit edilmesi oldukça önemlidir. Bu bakımdan çalışmanın amacı, Kocasu Çayı Deltası ve yakın çevresindeki kıyılarda 1980-2023 yılları arasındaki farklı dönemlerde meydana gelen kıyı değişimlerini Sayısal Kıyı Çizgisi Analiz Sistemi (DSAS) aracında yer alan istatistikî yöntemlerle incelemek, kıyı değişim hassasiyetinin boyutlarını saptamak ve geçmiş veriler temel alınarak farklı senaryolarla kıyı değişim tahminleri üretmektir. Çalışmada 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 ve 2023 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri üzerinden su indis analizleri ve eşik yöntemi ile kıyı çizgisi çıkarımı yapılmıştır. Kıyı çizgileri, geçmişten günümüze olan değişim eğilimini görmek için 1980-2023, 1990-2023, 2000-2023 ve 2010-2023 periyotları olarak ayrılmış, DSAS aracındaki istatistikî yöntemler ile kıyı değişiminin kantitatif boyutu analiz edilmiştir. Sayısal veriler üzerinden kıyı değişim hassasiyet sınıflandırması yapılmış ve mekânsal olarak incelenmiştir. Son olarak DSAS aracındaki BETA özelliği ve Kalman Filter modeli ile 4 farklı senaryo kapsamında 10 ve 20 yıllık kıyı değişim tahminleri üretilmiştir. Analizlerden, Kocasu Çayı ağzında kıyı erozyonun, Yeniköy sahilinde ise kıyı birikiminin olduğu saptanmıştır. Ancak dönemsel olarak farklı değişimler söz konusudur. Yapılan zamansal tahmin modellemesine göre Kocasu Çayı ağzında erozyonun devam edeceği öngörülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Kıyı çizgisi değişimi, DSAS, Kocasu Çayı Deltası, Kıyı değişim tahmini

### ABSTRACT

It is important to determine the temporal and spatial changes in coasts with high variability potential for coastal management and planning. In this respect, the aim of this study is to examine the coastal changes that occurred in the Kocasu Stream Delta and the coasts around it in different periods between 1980 and 2023 using statistical methods in the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) tool to, determine the dimensions of coastal change sensitivity and to produce coastal change predictions with different scenarios based on past data. In this study, water index analyses and coastline extraction with the threshold method were performed on Landsat satellite images of 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020, and 2023. The shorelines were divided into 1980-2023, 1990-2023, 2000-2023 and 2010-2023 periods to see the change trend from past to present, and the quantitative dimension of the coastal change was analyzed using statistical methods in the DSAS tool. Coastal change sensitivity was classified using numerical data and spatially analyzed. Finally, 10 and 20-year coastal change forecasts were produced within the scope of 4 different scenarios using the BETA feature and the Kalman filter model in the DSAS tool. From the analyses, it was determined that there is coastal erosion at the mouth of the Kocasu Stream and coastal accretion at the Yeniköy coast. However, there are different periodical changes. According to the temporal prediction modelling, it is predicted that erosion will continue at the mouth of the Kocasu River.

**Keywords:** Shoreline change, DSAS, Kocasu Stream Delta, Estimation of coastal change

**Submitted/Başvuru:** 09.07.2024 • **Revision Requested/Revizyon Talebi:** 19.09.2024 • **Last Revision Received/Son Revizyon:** 23.10.2024 • **Accepted/Kabul:** 27.10.2024



**Corresponding author/Sorumlu yazar:** S. Murat UZUN / murat.uzun@marmara.edu.tr

**Citation/Atıf:** Uzun, S. M. (2024). Shoreline change sensitivity in The Kocasu Stream Delta and the future (2033 and 2043) shore change predictions. *Coğrafya Dergisi*, 49, 135-154. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2024-1513029>



## EXTENDED ABSTRACT

Coasts are affected by many natural and human factors and exhibit dynamic change structures. The increase in the effect of direct and indirect anthropogenic factors on this structural change recently caused the dynamic structure to differentiate. The delta coasts are among the areas most affected by this differentiation. In deltas harboring wetlands, changes show diversity in different areas of the coast. The aim of this study is to examine the coastal changes that occurred in different periods between 1980-2023 in the Kocasu Stream Delta and the coasts around it using statistics in the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) tool to determine the dimensions of coastal change sensitivity and to produce coastal change predictions for the future using different scenarios based on past data.

Landsat multispectral satellite images from 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020, and 2023 were used as the study material. NDWI and MNDWI analyses and coastline extraction using the threshold method were performed on satellite image bands. The shorelines were divided into 1980-2023, 1990-2023, 2000-2023 and 2010-2023 periods, and the quantitative dimension of coastal change was analyzed using NSM, SCE, EPR, and LRR statistics in the DSAS tool. Coastal change sensitivity was classified from the numerical data and analyzed spatially. Finally, 10-year (2033) and 20-year (2043) coastal change forecasts were produced within the scope of 4 different scenarios based on historical data with the BETA feature and the Kalman filter model in the DSAS tool.

The period with the highest total areal change (0.61 km<sup>2</sup>) in the Kocasu Stream Delta and the coast in its vicinity is between 1980-1985, while the lowest total change (0.19 km<sup>2</sup>) is between 2010-2015. The average total areal change over all periods was 0.32 km<sup>2</sup>. When the results of shoreline change are analyzed in terms of coastal erosion and coastal accretion, it is found that coastal erosion occurred more than coastal accretion in 6 periods. In 1980-1985, 2000-2005 and 2020-2023 periods, coastal erosion occurs more than 90% of the total coastal change. According to the NSM analysis, in the 1980-2023 period, there was an average change of -45.47 m, a maximum change of 111.85 m, and a minimum change of 502.01 m on the shoreline of the Kocasu Stream Delta. In the period 1990-2023, according to the NSM analysis, the average change in the shoreline was -23.34 m, maximum 152.76 m, and minimum 370.52 m. In the period 2000-2023, according to the NSM analysis, the average change in the shoreline was -17.76 m, maximum 96.53 m, and minimum 314.23 m. In the period 2010-2023, according to the NSM analysis, the average change in the shoreline was -1.27 m, the maximum change was 94.01 m, and the minimum change was -329.55 m. When the results of the analysis are analyzed spatially, it is determined that the shoreline receded, especially at the mouth of the Kocasu Stream, and advanced toward the Yeniköy coast. It was observed that the shoreline change was very low from Arapçiftliği Lagoon Lake in the eastern part of the Kocasu Stream mouth to the Eyerci shores. According to the coastal change sensitivity classification, the Kocasu mouth was at the highest level, Yeniköy was medium, the other coasts were low, and the east part of the study area was stable.

Shoreline scenarios were generated for the years 2033 and 2043 based on 4 different historical data of the Kocasu Stream Delta coasts, and these scenarios were analyzed using NSM, SCE, and EPR in DSAS. The common point of the findings in all the scenarios is that negative minimum values for coastal changes are predicted to occur at and around the mouth of Kocasu Stream, while positive maximum values are predicted to occur at the Yeniköy coast. This situation reveals that coastal erosion will occur at and around the mouth of the Kocasu Stream in 2033 and 2043, and coastal accretion will continue at the Yeniköy coast.

## 1. GİRİŞ

Kıyılar, kara ve deniz yüzeylerinin ayrımını ortaya koyan jeomorfolojik, hidrografik ve ekolojik kesişim alanlarını barındıran, kendi içerisinde bölümleri olan morfolojik unsurlardır. Dinamik olan kıyı çizgisi ile birlikte kara ve deniz tarafında kıyının jeomorfolojik unsurları devam etmektedir (Turoğlu, 2009). Belirtilen unsurlar, kıyının potansiyel etkileşim ve antropojenik açıdan kullanım sahalarını da ortaya koyar. Kıyılar, tektonik ve volkanik hareketler, atmosferik etkenler, flüvyal süreçler, dalga, deniz akıntıları ve antropojenik etkenlerle birlikte kara ya da deniz yönünde hareketlilik göstermekte, dinamik olarak değişimler meydana gelmektedir (Erinç, 1986; Bird, 2008). Jeolojik, jeomorfolojik evrim açısından kıyılar daimî değişim sahalarıdır ve bu değişimler deltalar, kıyı kumulları, güncel ve eski plajlar, colonitler, kıyı taraçası, falezler, abrazyon platformu, fosiller, biyoerozyon unsurları, sulak alanlar, lagüner ortamlar ve denizaltı rölyefi şeklinde farklı morfolojik görünümler sunmaktadır (Davidson-Arnott, 2010; Turoğlu, 2017).

Kıyılarda farklı kökenlerde meydana gelen değişimler süre ve etki açısından çeşitli sonuçlar ortaya çıkarmaktadır (Pouye vd., 2023). Dalga ve deniz akıntıları, yıllık ya da mevsimlik olarak kıyılarda değişimlere yol açabilirken, insan müdahalesi sonucu kıyının dinamik yapısı kısa sürede değişebilmektedir (Uzun, 2023). Bu süreçler, kıyıların elverişli koşulları barındırmasından dolayı beşerî kullanım ve baskının geçmişten günümüze kıyılarda yoğunlaşmasına da neden olmuştur (Yasir vd., 2021). Ayrıca doğal ve beşerî faktörlerden kaynaklı olarak, kıyının bütünlük yapısı ve hinterlandı içerisinde meydana gelen değişimler de kıyı unsurlarını doğrudan ya da dolaylı şekilde etkileyebilmektedir (Aouiche vd., 2016). Deltaların bulunduğu kıyıların akaçlama havzasındaki barajlar, göletler, dere ıslah çalışmaları ise doğrudan ve dolaylı yollardan kıyıda değişimlere neden olabilmektedir (Bombino vd., 2022; Siyal vd., 2022). Bütün bu durumlar kıyılarda meydana gelen değişimin çok boyutlu yapısını, dinamik sürecini ve farklı sonuçlar ile ani etkiler ortaya koyabilme potansiyelini göstermektedir (Wu vd., 2022). Bu kapsamda kıyıların değişimini, geçmişten günümüze araştırmak ve meydana gelen değişimi alansal, çizgisel ve sayısal olarak ortaya koymak, kıyı yönetimi, geleceğe dönük planlama ve koruma açısından oldukça önemlidir (Erol, 1989).

Kıyılar, kara ve su yüzeylerinin kesişim sahası olması, doğal ortam koşulları ile birçok canlılığın etkileşim alanını meydana getirmesi ve ekosistemsel yapının sürekliliğini sağlaması

açısından oldukça hassas alanlardır (Dev Roy & Trivedi, 2023). Jeomorfolojik, hidrografik, klimatolojik ve floristik etkenler neticesinde kıyı sahaları ve özellikle alçak kıyılarda sulak alanlar oluşmaktadır (Spencer vd., 2016). Sulak alanlar, bir yıl ya da mevsimlik olarak suya doymun halde bulunan, oldukça sığ derinlik gösteren, hidrografik, edafik, floristik ve faunistik çeşitlilikleri barındıran sahalar olarak tanımlanır (Hoşgören, 2011). Bu tür alanlar göl, bataklık sahası ya da flüvyal depolanma alanlarında olabileceği gibi kıyılarda, özellikle deltalarda lagüner ortamlar ile kıyı jeomorfoloji süreçlerinin etkisinde de teşekkül edebilirler. Kıyı sulak alanları hem kara hem deniz etkenleri ile birçok doğal ortam koşullarının etkisi altındadır. Bu tür sahalarda kıyı değişimleri, kumul ilerlemesi-gerilemesi, kıyı erozyonu, tuzlanma sorunu gibi birçok hadise meydana gelebilmektedir (Öztürk & Uzun, 2023). Meydana gelen hadiseler kıyı çizgisi ve kıyı değişimleri dışında hassas ekolojik ortamlarda birçok unsuru da etkilemektedir.

Dünya ve Türkiye ölçeğinde kıyılar ve özellikle delta kıyıları jeomorfolojik, klimatolojik, hidrografik süreçler ve antropojenik faktörler etkeninde kıyı erozyonuna maruz kalmaktadır (Ghoneim vd., 2015; Darwish vd., 2017). Bazı kıyılarda ise dalga ve akıntı sistemi ile erozyona uğrayan malzemeler taşınıp kıyı birikimini meydana getirmektedir. Günümüzde farklı lokasyonlarda delta, sulak alan, alçak, yüksek kıyılar ya da yapay kıyılardaki değişimler, zaman, mekân, oluşum kökeni ve etkisi açısından çok farklı yöntemlerle incelenmektedir (Kuleli vd., 2011; Çelik vd., 2013; Hakkou vd., 2018; Kılar & Çiçek, 2018; Ataol vd., 2019; Kale vd., 2019; Çoban vd., 2020; Gómez-Pazo vd., 2022; Akdeniz & İnam, 2023; Öztürk & Uzun, 2023; Tağıl vd., 2023; Uzun, 2024). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) tekniklerinin yaygın kullanımı, kıyılardaki değişimlerin saptanması ve boyutları ile etkilerin ortaya konmasında oldukça fayda sağlamaktadır (Awad & El-Sayed, 2021). Zamansal ve mekânsal çözünürlükleri farklı olan ve ücretsiz erişim sağlanabilen multispektral uydu görüntüleri sayesinde ise kıyı değişimleri hızlı bir şekilde analiz edilmekte ve meydana gelebilecek etkiler tahmin edilebilmektedir (Hu & Wang, 2020). Kıyı değişim analizlerinde, istatistiksel ve mekânsal sorgulamalar yapabilen, geleceğe dair modeller üretilen Amerika Birleşik Devletler Jeoloji Araştırma Kurumu (USGS) ürünü olan Sayısal Kıyı Çizgisi Analiz Sistemi (Digital Shoreline Analysis System, DSAS) çok fazla tercih edilmektedir (Baig vd., 2020; Ciritci & Türk, 2020). DSAS aracı ile kıyılar, analiz edilebilmekte, kantitatif veriler üzerinden 10 ve 20 yıllık modeller üretilmektedir (Lazuardi vd., Nassar vd., 2019; Kumar Das vd., 2021; Samra & Ali, 2021; Song vd., 2021; Turoğlu & Duran, 2021; Aladwani, 2022; Abd-Elhamid vd.,

2023; Kılar, 2023; Murray vd., 2023; Kılar & Aydın, 2024). Belirtilen kapsamda bu çalışmanın amacını, Marmara Denizi'nin güneyinden denize dökülen Kocasu Çayı'nın ağız kısmında yer alan, sulak alan sahasını barındıran Kocasu Çayı Deltası ve yakın kıyı şeridinin 1980-2023 yılları arasındaki kıyı çizgisi değişiminin 4 farklı periyot üzerinden DSAS aracı ile analiz edilmesi, kıyı değişim hassasiyetinin saptanması ve farklı senaryolara göre 2033 ve 2043 yılları için kıyı çizgisi değişim öngörülerinin ortaya konması oluşturmaktadır.

