

İZMİT KÖRFEZİ SULAK ALAN KİYİSİNİN UZUN VE KISA DÖNEMLİ DEĞİŞİM SENARYOLARINA GÖRE 2033 VE 2043 YILLARI KIYI DEĞİŞİM MODELLEMESİ

COASTAL CHANGE MODELLING OF THE GULF OF IZMIT WETLAND COAST IN 2033 AND 2043 ACCORDING TO LONG AND SHORT TERM CHANGE SCENARIOS

S. Murat UZUN^{*} 

Öz

Kıyı yönetimi açısından önemli verilerin başında, kıyı çizgisinin geçmişten günümüze değişim analizi ve geleceğe dönük tahminleri bulunmaktadır. Bu kapsamda, jeomorfolojik ve antropojenik etkenlerin farklı zamanlarda çeşitli değişimlere yol açtığı İzmit Körfezi sulak alan kıyısının 1975-2023 (uzun) ve 2000-2023 (kısa) dönemlerindeki kıyı değişimlerinin DSAS aracı ile analizi, bu analizlerden üretilen senaryolara göre 2033 ve 2043 yılları kıyı çizgisinin modellenmesi çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Araştırmada 11 farklı yıla ait Landsat uydu görüntüleri üzerinden NDWI, MNDWI, WRI indisleri ile kıyı çizgileri üretilmiş, DSAS aracında yer alan NSM, SCE, EPR ve LRR istatistikleri ile analiz edilmiştir. Kantitatif ve mekânsal değişimi ortaya konan İzmit Körfezi sulak alan kıyı çizgileri, Kalman Filter modeli ile iki senaryo kapsamında 2033, 2043 yılları için tahmin edilmiştir. Çalışmada, antropojenik etkenler ile kıyıda bazı delta sahalarının yoğun erozyon ile gerilediği, Kiraz Dere deltasının önce ilerleyip son yıllarda gerilediği, bazı sahalara kıyı dolgu alanlarının yapıldığı tespit edilmiştir. Üretilen modeller, kıyıda değişimlerin devam edebileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Kıyı Çizgisi Değişimi, DSAS, Kıyı Çizgisi Modelleme, İzmit Körfezi, Sulak Alan

* Marmara Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, murat.uzun@marmara.edu.tr
ORCID: 0000-0003-2191-3936

How to cite this article/Atıf için: Uzun, M. (2025). İzmit Körfezi sulak alan kıyısının uzun ve kısa dönemli değişim senaryolarına göre 2033 ve 2043 yılları kıyı değişim modellemesi. *Öneri Dergisi*, 20(63), 226-255. DOI: 10.14783/maruoneri.1459744

Abstract

One of the most important data for coastal management is the analysis of the change of the coastline from past to present and future predictions. In this context, the aim of this study is to analyse the coastal changes of the Gulf of Izmit wetland coast, where geomorphology and anthropogenic factors have caused various changes at different times, in the periods 1975-2023 (long) and 2000-2023 (short) with the DSAS tool, and to model the coastline in 2033 and 2043 according to the scenarios produced from these analyses. In the study, coastlines were produced by NDWI, MNDWI, WRI on Landsat satellite images of 11 different years and analysed with NSM, SCE, EPR and LRR statistics in DSAS tool. The wetland shorelines of Izmit Bay, whose quantitative and spatial changes were revealed, were predicted for the years 2033 and 2043 under two scenarios with the Kalman Filter model. It has been determined that some delta areas on the coast have regressed with intense erosion due to anthropogenic factors from the past to the present, the Kiraz Dere delta has progressed first and regressed in recent years, and coastal filling areas have been built in some areas. The models produced revealed that the changes on the coast may continue.