### 1.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı Türkiye'nin kuzeybatısındaki Marmara Denizi'nin güney kıyılarında, Bursa ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Araştırma sahasının sınırları, kıyıdaki etkileşim potansiyeli düşünülerek Kocasu Çayı Delta sahasının doğu ve batısından daha geniş bir alanda belirlenmiştir. Bu bakımdan incelenen kıyı şeridinin batı sınırını Bursa ili Karacabey ilçesinin Yeniköy mahallesindeki liman mendireği, doğu sınırını Mudanya ilçesi Eyerci mahallesi kıyısındaki burun oluşturmaktadır. İnceleme sahasının kuzeyinde Marmara Denizi, güneyinde Arapçiftliği Gölü, Dalyan Gölü, Karacabey sulak alanı ve longoza, fay ile sınırlanmış Fazlıkonağı platosu, batısında Nilüfer Çayı, doğusunda da mevsimlik akarsu havzaları yer alır. İnceleme sahası coğrafi koordinat sistemine göre 40°24'07"–40°21'31" kuzey enlemleri ile 28°22'15"–28°38'04" doğu boylamları arasında bulunmaktadır (Şekil 1).

Kocasu Çayı Deltası, eksoreik tipteki Susurluk Havzası akarsularının Marmara Denizi'ne ulaştığı alanda taşınan materyaller, jeomorfolojik ve batimetrik özellikler ile kıyı dinamik süreçleri etkisinde meydana gelmiştir. Saha yay şeklinde, eğrisel-doğrusal delta tipi özelliği göstermektedir (Kazancı vd., 1999). Delta KB-GD doğrultusundaki hatta 3,5 km uzanımlı çıkıntı oluşturmuştur. Delta, akaçlama havzası düşünüldüğünde oldukça dar olarak karakterize edilebilir (Kazancı vd., 1999). Ancak Kocasu Çayı denizaltı topografyasında yaklaşık 30 km<sup>2</sup>'lik fan özelliği gösteren su altı deltası oluşturmuştur (Yıldırım, 2002). Susurluk Çayı'nın malzemelerini denize ulaşmadan Uluabat, Manyas ve Karacabey depresyonlarında biriktirmesi, Kocasu Çayı Delta sahasının dar olmasının diğer sebebinin teşkil etmektedir (Erkan vd., 1998; Yıldırım, 2002). Delta ovasının tek drenaj yatağını Kocasu Çayı oluşturur. Delta kıyısını etkileyen akıntı sisteminin yönelimi kuzeybatıdır (Yıldırım, 2002). Delta ovasının güneyindeki D-B doğrultulu faydan itibaren flüvyal süreçler ile kıyı jeomorfolojik süreçleri sahanın şekillenmesinde önemli rol oynamıştır. Bu bakımdan deltada Dalyan ve Arapçiftliği lagün gölü, kıyı okları, delta lobları, kıyı kumulu, plajlar morfolojik görünümü oluşturmuştur. Kıyı sulak alanı, Türkiye'deki nadir longoza sahalarından birini barındırmaktadır. Deltanın güneyindeki 4-5 m basamağı deltanın genç oluşumlu (Holosen) olduğunu, kıyıdaki seviyeler son küresel iklim stabilitesi ve Flandriyen transgresyonun (günümüzden yaklaşık 12.000 yıl önce) izlerini gösterir (Yıldırım, 2002).



Şekil 1. Çalışma sahasının konumu.  
Figure 1. Location of study area.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri ve özellikleri  
**Table 1.** Satellite images used in the study and their characteristics

Tarih	Uydu-Sensör	Ç*	B*	Tarih	Uydu-Sensör	Ç*	B*
9.07.1980	Landsat 2-MSS	60	2,3	23.08.2010	Landsat 7-ETM	30	0
1.07.1985	Landsat 5-TM	30	0,56	20.07.2015	Landsat 8 OLI	30	0
31.07.1990	Landsat 5-TM	30	0,9	1.07.2020	Landsat 8 OLI	30	0
29.07.1995	Landsat 5-TM	30	1,2	23.07.2023	Landsat 9 OLI	30	0
2.07.2000	Landsat 7-ETM	30	0,7	16.07.2023	Sentinel 2 MSI	10	0
8.07.2005	Landsat 7-ETM	30	4,3				

\*Ç: Çözünürlük (metre), B: Bulutluluk (%)

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın materyallerini, Amerika Birleşik Devletleri, Jeoloji Araştırmaları Kurumu'ndan (United States Geological Survey, USGS) temin edilen Landsat multispektral uydu görüntüleri ve Copernicus Sentinel 2 MSI uydu görüntüsü oluşturmaktadır (Tablo 1). Araştırmada, Landsat uydu görüntüleri kıyı çizgisi çıkarımı, Sentinel uydu görüntüsü kontrol verisi için kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada DSİ'den alınan Susurluk Havzası'ndaki baraj verileri de kullanılmıştır.

Araştırmada ilk olarak kullanılacak multispektral uydu görüntülerinin radyometrik, atmosferik düzenlemeleri kontrol edilmiş, ArcGIS 10.5 yazılımı kullanılarak bant kompozitleri yapılmış ve çalışma sahası kapsamında sınırlandırılmıştır. Uydu görüntüleri üzerinden kara-deniz ayrımının yapılması ve kıyı çizgisinin tespit edilmesi için Normalleştirilmiş Fark Su İndisi (NDWI) ve Modifiye Edilmiş Normalleştirilmiş Fark Su İndisi (MNDWI) kullanılmıştır. Çalışmada Landsat 2 ve 5 uydu görüntülerine NDWI, Landsat 7, 8, 9'a MNDWI analizleri uygulanmıştır (Şekil 2). İndis analizleri için aşağıdaki formüller kullanılmaktadır.

$$NDWI = \frac{(P_{green} - NIR)}{(P_{green} + NIR)} \quad MNDWI = \frac{(P_{green} - P_{SWIR2})}{(P_{green} + P_{SWIR2})}$$

Belirtilen indis formüllerinde,  $P_{green}$ , yeşil (bant 3),  $P_{red}$  kırmızı (bant 4), NIR yakın kızılötesi (bant 5) ve  $P_{SWIR2}$  ikinci kısa dalga kızılötesini (bant 7) ifade etmektedir (Gao, 1996; McFeeters, 1996; Xu, 2006). İndis analiz sonuçları 1 ile -1 arasında değer almaktadır. Çalışmada 0,01'den daha fazla değer içeren pikseller su yüzeyi olarak kabul edilmiştir. Daha sonra ikili eşik analizi ile kara ve deniz ayrımı yapılmış, raster veriler polygona çevrilmiş ve belirlenen yıllara ait kıyı çizgisi çıkarımı yapılmıştır (Pardo-Pascual vd., 2012; Singh vd., 2015; Hossain vd., 2021).

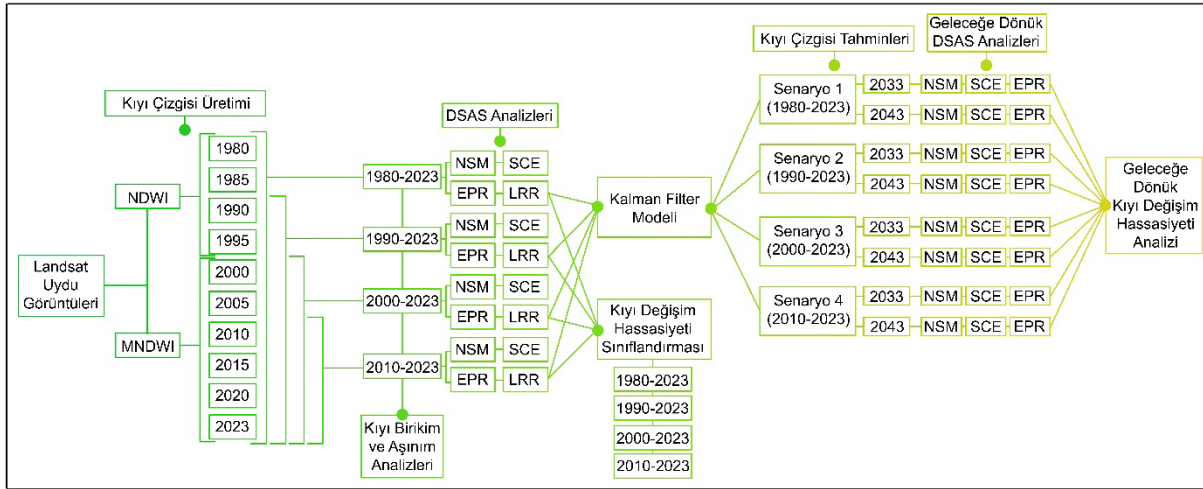
Çalışmada kıyı çizgisi değişimlerinin mekânsal ve kantitatif analizi için ArcGIS yazılımını eklenti olarak kurulan, USGS

üretimi DSAS aracı kullanılmıştır. Araştırmada DSAS aracı çalışma prensibi ve istatistiksel analizleri ile BETA özelliğindeki geleceğe dönük modelleme işlemleri uygulanmıştır. Kıyı çizgilerinin analizleri için en eski kıyı çizgisi temel alınarak deniz tarafında 1000 m uzaklıkta temel çizgi (baseline) oluşturulmuş, profil (transect) aralığı 20 m olarak belirlenmiştir. Araştırmada, DSAS aracında yer alan Kıyı Çizgisi Değişim Limiti (Shoreline Change Envelope, SCE), Net Kıyı Çizgisi Hareketi (Net Shoreline Movement, NSM), Son Nokta Oranı (End Point Rate, EPR) ve Doğrusal Regresyon Oranı (Linear Regression Rate, LRR) istatistik analizleri kullanılmıştır (Tablo 2).

**Tablo 2.** Çalışmada kullanılan DSAS analizleri ve açıklamaları  
**Table 2.** DSAS analyses and explanations used in the study

<b>NSM</b>	Eski ve en güncel kıyı çizgilerinin temel çizgi üzerinden mesafesini ölçerek analiz eder.
<b>SCE</b>	Belirli bir ölçüm hattı üzerinden, incelenen bütün kıyı çizgileri arasındaki en büyük değişim mesafesini hesaplar.
<b>EPR</b>	Eski ve yeni kıyı çizgisi değişim mesafesinin, incelenen zaman periyoduna bölünmesi ile hesaplanır.
<b>LRR</b>	Kıyı şeridinde ve zamanında, belli bir ölçüm profil hattındaki tüm kıyı şeritlerinin zamana bölünmesi ile hesaplanır

Çalışmada, geçmişten günümüze kıyıda meydana gelen değişimin dönemler açısından hangi boyutlarda olduğunu tespit etmek amacıyla 4 farklı zaman periyodu belirlenmiştir (Şekil 2). Bu periyotlar 1980-2023, 1990-2023, 2000-2023 ve 2010-2023 yılları arasındadır. Araştırmada her bir dönemdeki kıyı çizgileri DSAS aracındaki istatistiki yöntemlerle analiz edilmiştir. Dönemsel incelemenin yapılmasının temel nedenini, hem kıyıda meydana gelen değişimlerin geçmişten günümüze etkisini, değişim durumunu, kıyı çizgisi değişim trendini dönemsel olarak saptamak hem de geleceğe dönük modeller için 4 farklı temel veri kaynağı ile senaryo ortaya koymak oluşturur. Böylece geçmişten günümüze değişen kıyı çizgisi hareketliliği trendi ele alınarak modellemeler yapılmıştır. Bu modellemeler zamansal olarak kıyının evrimini, antropojenik müdahaleleri ve diğer etkenlerdeki değişimleri de geçmişten günümüze ele alacağı için farklı ve kıyaslanabilir veriler ortaya koyacaktır.



Şekil 2. Çalışmanın iş-akış şeması.  
Figure 2. Work-flow diagram of the study.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan kıyı değişim hassasiyeti sınıflandırması\*  
Table 3. Coastal change sensitivity classification used in the study

Kıyı çizgisi değişim oranı (m/yıl)	Kıyı ve kıyı çizgisi değişim sınıflandırması	Kıyı Değişim Hassasiyeti	Kıyı Değişim yönü
< -5	Yüksek düzeyde erozyon	Yüksek	
-5,01 - -3,01	Orta düzeyde erozyon	Orta	Kıyı gerilemesi
-3,09 - -0,51	Düşük düzeyde erozyon	Az	
0,50 - 0,50	Durağan (stabil)	Değişim yok	Nötr
0,51 - 3,09	Düşük düzeyde birikim	Az	
3,1 - 5,09	Orta düzeyde birikim	Orta	Kıyı ilerlemesi
> 5,1	Yüksek düzeyde birikim	Yüksek	

\*Kıyı değişim hassasiyeti sınıflandırması, Selvan vd. (2016), Baral vd. (2018) ve Himmelstoss vd., (2018)'nin yaptığı çalışmalar temel alınarak oluşturulmuştur.

Çalışmada dönemsel olarak analiz edilen kıyı çizgisi verileri üzerinden 2033 (10 yıllık) ve 2043 (20 yıllık) yılları için tahminler üretilmiştir (Şekil 2). Modellerin üretimi, DSAS araçındaki BETA özelliği kullanılarak oluşturulmuş ve Kalman Filter yöntemi kullanılmıştır (Şekil 2). Kalman Filter modeli, en eski kıyı çizgisi analizi ile başlamakta sonra profil (trancest) üzerinde yer alan her bir kıyı çizgisi kesişiminin regresyon verisini alarak tahminde bulunmaktadır (Long & Plant, 2012; Himmelstoss vd., 2018; Thasarathan vd., 2023; Palanisamy vd., 2024). Bu bakımdan yöntem kapsamında çalışmada LRR verisi sonuçları temel alınarak 10 ve 20 yıllık modeller üretilmiştir (Himmelstoss vd., 2018; Palanisamy vd., 2024).

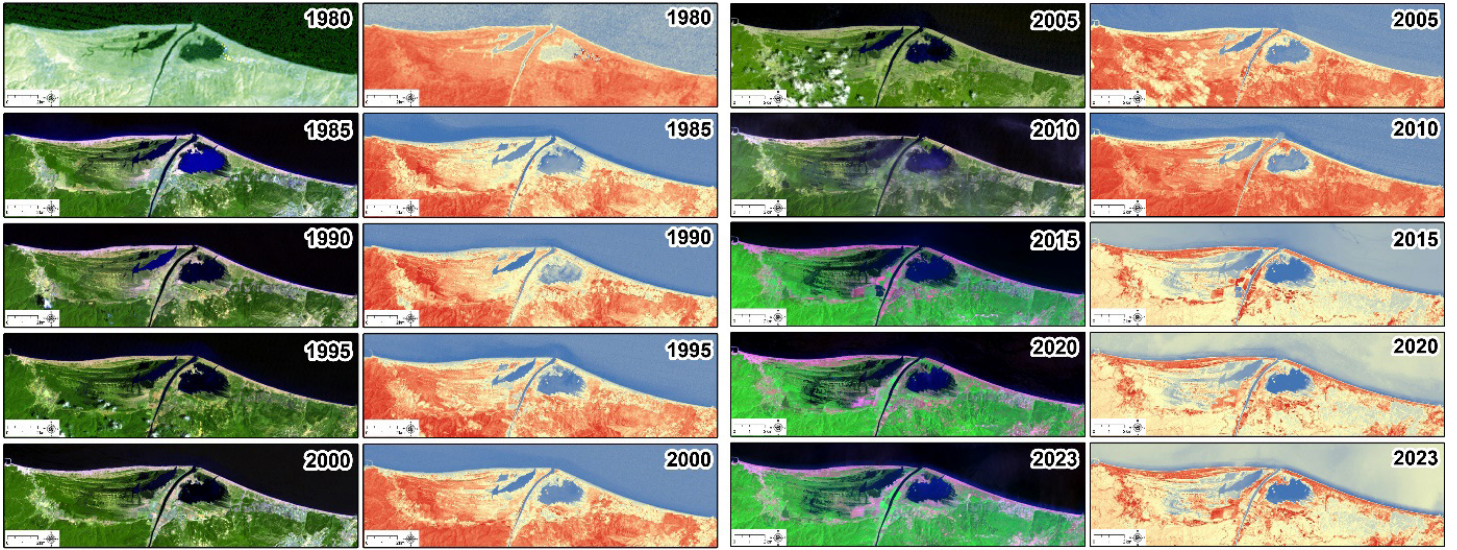
Geleceğe dönük modeller, geçmişten günümüze kıyı çizgisi değişimi verilerinin eğilimi temel alınarak 4 farklı senaryo kapsamında incelenmiştir. Çalışmada böyle bir sistematığın kullanılmasında, geçmişten günümüze kıyı çizgisi değişiminin farklılık sunması, bu farklılıklar nedeniyle zamansal olarak kıyı çizgisi değişimindeki eğilimlerin de farklılıklar göstermesi temel etken olmuştur.

Çalışmada kıyı değişim hassasiyeti sınıflandırmasında, Selvan vd. (2016), Baral vd. (2018) ve Himmelstoss vd., (2018)'nin yaptığı sınıflandırmalar temel alınmış ve çalışma sahasına özgü olarak revize edilmiştir. Sınıflandırmaların kategorize edilmesinde yıllık değişim verisinin metre cinsinden değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bakımdan geçmişten günümüze dönemsel olarak analiz edilen periyotların kıyı değişim hassasiyetinde LRR, senaryolar kapsamındaki geleceğe dönük verilerde ise EPR analiz sonuçları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kıyı değişim hassasiyeti sınıflandırması Tablo 3'de açıklanmıştır (Tablo 3).

### 3.BULGULAR

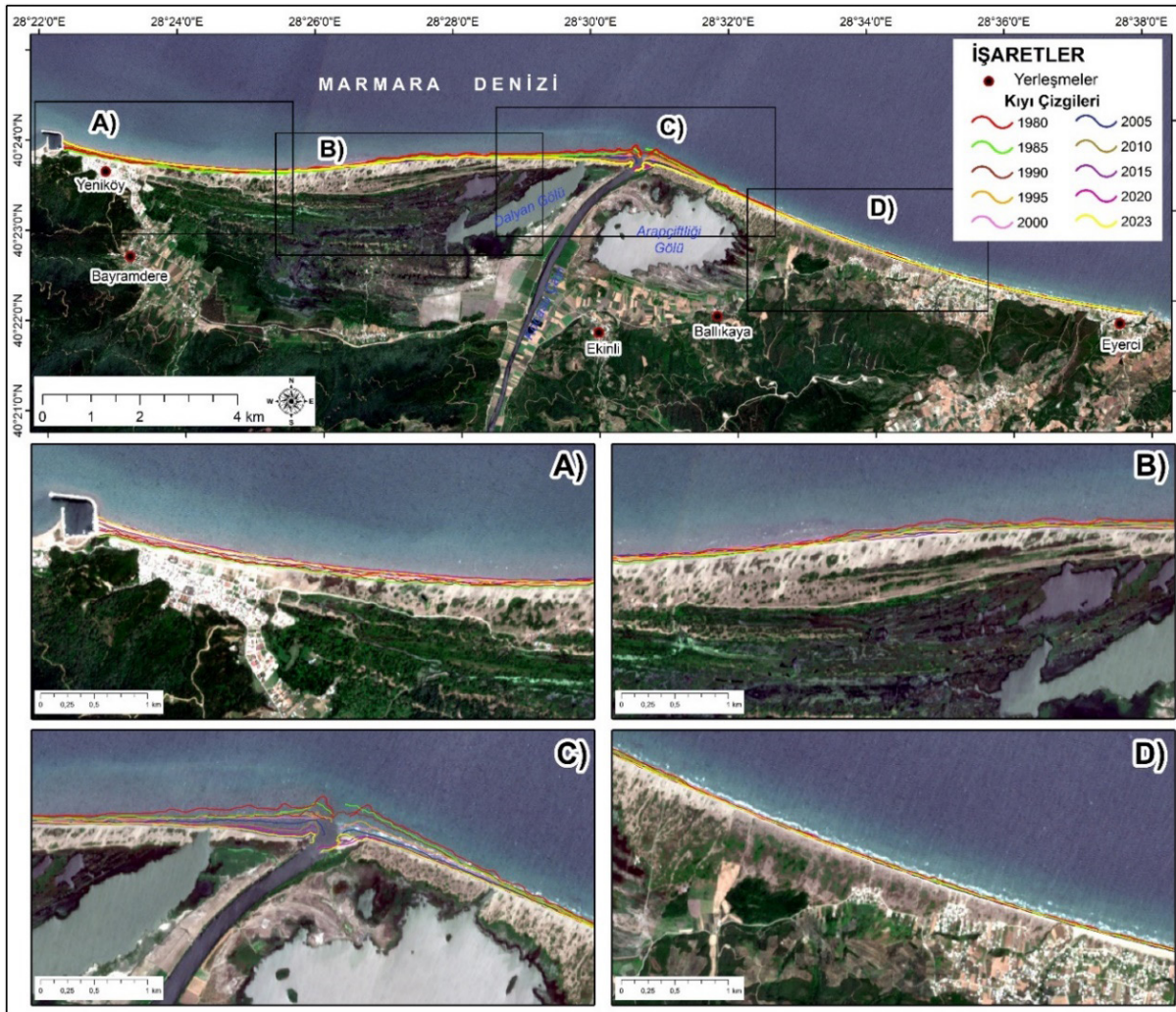
#### 3.1. Kocasu Çayı Deltası Çizgisel ve Alansal Değişimler

Çalışmada, Kocasu Deltası kıyısında meydana gelen değişimler, belirlenen periyotlardaki Landsat uydu görüntülerinin NDWI ve MNDWI analiz sonuçlarından tespit edilmiştir (Şekil 3). İki indis analizinde farklı bantlar kullanmakta, elektromanyetik spektrum açısından daha kısa dalga boyuna sahip su yüzeyi ayrımı sonuçları farklılık göstermektedir. Çalışmada su-kara



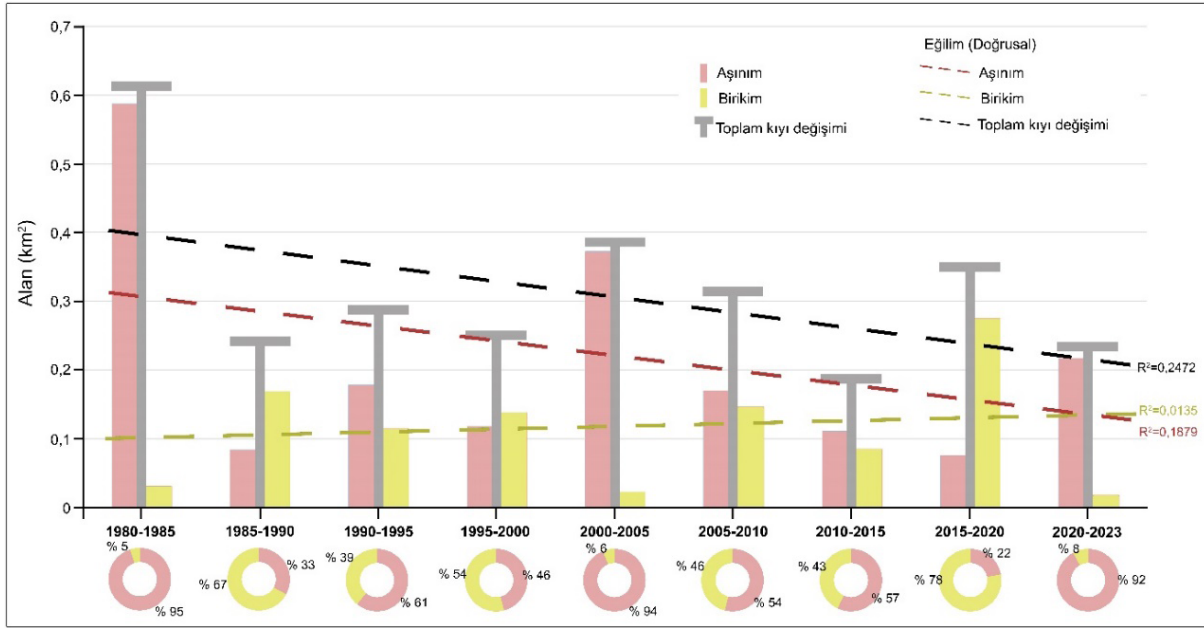
**Şekil 3.** Kocasu Çayı deltası ve yakın çevresinin Landsat uydu görüntüleri ile NDWI ve MNDWI analizleri.

**Figure 3.** NDWI and MNDWI analyses with Landsat satellite images of Kocasu Stream Delta.



**Şekil 4.** Kocasu Çayı Deltası ve yakın çevresinin geçmişten günümüze kıyı çizgileri.

**Figure 4.** Coastlines of Kocasu Stream Delta and its immediate surroundings from past to present.



Şekil 5. Kocasu Çayı Deltasında ardışık dönemlerin kıyı değişim verileri.

Figure 5. Coastlines of Kocasu Stream Delta and its immediate.

ayrımında, Landsat 2 ve 5’de NDWI, Landsat 7, 8, 9’da ise MNDWI daha iyi sonuçlar vermiştir. Bunun nedeni yıllara göre uydu bantlarında farklı dalga uzunlukları olmasıdır. Çalışmada değişimlerin özellikle Kocasu Çayı ağız kesimi ile incelenen kıyı şeridinin en batısında yoğunlaştığı dikkat çekmektedir (Şekil 3 ve 4). Kocasu Çayı Deltası ve yakın çevresindeki kıyı şeridinde alansal olarak meydana gelen toplam değişimin en fazla (0,61 km<sup>2</sup>) olduğu periyot 1980-1985 arası iken en az (0,19 km<sup>2</sup>) toplam değişim 2010-2015 yılları arasındadır (Şekil 5). Bütün periyotların alansal olarak toplam değişim ortalaması 0,32 km<sup>2</sup>’dir.

Kıyı değişim sonuçlarından 6 dönemde kıyı erozyonunun kıyı birikiminden daha fazla gerçekleştiği saptanmıştır (Şekil 5). 1980-1985, 2000-2005 ve 2020-2023 dönemlerinde kıyı

erozyonu, toplam kıyı değişiminin %90’ından fazlasında gerçekleşmiştir (Şekil 5). Bu durumun oluşmasında, Kocasu Çayı ağız çevresindeki dalga kökenli erozif faaliyetlerin etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca kıyıyı drene eden ve materyal taşınımı sağlayan Kocasu Çayı Havzası’nın tamamında akarsular üzerine yapılan barajların siltasyon etkisi, çay ağızında dalga aşınım etkisini arttırmıştır. Böylece belli dönemlerde erozyon miktarı fazla olmuştur. 1985-1990, 1995-2000 ve 2015-2020 dönemlerinde ise kıyı birikiminin kıyı erozyonundan daha fazla alanda değişime yol açtığı görülmektedir (Şekil 5). Bu durumun meydana gelmesinde incelenen kıyı şeridinin en batısında (Yeniköy), kıyıya yapılan liman mendireğinin (mendirek yapım yılı 1988, eklemelerin yapılması 1999-2000 yıllarıdır) dalgalarının aşındırdığı malzemelerin bu kesimde birikmesine yol açması temel sebebi oluşturmaktadır.

Tablo 4. Kocasu Çayı deltasını oluşturan Susurluk Havzası’ndaki barajlar

Table 4. Dams in the Susurluk Basin forming the Kocasu Stream delta

Baraj Adı	Bulunduğu İl	İşletme Yılı	Baraj Adı	Bulunduğu İl	İşletme Yılı
Ardıçtepe B.	Balıkesir	2015	Gölbashi Barajı	Bursa	1939
Büyükorhan B.	Bursa	1993	Gözde 1 B.	Bursa	2015
Çamköy Barajı	Balıkesir	1992	Gözde II B.	Bursa	2016
Çavdarhisar B.	Kütahya	1991	Hasanağa B.	Bursa	1986
Çaygören B.	Balıkesir	1969	Hasanlar B.	Kütahya	2014
Çınarcık Barajı	Bursa	2003	İkizcetepeler B.	Balıkesir	1992
Demirtaş B.	Bursa	1986	Haymeana B.	Kütahya	2018
Devecikonağı	Bursa	2013	Kayaboğazi B.	Kütahya	1988
Doğancı 1 B.	Bursa	1984	Kureşler B.	Kütahya	2002
Doğancı 2 B.	Bursa	2008	Manyas B.	Balıkesir	2002
Egemen B.	Bursa	2014	M.kemalpaşa B.	Bursa	2016

Kaynak: DSİ Susurluk Havzası verileri, Tarım ve Orman Bakanlığı Susurluk havzası taşkın yönetim planı stratejik çevresel değerlendirme taslak kapsam belirleme raporu (2022)



Dönemler arasında toplam kıyı değişimi ile kıyı birikimi ve kıyı aşınımının geçmişten günümüze eğilimi Şekil 5’de gösterilmiştir. Bulgulara göre, toplam kıyı değişiminin azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde kıyı erozyonunun da azalma eğiliminde olduğu ancak kıyı birikiminde ise düşük seviyede artış eğilimi olduğunu saptanmıştır. DSİ verilerine göre 1980’de Susurluk Çayı Havzası’nda 2 baraj bulunurken, 2023 yılında bu sayı 22’ye yükselmiştir (Tablo 4). Bu durum baraj göllerinde siltasyonu arttırmış, dalga etkisi ile Kocasu Çayı ağzında kıyı erozyonu yaşanmıştır. Dönemlik olarak aşınım ve birikim alanlarının değişkenlik göstermesinde özellikle Kocasu Çayı ağzının morfolojik olarak değişim yaşaması, Yeniköy kıyısındaki mendirek ve sonraki yıllarda ekleme çalışmaları etkili olmuştur.