Keywords: Shoreline Change, DSAS, Shoreline Modelling, Gulf of Izmit, Wetland

1. Giriş

Kıyılar, karasal ve denizel ortam arasında sınır oluşturan, aşınım ve birikim şeklinde jeomorfolojik oluşumları barındıran, etki alanı makro ve mikro ölçekte değişim gösteren aynı zamanda farklı ekosistemlerin etkileşim kuşağını meydana getiren sahalardır (Erinç, 2001; Bird, 2008; Turoğlu, 2009; Davidson-Arnott, 2010; Pouye vd., 2023). Jeomorfolojik unsurlardan biri olan kıyılar, litosfer ve hidrosferin kesişiminde yer alması, iklim salınımları, tektonik ve östatik hareketler ile lokal jeomorfolojik süreçlerin etkisinde diğer jeomorfolojik birimlere göre daha hızlı değişime tepki vermektedir (Turoğlu, 2017). Aynı zamanda kıyıların kendi iç dinamiğindeki morfolojik görünümün rüzgâr, dalga, flüvyal süreçler ve antropojenik faktörlerden doğrudan ve dolaylı olarak etkilenebilmektedir (Bird, 2008). Bu durumlar kıyı çizgisini değiştirmekte, bu değişim kıyıda aşınım ve birikim sahalarını oluşturmaktadır (Mukhopadhyay vd., 2018; Esmail, Mahmud & Fath, 2019; Guerrero vd., 2021).

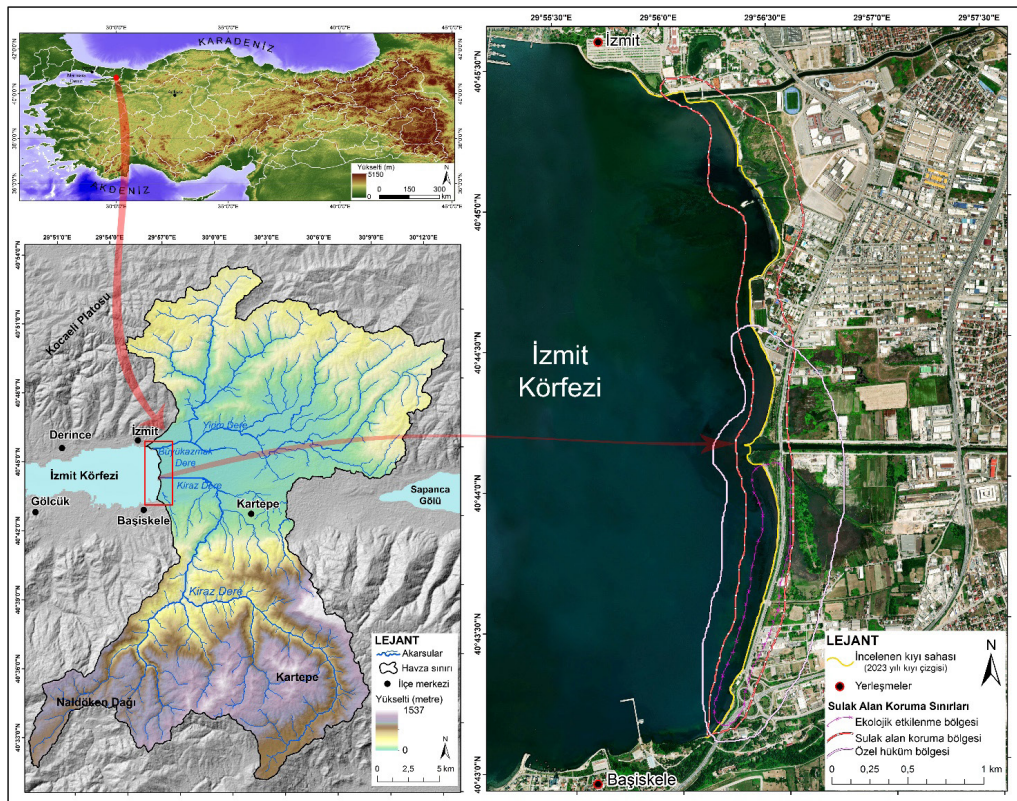
Kıyılar, jeomorfolojik olarak daima değişim içerisinde olup, bu süreç mekânsal ve zamansal açıdan farklı dönemsel döngüler şeklinde gözlemlenebilmektedir (Erinç, 1986; Erol, 1989). Bu değişimlerde, orojenik, epirojenik, östatik ve tektonik hareketlerle birlikte elemanter jeomorfolojik süreçlerin ve son birkaç yüzyıllık dönemde antropojenik faaliyetlerin etkisi vardır (Erinç, 1986). Kıyı çizgisinde meydana gelen değişimler uzun ve kısa dönemli olabileceği gibi çizgisel ve alansal olarak farklı boyutlarda da meydana gelebilmektedir (Ghoneim vd., 2015). Özellikle kıyılarının alçak ya da yüksek morfolojik görünümü ayrıca delta, lagüner ortam, abrazyon platformu, falez, kıyı oku ve diğer jeomorfolojik birimler barındırması, kıyıda doğal ve dinamik süreçlerle olan değişim etkisinin farklılaşmasına neden olmaktadır (Samra ve Ali, 2021; Akdeniz ve İnam, 2023; Grottoli vd., 2023). Ancak sanayi devrimi sonrası ve özellikle son 100 yıllık dönemde kıyılara doğrudan ve dolaylı olarak yapılan antropojenik müdahaleler, kıyı çizgisi ve diğer kıyısal birimlerin değişim yönü, boyutu ve zamansal dinamiğini etkileyerek farklılaşmalara yol açmıştır (Tarolli vd., 2019; Wu vd., 2022). Bu durum

özellikle delta ve sulak alan barındıran sahalarda farklı morfolojik görünümlere ve ekolojik değişimlere neden olmaktadır (Çelik vd., 2013, Spencer vd., 2016; Dev Roy & Trivedi, 2023; Tağıl, Alevkayalı & Aytan, 2023).

Beşeri etkenler, kıyıya dolgu alanı, liman, iskele, tersane alanı oluşturma, rekreasyon, ulaşım ve turizm amaçlı doğrudan antropojenik müdahalelerde bulunabilmektedir (Aouiche vd., 2016; Brown vd., 2017; Turoğlu, 2019; Goudie, 2020;). Özellikle deltaların bulunduğu kıyıların drenaj havzasına yapılan baraj, gölet, akarsu kanal ve ıslah çalışmaları ise dolaylı yollardan kıyıda değişimlere neden olabilmektedir (Bombino vd., 2022; Siyal vd., 2022). Günümüzde Dünya kıyı varlığının % 60'ı doğal jeomorfolojik süreçler nedeniyle kıyı erozyonuna uğramakta bu durum farklı alanlardaki kıyılarda ise birikimi oluşturmaktadır (Anthony, Vanhee, & Ruz, 2006; Murray vd., 2023). Ancak akarsuların mansap sahasına yapılan barajların siltasyonu yavaşlatıp delta ve lagüner ortamlara taşınan tortu hacmini azaltması özellikle kıyı erozyon hızını arttırmaktadır. Bu durum Dünya ve Türkiye ölçeğindeki birçok delta, sulak alan ve lagüner alanlarda kıyı gerilemesinin meydana gelmesine sebebiyet vermiştir (Darwish vd., 2017; Ataol, Kale & Tekkanat, 2019; Turoğlu & Duran, 2021). Kıyıda meydana gelen doğal dinamik süreç değişimleri ile iklim değişimi, diğer antropojenik etkenler ve çevresel bozulmalar düşünüldüğünde kıyılardaki değişimin kaçınılmaz boyutlara ulaşabileceği, nüfus, sanayi ve ulaşım varlığının büyük çoğunluğunu barından kıyı zonunda farklı risklerin meydana gelebileceği düşünülmektedir (Garipağaoğlu & Uzun, 2014; Song vd., 2021; Yasir vd., 2021). Belirtilen bütün durumlar ve kıyı değişim potansiyeli nedeniyle Dünya'da ve Türkiye'de farklı lokasyonlarda, çeşitli jeomorfolojik görünümüne sahip kıyılardaki değişimler analiz edilmektedir. Kıyı çizgisi değişim analizlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknolojileri son yıllarda oldukça etkin şekilde kullanılmaktadır (Tağıl & Cürebal, 2005; Kuleli, 2010; Uzun, 2014; Hakkou vd., 2018; Çoban, Koç & Kale, 2020; Awad & El-Sayed, 2021; Gómez-Pazo vd., 2022; Alevkayalı vd., 2023). Kıyı değişim analizlerini içeren teknolojik ürünlerden biri de Amerika Birleşik Devletler Jeoloji Araştırma Kurumu (United States Geological Survey – USGS) ürünü olan Sayısal Kıyı Çizgisi Analiz Sistemi'dir (Digital Shoreline Analysis System-DSAS). DSAS aracı içerisinde yer alan farklı istatistikler ile kıyıların zamansal değişimi mekânsal açıdan analiz edilebilmekte, kantitatif ve kartografik veriler üretilmekte ayrıca geleceğe dönük modellemeler yapabilmektedir (Kale, Ataol & Tekkanat, 2019; Kumar Das vd., 2021; Aladwani, 2022; Öztürk & Uzun, 2023). Bu özelliklerinden dolayı birçok bilimsel çalışmada DSAS analizi sıklıkla kullanılmaktadır (Lazuardi, Karim & Sugianto, 2022; Nassar vd., 2019; Ankrah, Monteiro & Madureira, 2022; Abd-Elhamid vd, 2023; Kılar, 2023; Uzun, 2023). Bu çalışmada da kıyı jeomorfolojisi açısından farklı birimleri barındıran, yoğun antropojenik baskı altında kalmış, kıyı çizgisi değişiminin zamansal olarak farklı döngülerde olduğu İzmit Körfezi sulak alan kıyısının 1975-2023 (uzun dönemli) ve 2000-2023 (kısa dönemli) periyotlarındaki kıyı çizgisi değişiminin DSAS ile analiz edilmesi ve bu iki periyottaki verilere dayanarak iki farklı senaryo kapsamında kıyı değişiminin geleceğe (2033 ve 2043 yılları) dönük modellenmesi amaçlanmıştır.