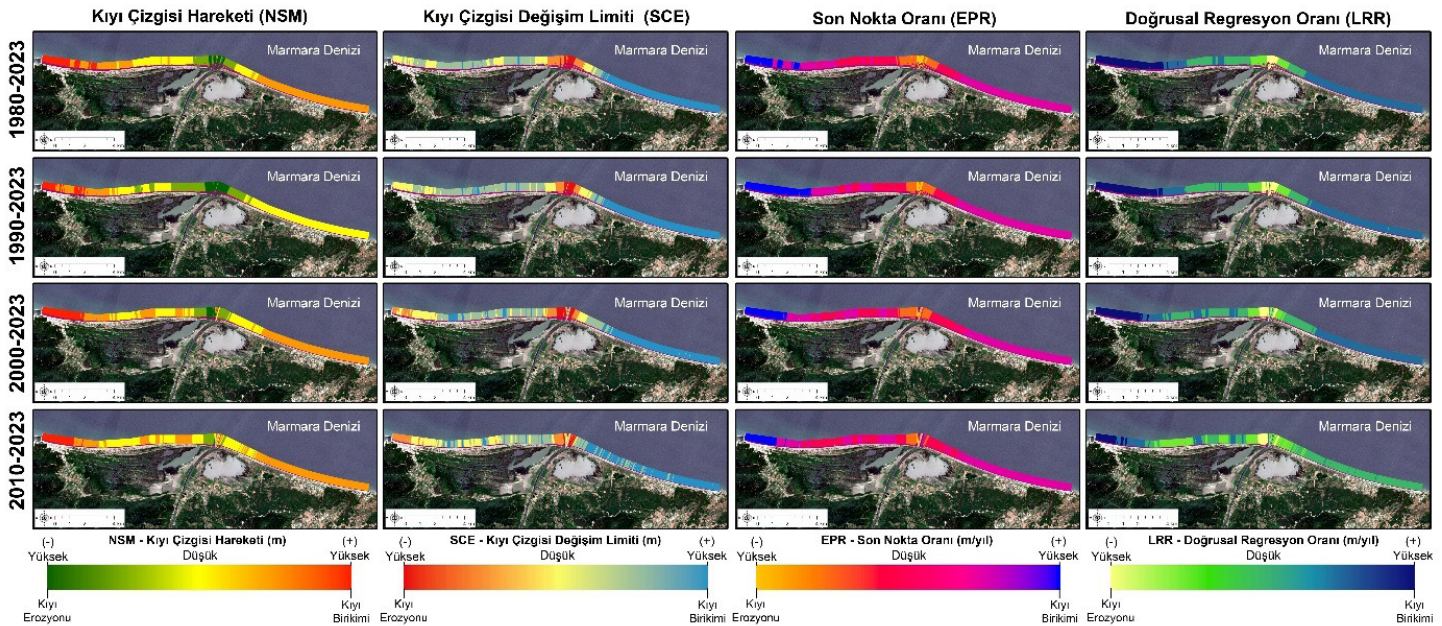
### 3.2. Kocasu Çayı Deltası Kıyı Çizgisi Değişiminin DSAS Analizi

1980-2023 periyodunda, toplam 10 farklı tarihe ait kıyı çizgisi üzerinden NSM, SCE, EPR ve LRR analizleri uygulanmıştır (Tablo 5). Bu dönemde NSM analizine göre kıyı çizgisinde ortalama -45,47 m, maksimum 111,85 m ve minimum -502,01 m değişim yaşanmıştır. SCE analizine göre kıyıda ortalama 81,9 m değişim olduğu tespit edilmiştir. LRR analizine göre kıyı çizgisinin ortalama -0,86 m/yıl, maksimum 5,83 m/yıl ve minimum -11,37 m/yıl değişim gösterdiği saptanmıştır. Analiz sonuçları mekânsal açıdan, özellikle Kocasu Çayı ağız kesiminde kıyı çizgisinin gerilediğini, Yeniköy kıyısında ise ilerlediğini

göstermektedir. Kocasu Çayı ağzının doğu kesimindeki Arapçiftliği Lagün Gölü’nden Eyerci kıyılarına kadar ise kıyı çizgisi değişiminin çok düşük seviyede olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 6).

1990-2023 periyodunda, toplam 8 farklı tarihe ait kıyı çizgisi üzerinden NSM, SCE, EPR ve LRR analizleri uygulanmıştır (Şekil 6 ve Tablo 5). NSM analizine göre kıyı çizgisinde ortalama -23,34 m, maksimum 152,76 m ve minimum -370,52 m değişim yaşanmıştır. SCE analizine göre kıyıda ortalama 63,75 m değişim olduğu tespit edilmiştir. LRR analizine göre kıyı çizgisinin ortalama -0,7 m/yıl, maksimum 5,83 m/yıl ve minimum -13,03 m/yıl değişim gösterdiği saptanmıştır. Bu dönemde kıyı çizgisinde meydana gelen maksimum değişimlerin Kocasu Çayı ağzı çevresi ile batı kesimdeki Yeniköy sahil şeridinde olduğu görülmektedir. Kocasu Çayı’nın oluşturduğu delta ve çevresinde kıyı çizgisinde gerileme sahasının olduğu, Yeniköy limanı ile longoz sahasına kadar kıyı çizgisinin ilerlediği, inceleme sahasının doğu kesiminde ise düşük seviyeli ve durağan değişimin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6).

2000-2023 periyodunda, 6 farklı tarihe ait kıyı çizgisi üzerinden NSM, SCE, EPR ve LRR analizleri uygulanmıştır (Şekil 6 ve Tablo 5). NSM’ye göre kıyı çizgisinde ortalama -17,76 m, maksimum 96,53 m ve minimum -314,23 m değişim yaşanmıştır. SCE analizine göre kıyıda ortalama 46,06 m değişim olduğu tespit edilmiştir. EPR analizine göre kıyı çizgisinin ortalama -0,83 m /yıl, maksimum 5,84 m/yıl ve minimum -21,07



Şekil 6. Kocasu Çayı Deltası kıyı çizgilerinin dönemsel olarak NSM, SCE, EPR ve LRR analizleri.  
Figure 6. Periodical NSM, SCE, EPR and LRR analyses of the Kocasu Stream Delta and the coastlines.

**Tablo 5.** Kocasu Çayı Deltası kıyılarının, dönemsel olarak DSAS analiz sonuçları**Table 5.** Periodical DSAS analysis results of Kocasu Stream Delta coasts

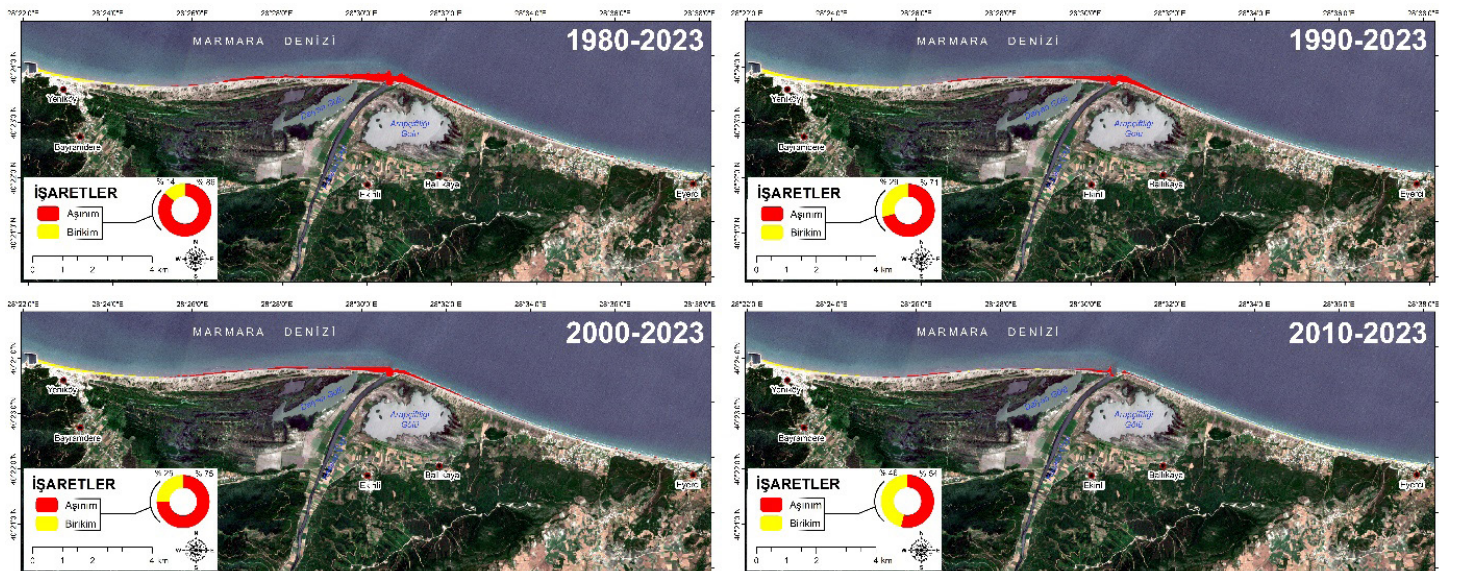
		1980-2023	1990-2023	2000-2023	2010-2023
NSM (m)	Ortalama	-45,7	-23,34	-17,76	-1,27
	Maksimum	111,85	152,76	96,53	94,01
	Minimum	-502,01	-370,52	-314,23	-329,55
SCE (m)	Ortalama	81,95	63,75	46,06	24,84
	Maksimum	502,01	370,52	329,55	329,55
	Minimum	8,34	7,83	6,93	1,45
EPR (m/yıl)	Ortalama	-1,02	-0,72	-0,83	-0,17
	Maksimum	5,4	5,84	5,84	7,28
	Minimum	-11,67	-12,28	-21,07	-33,43
LRR (m/yıl)	Ortalama	-0,86	-0,7	-0,45	0,2
	Maksimum	5,83	5,83	5,83	5,83
	Minimum	-11,37	-13,03	-32,97	-32,97

m/yıl olarak değiştiği tespit edilmiştir. Yine bu dönemde LRR analizine göre kıyı çizgisinin ortalama -0,45 m/yıl, maksimum 5,83 m/yıl ve minimum -14,25 m/yıl olarak değişim gösterdiği saptanmıştır. Bu dönemde kıyı çizgisi, Kocasu Çayı ağız kesiminin her iki yakası ile özellikle batısında gerilmiş, Yeniköy kıyı şeridinde ise ilerlemiştir (Şekil 6).

2010-2023 periyodunda, toplam 4 farklı tarihe ait kıyı çizgisi üzerinden NSM, SCE, EPR ve LRR analizleri uygulanmıştır (Şekil 6 ve Tablo 5). NSM analizine göre kıyı çizgisinde ortalama -1,27 m, maksimum 94,01 m ve minimum -329,55 m değişim yaşanmıştır. SCE'ye göre kıyıda ortalama 24,84 m değişim olduğu tespit edilmiştir. LRR analizine göre kıyı çizgisi ortalama 0,2 m/yıl, maksimum 5,83 m/yıl ve minimum -32,97 m/yıl olarak değişim göstermiştir. 2010-2023 döneminde, diğer dönemlerde meydana gelen Kocasu Çayı ağız kesimindeki geniş alanlı kıyı çizgisi gerilemesinin daha dar alanlı olarak

gerçekleştiği tespit edilmiştir. Yeniköy kıyısı ve deltanın doğu kesiminde düşük seviyede kıyı çizgi ilerlemesi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6).

Kıyı çizgilerinin NSM, SCE, EPR ve LRR analiz sonuçları dönemsel olarak değişimin kantitatif boyutlarında farklılıklar olduğunu göstermektedir. NSM analizinde ortalama değerlerin uzun dönemden (1980-2023) kısa ve günümüze yakın döneme (2010-2023) doğru değişim hızının azaldığı saptanmıştır. Bu durumun oluşmasında özellikle Kocasu Çayı deltasını meydana getiren Susurluk Havzası'ndaki barajların sayısının artması ve materyal taşınımını azaltması etkili olmuştur (Tablo 4). Ayrıca incelenen kıyı şeridinin batısına yapılan iskele mendireğinin antropojenik etkisi ve kuzeybatıdan gelen akıntı sisteminin bu kesime materyal taşınması değişim hızının bu kesimde yönünün pozitif olarak artmasına neden olmuştur.

**Şekil 7.** Kocasu Çayı Deltası kıyılarında dönemsel olarak kıyı birikimi ve kıyı aşınımı sahaları.**Figure 7.** Periodical coastal accretion and coastal erosion areas on the coasts of Kocasu Stream Delta.