1.1. Çalışma Alanı

Çalışma sahası, Marmara Denizi'nin doğu kesiminde kara içine doğru sokulmuş olan İzmit Körfezi kıyılarının doğu sahil şeridinde bulunmaktadır. İnceleme sahası olarak İzmit Körfezi sulak alan ekolojik etkilene sahası yerine bütüncül bakış açısı ve değişim potansiyelinin geleceğe dönük etkileri düşünülerek sulak alan koruma bölgesi sahil şeridi seçilmiştir (Şekil 1). İncelenen kıyının kuzey sınırını İzmit ilçe merkezi otopark-rekreasyon alanı, güney sınırını İzmit-Başiskele ilçe idari sınırları oluşturmaktadır. Belirtilen kıyı şeridinin doğusunda İzmit-Sapanca alüvyal düzlüğü, kuzeyinde Kocaeli Platosu, güneyinde ise Samanlı Dağları kütleliyer almaktadır (Şekil 1). Sulak alan ekolojik koruma sınırının doğusunda lagüner ortam ve K-G uzanımlı İzmit sahil yolu yer alır. Daha kuzeyde, merkezi iş alanları (İzmit oto sanayi), kıyı rekreasyon sahası, alışveriş merkezi, en kuzeyde ise Kocaeli fuar alanı ve otopark sahası bulunmaktadır.



Şekil 1:Çalışmada incelenen İzmit Körfezi sulak alan kıyısının lokasyon haritası ve koruma sınırları

İzmit Körfezi sulak alan kıyı şeridi ve çevresi, KAF hattının batı uzanımındaki kuzey kolunun tektonizma faaliyetleri ile oluşmuş depresyondaki, flüvyal süreçler, östatik ve neo-tektonik hareketlerle tekrar şekillenmesi sonucu günümüzdeki jeomorfolojik görünümü almıştır (Turoğlu, 1996). Tektonik depresyon, yükselti, eğim farklılıkları ve seviye değişimleri Kuvaterner boyunca oluşan

drenaj şebekesinin erozif faaliyetleri ile kuzey ve güneyden bu sahaya malzeme taşınımı sağlamıştır (Hoşgören, 1995). İzmit Körfezi-Sapanca oluğu bu jeolojik-jeomorfolojik süreç ile sedimentasyona uğramış, bu sayede kalın bir alüvyal tortu ile kaplanmış, Flanderiyen Transgresyonu ve son deniz seviyesi ile inceleme sahası kıyısı morfolojik görüntüsüne bürünmüştür (Hoşgören, 1995; Uzun, 2021). İnceleme sahasının kuzeyindeki Kocaeli Platosunun asimetric yapısı, güneydeki Kartepe bloğunun tektonik etkenlerle daha fazla yükselmesi, kıyının drenaj havzasının kuzeye göre güneyde eğim ve yükselti açısından daha yüksek değerlere çıkmasını sağlamıştır (Tarı & Tüysüz, 2008). Belirtilen drenaj havzasındaki flüvyal jeomorfolojik süreçler erozif faaliyetlerine devam etmiş, aşındırılan malzeme kıyı ve gerisine taşınmıştır. Bu jeomorfolojik süreç kıyıda delta, lagüner ortam, plaj, sazlık-bataklık sahalarının oluşumunu sağlamıştır (Turoğlu, 1996; Uzun, 2014). Ancak kıyı, son yüz yıllık dönem içerisinde doğrudan ve dolaylı olarak yoğun antropojenik müdahaleye uğramış ve jeomorfolojik süreçlerde değişimlere yol açmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın veri setini Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1:25.000 ölçekli G23-b3, G23-c2, topografya paftaları, Amerika Birleşik Devletler Jeoloji Araştırma Kurumu (USGS – United States Geological Survey)'ndan alınan 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 ve 2023 yıllarına ait çok bantlı (multispektral) Landsat uydu görüntüleri (Tablo 1) ve arazi çalışmaları sonucu elde edilen bulgular oluşturmaktadır.

Tablo 1: Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinin özellikleri

Tarih	Uydu ve Sensör	Çözünürlük (m)	Bulutluluk (%)
17.06.1975	Landsat 2-MSS	60	2,4
10.08.1980	Landsat 2-MSS	60	1,3
27.08.1985	Landsat 5-TM	30	0
24.07.1990	Landsat 5-TM	30	0
06.07.1995	Landsat 5-TM	30	0,1
04.08.2000	Landsat 5-TM	30	0
01.07.2005	Landsat 7-ETM	30	0,2
31.07.2010	Landsat 7-ETM	30	0
14.08.2015	Landsat 8-OLI	30	0
26.07.2020	Landsat 8-OLI	30	0
04.08.2023	Landsat 9-OLI	30	0

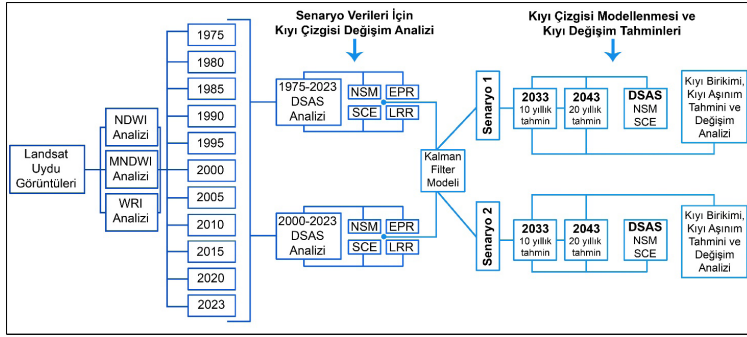
Araştırmada ilk olarak ArcGIS 10.5 yazılımında topografya paftalarından 10 m mekânsal çözünürlükte Sayısal Yükselti Modeli (SYM) oluşturulmuş daha sonra incelenen kıyı şeridinin drenaj havza sınırı belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen periyotlar içerisinde kıyı çizgisinin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. İlk olarak her bir yıla ait Landsat uydu görüntülerinin düzenlenmiş olarak temin edilen atmosferik ve radyometrik dataları kontrol edilmiş, ArcGIS 10.5 yazılımı ile multispektral görüntüler kompozit bant haline getirilmiştir. Daha sonra birleştirilmiş uydu görüntüleri

su yüzeyi görünümü bant kombinasyonuna getirilmiştir (Hu & Wang, 2020). Sonraki aşamada kıyı çizgisi verilerinin üretilmesinde uydu görüntüsü bantları için Normalize Su Farkı İndeksi (NDWI), Modifiye Edilmiş Normalize Su Farkı İndeksi (MNDWI) ve Su Oranı İndeksi (WRI) kullanılmıştır. İndeks analizlerinde aşağıdaki formüller kullanılmaktadır.