**Tablo 6.** Kocasu Çayı Deltası'nın dönemsel olarak kıyı değişim hassasiyeti analiz verilerinin sayısal değerleri  
**Table 6.** Numerical values of periodical coastal change sensitivity analysis data of Kocasu Stream Delta coasts

	1980-2023		1990-2023		2000-2023		2010-2023	
	P*	O*	P*	O*	P*	O*	P*	O*
<b>Yüksek düzey erozyon</b>	154	%7	140	%6	106	%5	22	%1
<b>Orta düzey erozyon</b>	126	%5	125	%6	95	%4	67	%3
<b>Düşük düzey erozyon</b>	635	%28	668	%29	736	%33	557	%25
<b>Durağan (Stabil)</b>	858	%38	867	%38	910	%40	582	%26
<b>Düşük düzey birikim</b>	499	%22	448	%20	258	%11	864	%38
<b>Orta düzey birikim</b>	5	%0	27	%1	158	%7	155	%7
<b>Yüksek düzeyde birikim</b>	1	%0	1	%0	1	%0	6	%0

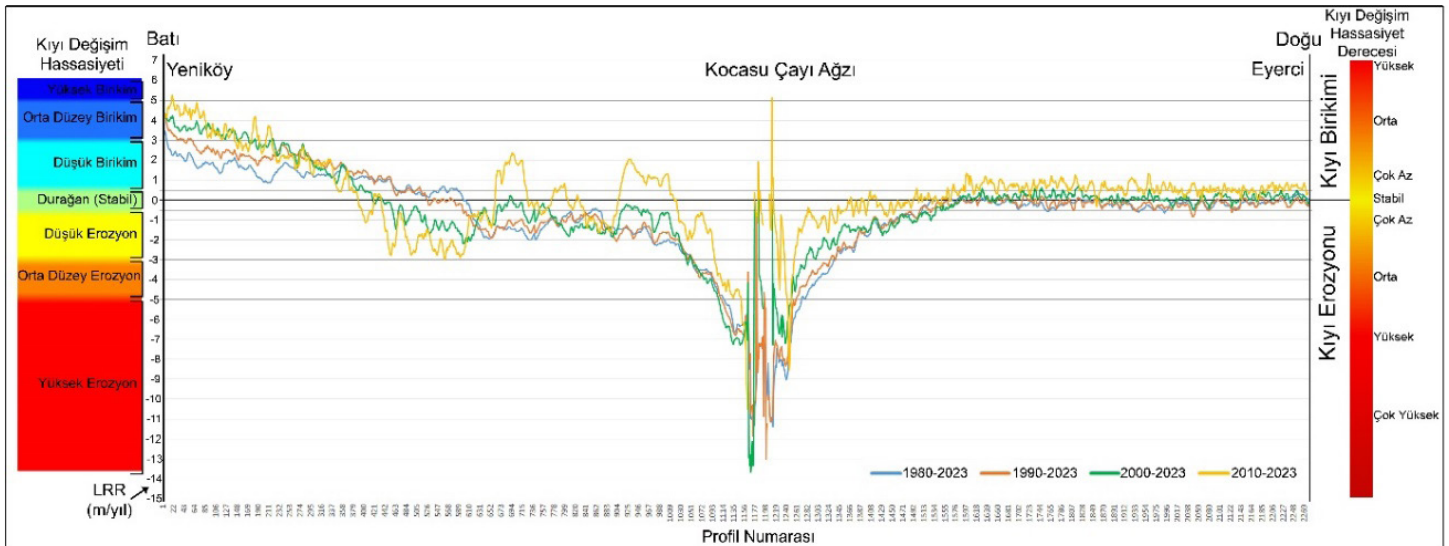
\*P: Profil sayısı, \*O: Oran (%)

1980-2023 döneminde toplam değişen kıyı alanı 1,268 km<sup>2</sup>'dir. Bu dönemde kıyıda meydana gelen alansal değişimin %86'sı aşınım, %14'ü ise kıyı birikimi şeklinde gerçekleşmiştir. 1990-2023 döneminde toplam değişen kıyı alanı 1,05 km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde toplam değişimin %71'i aşınım, %29'u ise kıyı birikimidir. 2000-2023 döneminde toplam değişen kıyı alanı 0,791 km<sup>2</sup>'dir. Bu dönemde alansal değişimin %75'i aşınım, %25'i ise kıyı birikimi şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 7). 2010-2023 döneminde kıyıdaki alansal değişim 0,378 km<sup>2</sup>'ye gerilemiştir. Bu dönemde kıyıdaki değişimin %54'ünü kıyı erozyonu oluştururken, %46'sını kıyı birikimi meydana getirmiştir. Dönemlerin tamamında kıyı erozyonunun Kocasu Çayı ağız çevresinde meydana geldiği, kıyı birikiminin ise Yeniköy sahil şeridinde olduğu tespit edilmiştir. Dönemler bazında bu durum incelendiğinde değişen alan miktarı ile kıyı erozyonunun yakın geçmişe doğru azalma eğiliminde olduğu ve özellikle bu durumun Kocasu Çayı ağız kesiminde meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 7).

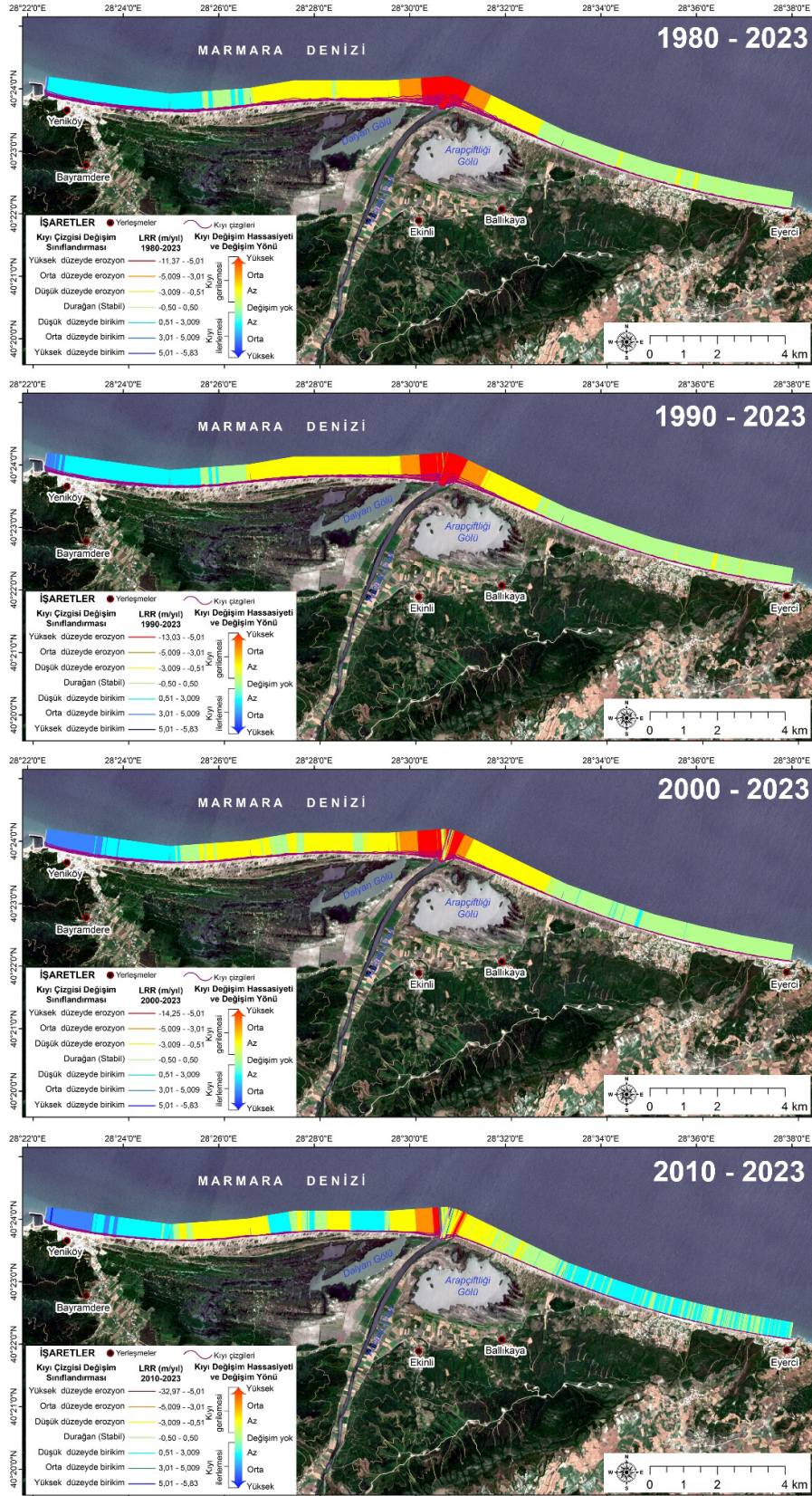
### 3.3. Kocasu Çayı Deltası Kıyı Çizgisi Değişim Hassasiyeti

1980-2023 dönemindeki kıyı çizgisi değişimleri oransal açıdan sınıflandırıldığında, en yüksek oranlara, durağan (stabil) (%38), düşük erozyon (%28) ve düşük birikim (%22) yerlerinin sahip olduğu tespit edilmiştir. 1990-2023 döneminde kıyı değişim sınıflandırmasında en yüksek oranlar, durağan (stabil) (%38), düşük erozyon (%29) ve düşük birikim (%20) kategorilerinde gözlemlenmektedir (Tablo 6). 2000-2023 döneminde en yüksek oranlara durağan (%40), düşük erozyon (%33) ve düşük birikim (%11) kategorileri sahiptir. 2010-2023 döneminde ise diğer dönemlerden farklı olarak kıyı değişim sınıflandırmasında oransal olarak en yüksek değerlere düşük birikim (%38), durağan (%26) ve düşük erozyon (%25) kategorileri sahiptir (Tablo 6).

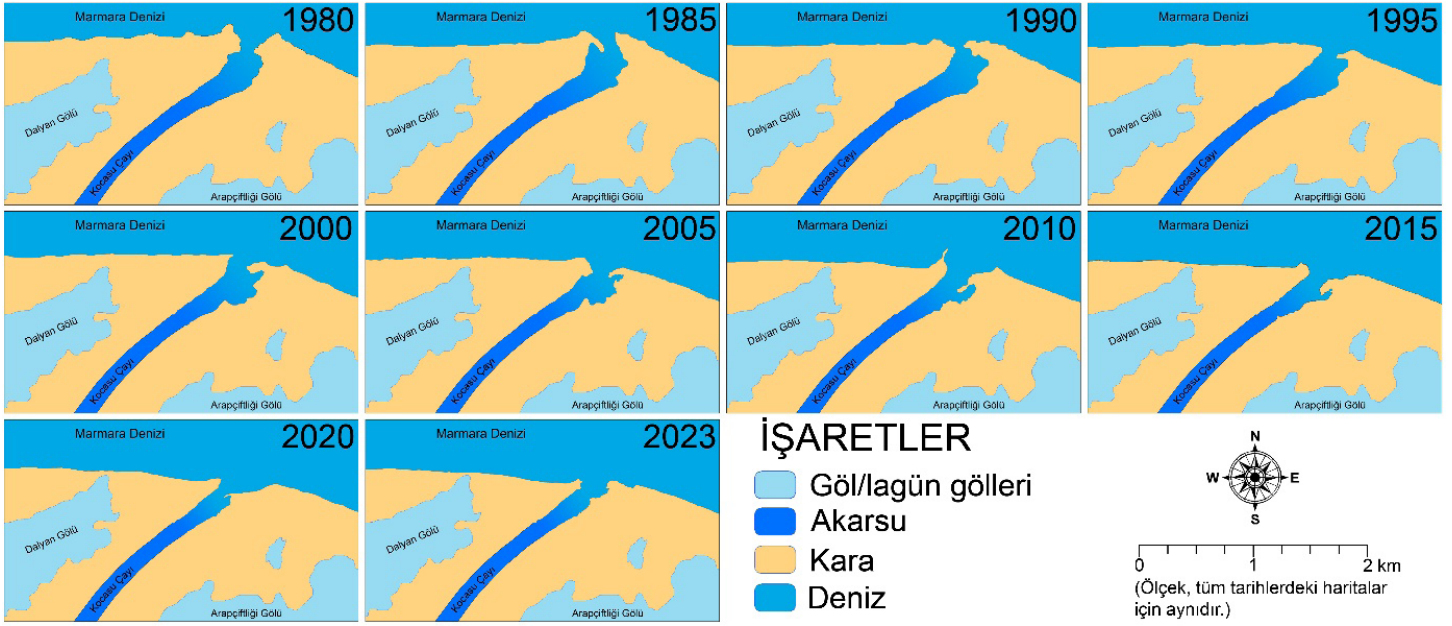
1980-2023 arasında kıyı erozyonunun görüldüğü Kocasu Çayı ağızında kıyı çizgisi yıllık -11 ile -5 m arasında gerilemektedir. Bu dönemde kıyı değişim yönünün pozitif olduğu yerleri Yeniköy sahil şeridi oluşturmaktadır. 43 yıllık



**Şekil 8.** Kocasu Çayı Deltası kıyıların LRR analizi grafiği ve kıyı değişim hassasiyeti ilişkisi.  
**Figure 8.** LRR analysis graph of Kocasu Stream Delta coasts and coastal change sensitivity relationship.



Şekil 9. Kocasu Çayı Deltası kıyılarınin dönemsel olarak kıyı değişim hassasiyeti analizi.  
 Figure 9. Periodical coastal change sensitivity analysis of Kocasu Stream Delta coasts.