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

Formüllerde, bant 3 yeşil (P_{green}), bant 4 kırmızı (P_{red}), bant 5 yakın kızılötesi (NIR) ve bant 7 ikinci kısa dalga kızılötesi (P_{SWIR2}) kullanılarak analizler uygulanmaktadır (Tucker, 1979; Gao, 1996; McFeeters, 1996; Xu, 2006; Shen & Li, 2010). Çalışmada Landsat 2 ve 5'e NDWI, Landsat 7, 8, 9'a NDWI, MDWI ve WRI analizleri uygulanmış, en verimli su yüzeyi çıkarımı sağlayan indis belirtilen tarih kıyı çizgisi üretiminde kullanılmıştır. NDWI, MDWI ve WRI analiz sonuçları daima 1 ile -1 arasında değer almaktadır. Araştırma sahasının batimetrik derinliğinin sığ oluşu, kıyı bitki durumu ve yapılaşma sahaları göz önünde bulundurularak 0,1 değerinden daha yüksek değeri içeren piksel yüzeyleri su varlığı olarak kabul edilmiştir (Singh vd., 2015). Belirtilen piksel hesaplamaları üzerinden daha sonra eşik analizi yöntemi ile otomatik kıyı çizgisi çıkarımı sağlanmıştır (Hossain vd., 2021). Su-kara ayrımı ve kıyı çizgisi belirlenmesindeki verimlilik ve doğruluk belirlemede incelenen kıyının 187 noktası üzerinden su yüzeyi kompozisyonundaki uydu görüntüsü ile su indis verisinin karşılaştırmalı doğruluk analiz yapılmıştır (Tablo 2). Her yıla ait kıyı çizgisi belirlenen yöntemlerle ortaya konmuştur (Şekil 2). Kıyı çizgisinin uzunluğu ile kıyıda meydana gelen değişimin çizgisel durumunun saptanması için kıyı girinti-çıkıntı oranı da hesaplanmıştır. Kıyı girinti-çıkıntı oranı, kıyı çizgisi uzunluğunun (Lmc), kıyı kuş uçuşu uzunluğuna (La) bölünmesi ile elde edilir (Uzun, 2021). Sonuçların 1'e yakın çıkması girinti-çıkıntının az olduğunu, sonuçların 1'den daha yüksek çıkması ise girinti çıkıntı oranının yüksek olduğunu gösterir. Kıyı çizgisi uzunluğu ve kıyı girinti çıkıntı oranı senaryolara göre tahmin edilen kıyı çizgileri ile karşılaştırmada kullanılmış, kıyı meydana gelecek değişimlerdeki doğal ve antropojenik etkenler ile kıyının morfolojik görünümündeki değişimler ilişkilendirilmiştir.

Çalışmada kıyı çizgisi değişimlerinin mekânsal ve istatistiksel analizinde Sayısal Kıyı Çizgisi Analizi Sistemi (DSAS – Digital Shoreline Analysis System) kullanılmıştır. USGS yapımı olan ve ArcGIS 10.5 yazılımına eklenti olarak kullanılabilen sistem, zamansal olarak farklı kıyı çizgilerinin, temel değişim çizgisi (baseline) üzerinden profil hatlarındaki (transect) keşişim noktaları ile mesafe ölçümleri yapar ve kantitatif değerler ortaya koyar (Himmelstoss vd., 2018). Çalışmada, DSAS sistemi içerisinde yer alan Son Nokta Oranı (EPR-End Point Rate), Net Kıyı Çizgisi Hareketi (NSM-Net Shoreline Movement), Kıyı Çizgisi Değişim Limiti (SCE-Shoreline Change Envelope) ve Doğrusal Regresyon Oranı (LRR-Linear Regression Rate) istatistikleri kullanılmıştır.



Şekil 2: Çalışmanın iş-akış şeması

NSM analizi, incelenen zaman aralığında tespit edilen eski ve yeni kıyı çizgilerinin temel çizgi üzerinden mesafesini analiz etmektedir (Himmelstoss vd., 2018; Kılar & Çiçek, 2018). EPR analizi, araştırma zamansal ölçeği kapsamındaki eski ve yeni kıyı çizgisi değişim mesafesinin zamana bölünmesi ile hesaplanmaktadır (Öztürk & Uzun, 2023). EPR istatistiği sonuçları kıyı aşınım ve birikim miktarını yıllık olarak açıklamakta kullanılır (Himmelstoss vd., 2018). SCE analizi, kıyı çizgileri arasındaki belirli bir ölçüm hattı üzerinden zamansal olarak tüm kıyı şeritleri arasındaki en büyük değişim mesafesini açıklamakta kullanılır (Himmelstoss vd., 2018). Zamansal olarak iki kıyı şeridi arasındaki toplam mesafenin işareti belirsiz olduğundan, SCE değeri her zaman pozitifdir. LRR, belli bir ölçüm profil hattındaki bütün kıyı şeritlerinin zamana bölünmesi ile hesaplanır (Himmelstoss vd., 2018). LRR doğrusal bir trend oraya koyar, belirsizlik değerini de ele alarak kıyı çizgisi değişiminde hatayı en aza indirmeyi sağlar (Baig vd., 2020).