**Şekil 10.** Kocasu Çayı ağız kesimindeki zamansal ve mekansal kıyı değişimleri.  
**Figure 10.** Temporal and spatial coastal changes at the mouth of Kocasu Stream.

dönemde incelenen kıyı şeridinin doğu kesiminde kıyı değişim hassasiyetinin çok az seviyede olduğu tespit edilmiştir. 1990-2023 döneminde kıyı değişim hassasiyetinin yüksek olduğu alanları Kocasu Çayı ağız kesimi ile kıyı şeridinin en batısı oluşturmaktadır. Yeniköy kıyılarında ise değişim hassasiyeti yüksek pozitif yönlüdür. 2000-2023 döneminde değişim hassasiyetinin yüksek olduğu yerler, Kocasu Çayı ağız kesimi ile Yeniköy sahilidir. Yeniköy-Dalyan Lagün Gölü arası ile Arapçiftliği Gölü kuzey kesimi kıyı şeridinde değişim hassasiyeti az iken incelenen sahanın doğu kesiminde değişimin çok az ya da olmadığı saptanmıştır (Şekil 8 ve 9). 2010-2023 döneminde kıyı değişim hassasiyetinin yüksek olduğu alanları, Kocasu Çayı ağız kesiminin batı yakası ve Yeniköy sahil şeridi oluşturur. Diğer dönemlere göre yakın geçmişteki kıyı çizgisi değişiminin delta çevresinde mekânsal olarak gerileme hızının yavaşladığı, morfolojik ve plajın uzanım yönü olarak da değişimler yaşandığı tespit edilmiştir (Şekil 9 ve 10). Diğer dönemlere göre, 2010-2023 döneminde kıyı şeridi doğusundaki durağan ve değişim hassasiyetinin çok az olduğu kıyılarda, değişimin yönünün kıyı ilerlemesi olarak hassasiyet açısından az kategorisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

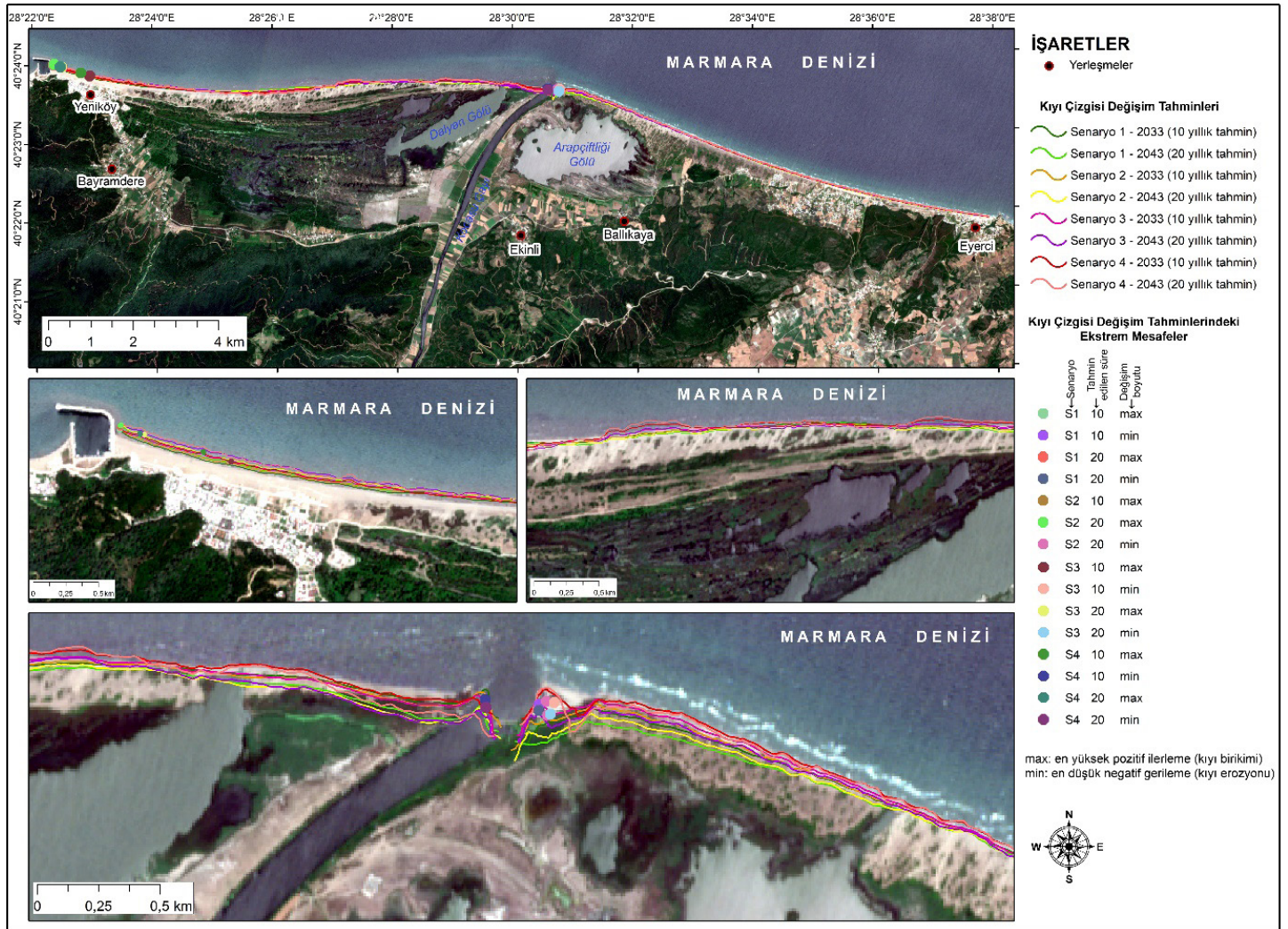
Kıyı değişim hassasiyeti oransal değerlerinde 1980-2023, 1990-2023 ve 2000-2023 dönemleri benzer kantitatif bulgulara sahiptir. Bu dönemlerde özellikle Kocasu Çayı ağız kesiminde kıyının erozyona maruz kaldığı, Yeniköy kıyısındaki antropojenik müdahale nedeniyle birikimlerin olduğu saptanmıştır. Ancak yakın dönemdeki daha kısa süreli kıyı değişim verisini ortaya

koyan 2010-2023 analiz sonuçları, Kocasu Çayı ağızında meydana gelen uzun dönemli aşınan malzemenin kuzey-kuzeybatı yönlü akıntı ve rüzgâr etkisiyle deltanın doğu ve batı kıyılarında birikmesine yol açtığı tespit edilmiştir. Özellikle batıda mendirek etkisi ile birikim daha fazla olmuş bu nedenle 2010-2023 döneminde düşük düzey birikim oranı %38'e yükselmiştir. Ayrıca dönemler arasında akarsu ağız kesimindeki morfolojik değişimlerde kıyı değişim hassasiyetinin oluşmasında önemli rol oynamıştır (Şekil 10)

### 3.4. Kocasu Çayı Deltasının 2033 ve 2043 Yılları Kıyı Çizgisi Değişim Öngörülleri

Kocasu Çayı Deltası ve yakın çevresindeki kıyı çizgisi değişim öngörülleri için dönemsel olarak incelenen LRR verileri temel alınmış, DSAS BETA özelliğindeki Kalman Filter yöntemi ile modellemeler yapılmıştır. Model, geçmiş dönemli kantitatif verilerin doğrusal regresyonunu temel almaktadır. Bu bakımdan geçmişten günümüze yakın şekilde sınıflandırılan altlık verilerdeki kıyı çizgisi değişim eğilimleri, dağılımları ve kantitatif değerleri modellemede önemli etki rolünü üstlenmiştir.

Senaryo 1'in 10 yıllık tahminlerinin NSM analiz sonuçlarına göre kıyı çizgisinde ortalama -8,94 m, maksimum 47,14 m ve minimum -296,52 m değişim olacağı öngörülmektedir. Senaryo 1-20 yıllık modelde NSM'ye göre kıyı çizgisinin ortalama -14,25 m, maksimum 91,27 m ve minimum -285,06 m değişeceği tahmin edilmiştir (Tablo 6). Senaryo 1 kapsamındaki



**Şekil 11.** Kocasu Çayı Deltası'nın senaryolara göre 2033 ve 2043 yılları kıyı çizgisi tahminleri.

**Figure 11.** Kocasu Stream Delta shoreline predictions for the years 2033 and 2043 according to scenarios.

tahminlerinde özellikle Kocasu Çayı ağız ve çevresinde değişim hassasiyetinin yüksek olduğu ve kıyı gerilemesinin meydana geleceği öngörülmektedir (Şekil 11). Senaryo 1 kapsamındaki öngörülerin, 1980-2023 yılları arasındaki yıllık kıyı çizgisi değişim oranının (LRR) eğilimini temel alması nedeniyle 2033 ve 2043 yıllarında kıyı çizgisinin diğer senaryolara göre en yüksek değişime ulaşmasını sağlamıştır. Bu durum, temel alınan verinin süresi (43 yıllık) ve kıyı değişim yoğunlaşmasının dağılımına bağlıdır. Öngörüler bu nedenle Senaryo 1 kapsamında maksimum kantitatif değerleri barındırmaktadır.

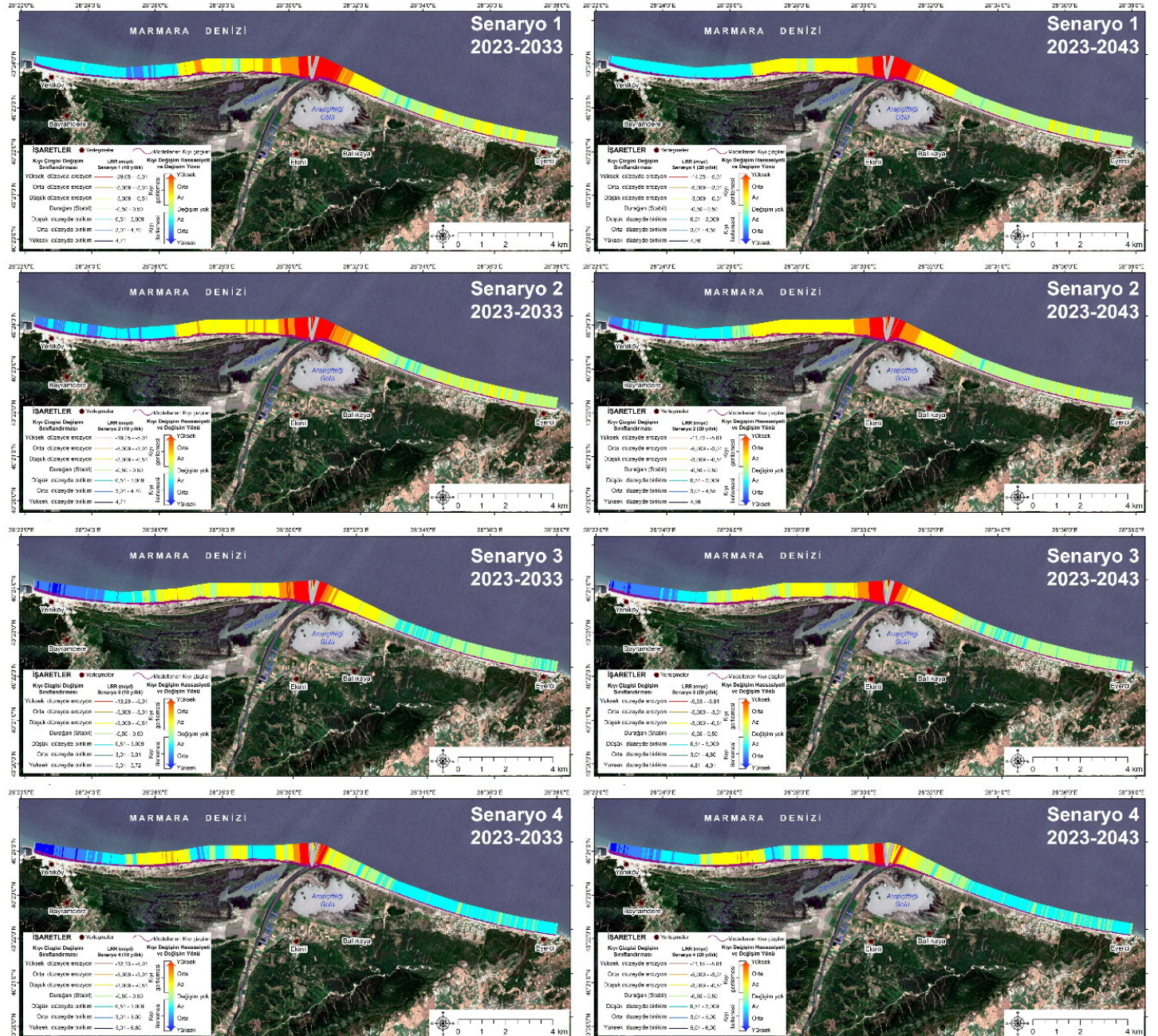
Senaryo 2 kapsamında 10 yıllık model tahminlerinin NSM analizi verilerine göre kıyı çizgisinde ortalama -7,62 m, maksimum 47,14 m ve minimum -192,53 m değişim yaşanacağı öngörülmektedir. Senaryo 2 kapsamında 2043 yılı kıyı çizgisi tahminlerinin NSM analiz verilerine göre ortalama -12,41 m, maksimum 91,27 m ve minimum -234,66 m olacağı saptanmıştır

(Tablo 6). Senaryo 2 tahminlerinin kıyı değişim hassasiyet boyutu analiz edildiğinde, 2033 ve 2043 yıllarında Kocasu Çayı ağız kesiminden Dalyan ve Arapçiftliği göllerine kadar negatif yönlü yüksek düzeyde değişim olacağı, Yeniköy sahil şeridinde pozitif yönlü orta düzey değişim olacağı öngörülmektedir (Şekil 12).

Senaryo 3 kapsamında 10 yıllık tahmin ile ortaya konan kıyı çizgisinin NSM analiz sonuçlarına göre ortalama -2,2 m, maksimum 57,17 m ve minimum -132,92 m değişeceği öngörülmektedir. Senaryo 3'ün 20 yıllık öngörüsünde NSM'ye göre kıyı çizgisinin ortalama -4,34 m, maksimum 98,21 ve minimum -190,5 m yer değiştireceği tahmin edilmiştir (Tablo 6). Bulgular, Senaryo 3 kapsamında 2033 ve 2043 yıllarında yüksek düzeyde değişimlerin Kocasu Çayı ağızının doğu ve batı kanadı ile Yeniköy sahil şeridinde olacağı saptanmıştır. Bu dönemde Eyerci sahil şeridinden batıya doğru stabil kıyı süreçleri devam

**Tablo 7.** Senaryolara göre kıyı çizgisi tahminlerinin NSM, SCE ve EPR analiz sonuçları  
**Table 7.** NSM, SCE and EPR analysis results of shoreline forecasts according to scenarios

	NSM (m)			SCE (m)			EPR (m/yıl)		
	Ort	Max	Min	Ort	Max	Min	Ort	Max	Min
<b>Senaryo 1 (10 y)</b>	-8,94	47,14	-296,52	22,04	296,52	0,02	-0,89	4,71	-29,65
<b>Senaryo 1 (20 y)</b>	-14,25	91,27	-285,06	35,47	285,06	0	-0,71	4,56	-14,25
<b>Senaryo 2 (10 y)</b>	-7,62	47,14	-192,53	22,06	192,53	0	-0,76	4,71	-19,25
<b>Senaryo 2 (20 y)</b>	-12,41	91,27	-234,66	35,61	234,66	0,04	-0,62	4,56	-11,73
<b>Senaryo 3 (10 y)</b>	-2,2	57,17	-132,92	18,64	132,92	0,01	-0,22	5,72	-13,29
<b>Senaryo 3 (20 y)</b>	-4,34	98,21	-190,5	32,26	190,5	0	-0,21	4,91	-9,53
<b>Senaryo 4 (10 y)</b>	5,72	65,99	-121,32	17,7	121,32	0,01	0,57	6,6	-12,3
<b>Senaryo 4 (20 y)</b>	8,27	119,98	-223,01	30,99	223,01	0,01	0,41	6,01	-11,15



**Şekil 12.** Kocasu Çayı Deltasının farklı senaryolara göre kıyı değişim hassasiyeti analizi.  
**Figure 12.** Coastal change sensitivity analysis of Kocasu Stream Delta according to different scenarios.

ederken, Arapçiftliği Gölü hattından itibaren az-orta hassasiyete sahip değişimlerin gözlemleneceği öngörülmektedir (Şekil 12). Senaryo 3 kapsamında kıyının tamamında kıyı gerilemesi süreçlerinin daha düşük seviyeye geleceği tahmin edilmiştir. Bu durumun oluşmasına model için temel alınan 2000-2023 aralığında kıyı gerilemesi ve ilerlemesi süreçlerinin denge düzeyine gelmesi ve bunun eğilim açısından geleceğe yansımalarının etkili olacağı öngörülmüştür.