Araştırmada DSAS analizleri (NSM, SCE, EPR ve LRR) 1975-2023 yılları arasındaki 11 farklı kıyı çizgisinin ve 2000-2023 yılları arasındaki 6 farklı kıyı çizgisinin olduğu iki farklı periyoda uygulanmıştır. Belirtilen 48 ve son 23 yıllık iki farklı periyodun DSAS ile ayrı ayrı analiz edilmesinin nedeni, kıyı çizgisinin geleceğe dönük modellemesinde uzun ve kısa, yakın dönemli değişimlerin temel alınması oluşturmaktadır (Şekil 2). Böylece kıyıda jeomorfolojik süreçlerin ve kıyı çizgisi değişiminin zamansal eğilim durumu, kıyıya yapılan doğrudan ve dolaylı antropojenik müdahalelerin geleceğe dönük etki parametresi modellemede ele alınmıştır. Çalışmada, DSAS analizinde baseline (temel çizgi) en eski kıyı çizgisi tarihi temel alınarak deniz tarafında tutulmuş ve başlangıç noktası güney seçilerek kara tarafı sistem içerisinde baseline için sağ taraf olarak işaretlenmiştir. Böylece kıyı çizgisi değişimlerinin profili verisi deniz tarafında kalacak bir görünüm verisi oluşturulması amaçlanmıştır. DSAS analiz sisteminde transect aralığı detaylı inceleme için 5 m olarak ele alınmıştır.

İzmit Körfezi sulak alan kıyısının modellenmesinde DSAS içerisinde yer alan Beta özelliği ve Kalman Filter modeli kullanılmıştır. Geleceğe dönük modelleme, Senaryo 1'de 1975-2023 yılları arasındaki değişim temel alınarak 2033 (10 yıllık) ve 2043 (20 yıllık) yıllarına ait kıyı çizgisi tahmin verisinden oluşur. Senaryo 2'de ise 2000-2023 yılları arasındaki değişim temel alınarak 2033 (10 yıllık) ve 2043 (20 yıllık) yıllarına ait kıyı çizgisi tahmin verisi bulunmaktadır.

Kalman Filter Modeli, ilk incelenen kıyı şeridi ile başlar, daha sonra her bir kıyı şeridi kesişiminde öngörüler ortaya konur (Himmelstoss vd., 2018). Model sistematığındaki tahmin süreçlerinde profil hattı içerisindeki farklı zamanlara ait her kıyı şeridi için uygulanır ve gözlemlenen kıyı şeridi konumları arasındaki hatayı en aza indirecek, oran ve belirsizliklerin güncellenmesi de dahil olmak üzere bir analiz gerçekleştirir. (Long & Plant, 2012). Model, DSAS içerisindeki birçok analizi, değişimi ele alır, doğrusal regresyonun eğilim trendinin aksine zamansal değişimlere göre tahmin modellemesi yapar ve kıyı şeridinin geçmiş kantitatif ve mekânsal verilerinden 10 ve 20 yıllık öngörüler ortaya koyar (Palanisamy vd., 2024). Kıyıların çok değişkenli yapısı, zamansal ve mekânsal olarak değişim hızı ile herhangi bir jeomorfolojik ya da antropojenik süreçle değişme ihtimalinin varlığı, kıyı tahminlerinde %100 olasılık kavramının kullanılmaması gerekliliğini ortaya koyar. Bu nedenle çalışmada modellenen kıyı şeritleri geçmiş bulguların farklı senaryoları üzerinden geleceğe dönük öngörülerini içermektedir. Ayrıca farklı senaryoların uygulanması çalışma içerisinde de bilimsel olarak kıyı şeridi modellemesinin tartışılması ve gerçekleşme olasılığının irdelenmesine de olanak sağlamaktadır. Çalışmada her bir senaryo kapsamındaki 10 ve 20 yıllık model 2023 yılı temel alınarak tekrar NSM, SCE ve EPR istatistikleri ile analiz edilmiştir. Böylece İzmit Körfezi sulak alan kıyısında geleceğe dönük kıyı çizgisi tahminlerinin kantitatif ve mekânsal değişim verileri de incelenmiştir.