Senaryo 4 kapsamında 10 yıllık tahminlerin NSM analiz sonuçlarına göre, ortalama 5,72 m, maksimum 65,99 m ve minimum -121,32 m değişeceği öngörülmektedir. Senaryo 4'ün 20 yıllık öngörüsünde NSM'ye göre kıyı çizgisinin ortalama 8,27 m, maksimum 119,98 ve minimum -223,01 m yer değiştireceği tahmin edilmiştir (Tablo 6). Değerler diğer 3 modelin aksine ortalamanın pozitif yönlü olacağı öngörülmektedir. Bu durumun oluşmasında Senaryo 4 kapsamında temel alınan 2010-2023 dönemindeki durağan ve kıyı ilerlemesi yönlü değişimlerin modele yansımaları rol oynamıştır. Senaryo 4 modelinin 10 ve 20 yıllık tahminleri kıyı değişim hassasiyeti açısından incelendiğinde Kocasu Çayı ağzının her iki yakası ile Yeniköy sahil şeridinden doğuya doğru hassasiyet seviyesinin yüksek olacağı tahmin edilmiştir (Şekil 12). Senaryo 4 kapsamında stabil kıyı değişimine sahip alanların azalacağı, Eyerci'den batıya doğru kıyı ilerlemesi şeklinde az seviyede değişim hassasiyetinin olacağı öngörülmüştür. Özellikle yakın zaman diliminde Yeniköy kıyılarında mendirek ile birlikte kıyı ilerlemesinin yaşanması, Kocasu Çayı ağız kesiminde ise morfolojik değişimlerin yönünde de değişimlerin olması, modelin gelecek açısından kıyıdaki ortalama değişim yönünün pozitif olarak kıyı ilerlemesi şeklinde olacağı çıktısı tespit edilmiştir.

#### 4. TARTIŞMA

Dünyanın farklı bölgelerinde çok çeşitli iç ve dış dinamik süreçlerin kontrolünde olan kıyılarda, değişimlerin boyutları da oldukça farklılık göstermektedir. Küresel ölçekli olarak kıyı değişimlerinin incelendiği çalışmalar, Dünya küresel kıyı çizgisinin 0,01–0,10 m/yıl gerilediğini ve kıyının erozyona maruz kaldığını göstermektedir (Mullick vd., 2019). Kıyı değişiminin pik seviyesi en çok deltalarda gözlemlenmektedir (Abd-Elhamid vd., 2023). Özellikle ülkemizdeki sulak alan barındıran ve delta morfolojisine sahip olan kıyılarda da farklı değişim boyutları meydana gelmektedir (Tağil & Cürebal, 2005; Kuleli vd., 2011). Bu bakımdan geçmişten günümüze, Kızılırmak Deltası (Ataol vd., 2019; Öztürk & Uzun, 2023), Yeşilirmak Deltası (Kale vd., 2019), Gediz Deltası (Tağil vd., 2023), Madra

Çayı Deltası (Tağil & Cürebal, 2005), Ceyhan Nehri Deltası (Yumurtalık lagünü) (Kuleli vd., 2011), Küçük Menderes Deltası (Akdeniz & İnam, 2023) akarsu ağız kesiminde kıyı aşımını, Göksu Çayı Deltası (Kılar & Çiçek, 2018; Kazı & Karabulut, 2023) ve Meriç Deltası (Kılar, 2023) akarsu ağız kesiminde ise kıyı birikimi meydana gelmiştir. Araştırma sonuçları genel olarak delta kıyılarında (özellikle akarsu ağız kesimlerinde) erozyonun arttığını göstermektedir. Kocasu Çayı Deltası kıyı değişimleri de diğer kıyılarla paralellik göstermektedir. Çalışmadaki kıyı çizgisi değişimi bulguları ile Kocasu Çayı drenaj havzasındaki barajların işletim yılı ilişkilendirildiğinde, kıyıya etkisi dolaylı olan barajların siltasyonu yavaşlatması sonucu taşınan malzeme miktarını azaltması ile kıyıda dalga, akıntı rüzgâr faktörlerin kıyı erozyonunu arttırdığı saptanmıştır.

Kocasu Çayı Deltası sahil şeridinde 1980-2023 arası dönemde, kıyı çizgisinin NSM analizine göre, ortalama -45,47 m, LRR analizine göre -0,86 m/yıl değiştiğini saptanmıştır. Ancak dönemsel olarak kıyı değişimi ve özellikle gerileme hızının yavaşladığı, son 13 yılda NSM'ye göre, ortalama -1,27 m, LRR'ye göre, 0,2 m/yıl olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Kocasu Çayı Deltası'nın diğer deltalarla karşılaştırıldığında kıyı erozyonu yapısının belli alanlarda devam ettiğini fakat genel eğilimin deltanın batısında özellikle birikim yönüne geçtiğini göstermektedir. Bu durumun oluşmasında inceleme sahasının batısındaki iskele yapısı, havzadaki barajların siltasyona etkisi, Marmara Denizi güneyini etkileyen kuzeybatı yönlü akıntı sisteminin kıyı süreçlerini denetlediği ve egemen faktör olarak rol oynadığı tespit edilmiştir. Bazı çalışmalarda Kocasu Çayı Deltasında doğrudan antropojenik etkenlerle (kıyıda kum alımı) kıyı değişimlerinin yaşandığı belirtilmektedir. (Kurt, 2016), Bu çalışmada Landsat uydu görüntüleri kıyıda meydana gelen değişimlerin doğrudan kum alımı sonucu olduğu ile ilgili bir veri ortaya koymamıştır.

Deltaların hassas ve değişilebilir kıyı yapısı, Kocasu Çayı Deltası kıyılarında da 1980-2023 yılları arasında farklı boyutlarda gözlemlenmiştir. Bu bakımdan özellikle akarsu ağız kesiminde meydana gelen kıyı erozyonunun hem morfolojik görünümü etkilediği hem de kıyılarda ekolojik olarak bazı değişimler yaşandığını göstermektedir. Bu bakımdan deltanın tek kanallı oluşturan Kocasu Çayı ağız kesimi ile doğusundaki Arapçiftliği lagün gölü ile batısındaki Dalyan lagün gölünün kıyı ile bağlantısının değiştiği saptanmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda da lagünlerin mevsimsel ve dönemsel olarak tuzlu su girişine maruz kaldığı belirtilmektedir (Kazancı vd., 1999; Yıldırım 2002). Çalışmadaki farklı senaryolar, belirtilen lagün göllerinin 2033 ve 2043 yıllarında deniz ile olan kıyı kordonu



eşiğinin tamamen ortadan kalkacağını öngörmektedir. Bu durum kıyıda morfolojik görünümün değişmesinin dışında, hidrografik, ekolojik ve dinamik süreç açısından büyük değişimlerin hatta sorunların ortaya çıkmasına neden olabilecektir. Özellikle lagün göllerinin güney-güneybatı kesimindeki longoz sahalarındaki sularda meydana gelebilecek tuzlanmadan etkilenebileceği tahmin edilmektedir. Aynı zamanda lagün göllerini oluşturan kıyı kuşağındaki erozif faaliyetlerin daha uzun dönemli kıyı morfolojik süreçlerini de etkileyebilecektir.

Kocasu Çayı Deltası kıyılarının 4 farklı geçmiş verisi üzerinden yapılan 4 farklı senaryoya göre 2033 ve 2043 yılı kıyı değişim tahminlerinde, özellikle akarsu ağzında kıyı erozyonu tahribatının devam edeceği tespit edilmiştir. Değişim sonucu akarsu ağzının doğuya doğru kayma evriminin olacağı öngörülmektedir. Benzer durumun Türkiye'deki delta kıyılarında da olduğu ve dinamik kıyı süreçlerinin iç deniz özelliği gösteren Marmara Denizi güney kıyılarında da gerçekleştiği ve gelecekte de bu şekilde devam edeceği öngörülmüştür (Tağıl & Cürebal, 2005; Kuleli vd., 2011; Kale vd., 2019; Akdeniz & İnam, 2023; Tağıl vd., 2023). Ancak Kocasu Çayı Deltası ve yakın kıyı şeridinde meydana gelen değişimlerinin tamamen doğal süreçlerle gelişmediği tespit edilmiştir. Özellikle drenaj havzasındaki antropojenik etkenler ile kıyıda beşerî müdahalelerin kıyının dinamik süreçlerini etkilediği çalışmada saptanmıştır.

## 5. SONUÇ

Araştırmada NSM analizi ile elde edilen sonuçlara göre kıyı çizgisinin, 1980-2023 döneminde ortalama -45,47 m, 1990-2023 döneminde -23,34 m, 2000-2023 döneminde -17,76 m ve 2010-2023 döneminde -1,27 m değişim gösterdiği tespit edilmiştir. LRR analizine göre kıyı çizgisi ortalama olarak 1980-2023 döneminde -0,86 m/yıl, 1990-2023 döneminde -0,7 m/yıl, 2000-2023 döneminde -0,45 m/yıl ve 2010-2023 döneminde 0,2 m/yıl değişim göstermiştir. Veri sonuçlarına göre, zamansal olarak yakın geçmişe doğru kıyı çizgisi değişiminin kantitatif değerleri ve yönü değişmiştir. Bu durumun oluşmasında, Kocasu Çayı havzasındaki barajların işletim yılının günümüze doğru sayısının arttığı ve kıyıya taşınan malzemenin azalarak dalga-akıntuların kıyıda egemen olması, Yeniköy kıyısına yapılan mendireğin set özelliği ile kuzeydoğudan gelen rüzgarların aşınan malzemeleri buralara taşınması etkili olmuştur. Çalışmada, Kocasu Çayı ağız kesiminde, incelenen dönemlerde -314 ile -502 m arasında kıyı çizgisi gerilemesi saptanmıştır. İncelenen kıyı şeridinin en batısına (Yeniköy) yapılan iskele ise bu noktadan itibaren doğuya

doğru kıyı birikimin oluşmasını sağlamıştır. Kıyı değişim hassasiyeti analizi sonuçları, özellikle Kocasu Çayı ağız kesimi ile lagünlerin kıyı kesimlerinin yüksek hassasiyete sahip olduğu ve değişim yönünün kıyı gerilmesi, sürecin kıyı erozyonu olduğunu ortaya koymaktadır. Yeniköy sahil şeridinde, değişim hassasiyetinin orta-yüksek düzeyde olduğu, değişim yönünün ise kıyı ilerlemesi olduğu ve kıyı birikim alanlarının görüldüğü tespit edilmiştir. Çalışmadaki bulgular, Kocasu Çayı ağız kesiminin doğu kesiminde değişim hassasiyetinin çok az ya da stabil olduğunu ortaya koymuştur.

Çalışmada Kocasu Çayı Deltası kıyı çizgisi 4 farklı senaryo üzerinden 2033 ve 2043 yılları kapsamında tahmin edilmiştir. Senaryo 1, 2, 3 kapsamında 10 ve 20 yıllık modellerde kıyı çizgisi değişiminin NSM ve EPR analizleri ortalama sonuçları daima negatif yönlü iken senaryo 4 kapsamında bu değerler pozitif yönlüdür. Bu sonuçlar kıyıda uzun dönemli veriler temel alındığında kıyı erozyonunun daha baskın olacağını gösterirken, kısa ve yakın dönemli veriler temel alındığında ise kıyı birikiminin yoğunlaşacağını ortaya koyar. Elde edilen bulgulardan, gelecek tahminlerinde kıyı değişim hassasiyetinin geçmiş dönemli verilerde olduğu gibi, Kocasu Çayı ağız, lagünlerinin kuzeyi ile Yeniköy kıyılarında yoğunlaşacağı anlaşılmaktadır.

**Hakem Değerlendirmesi:** Dış bağımsız.

**Çıkar Çatışması:** Yazar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

**Finansal Destek:** Yazar finansal destek beyan etmemişlerdir.

**Peer Review:** Externally peer-reviewed.

**Conflict of Interest:** Author declared no conflict of interest.

**Financial Disclosure:** Author declared no financial support.

## KAYNAKÇA / REFERENCES

- Abd-Elhamid, H.F., Zelenáková, M., Baranczuk, J., Gergelova, M.B., Mahdy, M., (2023) Historical Trend Analysis and Forecasting of Shoreline Change at the Nile Delta Using RS Data and GIS with the DSAS Tool. *Remote Sensing*, 15, 1737. <https://doi.org/10.3390/rs15071737>
- Akdeniz, H.B., & İnam, Ş. (2023). Spatio-temporal analysis of shoreline changes and future forecasting: the case of Küçük Menderes Delta, Türkiye. *J Coast Conserv* 27, 34. <https://doi.org/10.1007/s11852-023-00966-8>
- Aladwani, N. S. (2022). Shoreline change rate dynamics analysis and prediction of future positions using satellite imagery for the southern coast of Kuwait: A case study. *Oceanologia*, 64(3), 417–432. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2022.02.002>

- Aouiche, I., Daudi, L., Anthony, E. J., Sedrati, M., Ziane, E., Harti, A., Dussouillez, P., (2016). Anthropogenic effects on shoreface and shoreline changes: Input from a multi-method analysis, Agadir Bay, Morocco. *Geomorphology-Elsevir*, 254, 16-31. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.11.013>
- Ataol, M., Kale, M.M., Tekkanat, İ.S. (2019). Assessment of the changes in shoreline using digital shoreline analysis system: a case study of Kızılırmak Delta in northern Turkey from 1951 to 2017. *Environ Earth Sci* 78, 579. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8591-7>
- Awad, M., & El-Sayed, H. M. (2021). The analysis of shoreline change dynamics and future predictions using automated spatial techniques: Case of El-Omayed on the Mediterranean coast of Egypt. *Ocean ve Coastal Management*, 205, 105568. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105568>
- Baig, M. R. I., Ahmad, I. A., Shahfahad, Tayyab, M., Rahman, A. (2020). Analysis of shoreline changes in Vishakhapatnam coastal tract of Andhra Pradesh, India: an application of digital shoreline analysis system (DSAS). *Annals of GIS*, 26 (4), 361–376. <https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1815839>
- Baral, R., Pradhan, S., Samal, R. N., Mishra, S. K. (2018). Shoreline change analysis at Chilika Lagoon Coast, India using digital shoreline analysis system. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46 (10), 1637–1644. <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0818-7>
- Bird, E. (2008). Coastal geomorphology: An introduction Second edition. John Wiley ve Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.
- Bombino, G., Barbaro, G., D'Agostino, D., Denisi, P., Foti, G., Labate, A., Zimbone, S. M. (2022). Shoreline change and coastal erosion: the role of check dams. first indications from a case study in Calabria, Southern Italy, *CATENA*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106494>
- Ciritci, D., & Türk, T. (2020). Analysis of coastal changes using remote sensing and geographical information systems in the Gulf of Izmit, Turkey. *Environ Monit Assess* 192, 341-360. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08255-9>
- Çelik M. A., Kızılelma, Y., Gülersoy, A. E., Denizdurduran, M., (2013). Farklı Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Aşağı Seyhan Ovası Güneyindeki Sulak Alanlarda Meydana Gelen Değişimin İncelenmesi (1990-2010), *Turkish Studies*, 8(12), 263-284.
- Çoban, H., Koç, Ş., Kale, M. M. (2020). Shoreline changes (1984 – 2019) in the Çoruh delta (Georgia/Batumi). *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 42, 589-601. <https://doi.org/10.32003/igge.741573>
- Darwish, K., Smith, S., Torab, M., Monsef, H., Hussein, O. (2017). Geomorphological Changes along the Nile Delta Coastline between 1945 and 2015 Detected Using Satellite Remote Sensing and GIS. *Coast. Res*, 33(4), 786–794. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-16-00056.1>
- Davidson-Arnott, R., (2010). Introduction to Coastal Processes and Geomorphology, University Press Cambridge. United Kingdom.
- Dev Roy, S., & Trivedi, S. (2023). Geospatial Assessment of Long-Term Changes (1937–2019) in Mangrove Vegetation and Shoreline Dynamics of Godavari Estuary, East Coast of India. *J Indian Soc Remote Sens* 51, 1309–1327. <https://doi.org/10.1007/s12524-023-01698-w>
- Erinç, S., (1986). Kıyılardan Yararlanmada Hukuki Düzenlemelere Jeomorfolojinin Katkısı, *Jeomorfoloji Dergisi*, 14:1-5.
- Erkal, T., Emre, Ö., Kazancı, N., (1998). Marmara Denizi Güney Kıyıları'nın (Karabiga-Gemlik Arası) Özellikleri ve Holosen Kıyı Değişimleri, Deniz Jeolojisi, Türkiye Deniz Araştırmaları Workshop IV. İstanbul.
- Erol, O., (1989). Türkiye’de Kıyıların Doğal Niteliği, Kıyı ve Kıyı Varlıklarının Korunmasına İlişkin Kıyı Kanunu ve Uygulamaları Konusunda Jeomorfolojik Yaklaşım, *İstanbul Üniv. Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Bülten*, 6, 15-46.
- Gao, Bo-Cai (1996). NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*. 58(3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Ghoneim, E., Mashaly, J., Gamble, D., Halls, J., AbuBakr, M. (2015). Nile Delta exhibited a spatial reversal in the rates of shoreline retreat on the Rosetta promontory comparing pre- and post-beach protection. *Geomorphology*, 228, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.08.021>
- Gómez-Pazo, A., Payo, A., Paz-Delgado, M.V., Delgadillo-Calzadilla, M.A. (2022). Open Digital Shoreline Analysis System: ODSAS v1.0. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10, 26. <https://doi.org/10.3390/jmse10010026>
- Hakkou, M., Maanan, M., Belrhaba, T., El khalidi, K., El Ouai, D., Benmohammadi, A. (2018). Multi-decadal assessment of shoreline changes using geospatial tools and automatic computation in Kenitra coast, Morocco. *Ocean ve Coastal Management*, 163, 232–239. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.07.003>
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., Farris, A. S. (2018). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.0 User Guide (No. 2018-1179). US Geological Survey.
- Hossain, S. Yasir, M. Wang, P. Ullah, S. Jahan, M., Hui, S., Zhao, Z., (2021). Automatic shoreline extraction and change detection: A study on the southeast coast of Bangladesh. *Marine Geology* 441, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106628>
- Hoşgören, M. Y., (2011). Jeomorfoloji Terimleri Sözlüğü, Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Hu, X., & Wang, Y. (2020). Coastline Fractal Dimension of Mainland, Island, and Estuaries Using Multi-temporal Landsat Remote Sensing Data from 1978 to 2018: A Case Study of the Pearl River Estuary Area. *Remote Sensing*, 12, 2482. <https://doi.org/10.3390/rs12152482>
- Kale, M.M., Ataol, M. Tekkanat, İ.S. (2019). Assessment of shoreline alterations using a Digital Shoreline Analysis System: a case study of changes in the Yeşilirmak Delta in north Turkey from 1953 to 2017. *Environ Monit Assess* 191, <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7535-8>

- Kazancı, N., Emre, Ö., Erkal, T., İleri, Ö., Ergin, M., Görür, N., (1999). Morphology And Sedimentary Facies Of Actual Kocasu and Gönen River Deltas, Marmara Sea, Northwestern Anatolia, *Bulletin Of The Mineral Research And Exploration*, 121, 1-18.
- Kazı, H., & Karabulut, M. (2023). Monitoring the shoreline changes of the Göksu Delta (Türkiye) using geographical information technologies and predictions for the near future. *International Journal of Geography and Geography Education* (50), 329-352.
- Kılar, H., & Çiçek, İ. (2018). Göksu Deltası Kıyı Çizgisi Değişiminin DSAS Aracı ile Belirlenmesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 16 (1), 89-104. [https://doi.org/10.1501/Cogbil\\_0000000192](https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000192)
- Kılar, H., (2023). Shoreline change assessment using DSAS technique: A case study on the coast of Meriç Delta (NW Türkiye). *Regional Studies in Marine Science*, 57, 102737. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102737>
- Kılar, H., & Aydın, O. (2024). Applying the kalman filter model to forecast shoreline positions: A case study in Şile, İstanbul. *Türk Coğrafya Dergisi* (85), 47-53. <https://doi.org/10.17211/tcd.1469434>
- Kuleli, T., Güneroğlu, A., Karlı, F., Dihkan, M., (2011). Automatic detection of shoreline change oncoastal Ramsar wetlands of Turkey, *Ocean Engineering* 38, 1141–1149. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.05.006>
- Kumar Das, S., Sajjan, B., Ojha, C., Soren, S. (2021). Shoreline change behavior study of Jambudwip island of Indian Sundarban using DSAS model. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3, Part 2), 961–970. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.09.004>
- Kurt, S., (2016). Marmara Denizi Güney Kıyılarında Kıyı Çizgisi ve Kıyı Alanda Meydana Gelen Zamansal Değişim Analizi, Gaziantep University Journal of Social Sciences, 15(3), 899-924.
- Lazuardi, Z., Karim, A., Sugianto, S. (2022). Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Digital Shoreline Analysis System (DSAS) di Pesisir Timur Kota Sabang. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(1). <https://doi.org/10.17969/jimfp.v7i1.18872>
- Long, J.W., & Plant, N.G., (2012). Extended Kalman Filter framework for forecasting shoreline evolution: Geophysical Research Letters, 39(13),1–6.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, 17(7) 1425-1432,
- Mullick, M.R.A., Tanim, A.H., Islam, S.M.S., (2019). Coastal vulnerability analysis of Bangladesh coast using fuzzy logic based geospatial techniques. *Ocean Coast Manag.* 174, 154–169. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.03.010>.
- Murray, J., Adam, E., Woodborne, S., Miller, D., Xulu, S., Evans, M. (2023). Monitoring shoreline changes along the southwestern coast of South Africa from 1937 to 2020 using varied remote sensing data and approaches. *Remote Sensing*, 15 (2), 317. <https://doi.org/10.3390/rs15020317>
- Nassar, K., Mahmod, W. E., Fath, H., Masria, A., Nadaoka, K., Negm, A. (2019). Shoreline change detection using DSAS technique: Case of North Sinai coast, Egypt. *Marine Georesources ve Geotechnology*, 37(1), 81–95. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2018.1448912>.
- Öztürk D., & Uzun, S. (2023). Kızılırmak Deltası Kıyı Çizgisinin EPR ve LRR Yöntemleriyle 1984–2022 Periyodunda Değişim Analizi ve 2030 Yılı Tahmini. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 21(2), 306-339. <https://doi.org/10.33688/aucbd.1310132>
- Palanisamy, P., Sivakumar, V., Velusamy, P., Natarajan, L. (2024). Spatio-temporal analysis of shoreline changes and future forecast using remote sensing, GIS and kalman filter model: A case study of Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 133, 104701. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104701>
- Pardo-Pascual, J.E., Almonacid-Caballer, J., Ruiz, L.A., Palomar-Vázquez, J. (2012). Automatic extraction of shorelines from Landsat TM and ETM+ multi-temporal images with subpixel precision. *Remote Sensing of Environment*, 123, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.02.024>
- Pouye, I.; Adjoussi, D.P.; Ndione, J.A.; Sall, A. (2023). Topography, Slope and Geomorphology's Influences on Shoreline Dynamics along Dakar's Southern Coast, Senegal. *Coasts* 2023, 3, 93–112. <https://doi.org/10.3390/coasts3010006>
- Samra, R. M., & Ali, R. R., (2021). Applying DSAS tool to detect coastal changes along Nile Delta, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 24(3-1), 463-470 <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.11.002>
- Selvan, C. S., Kankara, R., Markose, V. J., Rajan, B., Prabhu, K. (2016). Shoreline change and impacts of coastal protection structures on Puducherry, SE coast of India. *Natural Hazards*, 83, 293–308. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2332-y>
- Singh, K. V., Setia, R., Sahoo, S., Prasad, A., Pateriya, B. (2015). Evaluation of NDWI and MNDWI for assessment of waterlogging by integrating digital elevation model and groundwater level. *Geocarto International*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/10106049.2014.965757>
- Siyal, A. A., Solangi, G. S., Siyal, P., Babar, M. M., Ansari, K. (2022). Shoreline change assessment of Indus delta using GIS-DSAS and satellite data. *Regional Studies in Marine Science*, 102405 <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102405>
- Song, Y., Shen, Y., Xie, R., Li, J. (2021). A DSAS-based study of central shoreline change in Jiangsu over 45 years. *Anthropocene Coasts*, 4(1), 115-128. <https://doi.org/10.1139/anc-2020-0001>
- Spencer, T., Schuerch, M., Nicholls, N., Hinkel, J., Lincke, D., Vafeidis, A., Reef, R., McFadden, L., Brown, S., (2016). Global coastal wetland change under sea-level rise and related stresses: The DIVA Wetland, Change Model, *Global and Planetary Change* 139. 15–30. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.12.018>
- Tağıl, Ş., & Cürebal, İ. (2005). Altınova Sahilinde Kıyı Çizgisi Değişimini Belirlemede Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(2), 51-68.

- Tağıl, Ş., Alevkayalı, Ç., Aytan, B. (2023). Gediz Deltası Sulak Alanı Boyunca Kıyı Şeridi Evrimi ve Erozyon Hassasiyetinin Değerlendirilmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 32(Cumhuriyet'in 100. Yılı Özel Sayısı), 127-142. <https://doi.org/10.51800/ecd.1322803>
- Thasarathan, N., Kuok Choy, L., & Bin Aiyub, K. (2023). Shoreline dynamics over last three decades and predictions for 2032 and 2042: a spatial analysis along the coastal stretch of Aruvi Aru and Kal Aru estuaries in Mannar district, Sri Lanka. *Journal of Maps*, 20(1). <https://doi.org/10.1080/17445647.2023.2285520>
- Turoğlu, H., (2009). 3621 Sayılı Kıyı Kanununun ve Onun Uygulama Problemleri, *Türk Coğrafya Dergisi*, 53: 31-40.
- Turoğlu, (2017). Deniz ve Göllerde Kıyı, Yasal ve Bilimsel Boyutlarıyla Kıyı, (Editörler: H. Turoğlu, H. Yiğitbaşıoğlu) Jeomorfoloji Derneği Yayını No: 1.
- Turoğlu, H., & Duran, A. (2021). Filyos Çayı Deltasında (Karadeniz) kıyı çizgisi değişiklikleri ve yakın geleceğe yönelik göstergeler. *Türk Coğrafya Dergisi*, (78), 61-74. <https://doi.org/10.17211/tcd.1016928>
- Uzun, S.M. (2023). Riva (İstanbul) Kıyılarında Doğal ve Antropojenik Etkenlerle Değişen Kıyı Çizgisinin DSAS Aracı ile Analizi, *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi* (11): 95-113. <https://doi.org/10.46453/jader.1335105>
- Uzun, M. (2024). İzmit Körfezi Doğu Kıyısındaki Doğal ve Antropojenik Kökenli Değişimlerin DSAS Aracı İle Analizi. *Türk Uzaktan Algılama Ve CBS Dergisi*, 5(1), 83-101. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1410923>
- Xu, H. (2006). Modification of Normalised difference water index NDWI to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International J.l of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033.
- Wu, Q., Miao, S., Huang, H., Guo, M., Zhang, L., Yang, L., Zhou, C. (2022). Quantitative Analysis on Coastline Changes of Yangtze River Delta based on High Spatial Resolution Remote Sensing Images. *Remote Sensing*. 14, 310. <https://doi.org/10.3390/rs14020310>
- Yasir, M., Hui, S., Hongxia, Z., Hossain, M. S., Fan, H., Zhang, L., Jixiang, Z. (2021). A Spatiotemporal Change Detection Analysis of Coastline Data in Qingdao, East China. *Scientific Programming*, 2021, 6632450. <https://doi.org/10.1155/2021/6632450>
- Yıldırım, C., (2002). Kurşunlu- Mudanya (Bursa) Arasının Kıyı Jeomorfolojisi, İstanbul Üniveritesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.