Tablo 2: Uydu görüntülerine uygulanan su indisleri ile kıyı çizgisi çıkarımının doğruluk analizleri

Tarih	Uydu ve Sensör	İndis	Doğru Kontrol Noktası	Hatalı Kontrol Noktası	Doğruluk Oranı (%)
17.06.1975	Landsat 2-MSS	NDWI	160	27	85,6
10.08.1980	Landsat 2-MSS	NDWI	161	26	86,1
27.08.1985	Landsat 5-TM	NDWI	172	15	92
24.07.1990	Landsat 5-TM	NDWI	174	13	93
06.07.1995	Landsat 5-TM	NDWI	174	13	93
04.08.2000	Landsat 5-TM	NDWI	177	10	94,6
01.07.2005	Landsat 7-ETM	NDWI	179	8	95,7
31.07.2010	Landsat 7-ETM	WRI	178	9	95,1
14.08.2015	Landsat 8-OLI	MNDWI	180	7	96,2
26.07.2020	Landsat 8-OLI	MNDWI	184	3	98,3
04.08.2023	Landsat 9-OLI	MNDWI	183	4	97,8

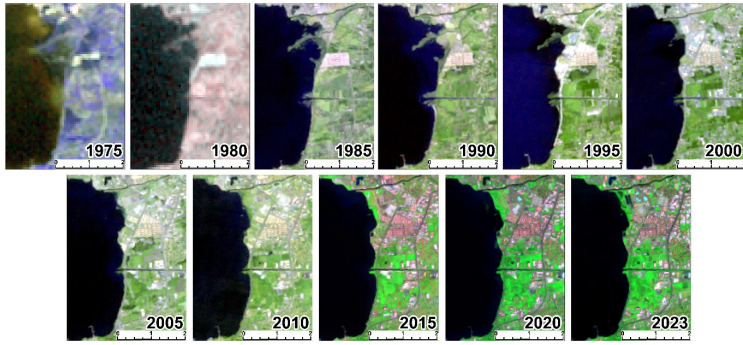
Çalışmada İzmit Körfezi sulak alan kıyısının 1975-2023, 2000-2023 arasındaki değişim analizleri ve 2023-2033 ile 2023-2043 yılları arası tahmin verileri ArcGIS, geoprocessing-union özelliği kullanılarak vektörel formatta alansal analiz verisi haline dönüştürülmüştür. Böylece kıyı erozyonu ve kıyı birikim alanları da analiz edilmiştir.

3. Bulgular

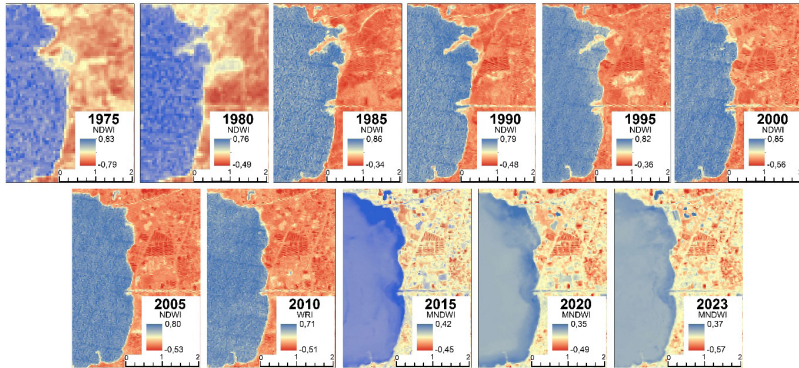
3.1. İzmit Körfezi Sulak Alan Kıyısının 1975-2023 ve 2000-2023 Yılları Arasındaki Değişim Analizi

İzmit Körfezi sulak alan kıyı çizgisi ve kıyı alanı değişimin saptanması için incelenen yıllara ait Landsat uydu görüntüleri, su yüzeyi kapsamındaki bant kombinasyonlarına (Su yüzeyi bant kombinasyonları Landsat 2 ve 5 için Red, Green 5, Blue 2, Landsat 7, 8 ve 9 için Red 7, Green 5, Blue 3)

getirilmiştir (Şekil 3). Daha sonra incelenen yıllardaki uydu görüntüleri NDWI, MNDWI ve WRI analizlerine tabi tutulmuştur (Şekil 4). Uydu görüntüleri analiz verileri, İzmit Körfezi sulak alan kıyısının kuzeyinde delta sahasının kıyı erozyonuna uğradığını, güneyde ise Kiraz Dere Deltası'nın genişlediğini, 2000 yılı itibari ile genişlemenin zayıfladığı ve delta gerilmesinin olduğunu mekânsal olarak göstermektedir (Şekil 3 ve 4). Aynı zamanda kuzey kesimde Kocaeli Fuar alanı düzenleme ve eklenti çalışmaları kapsamında kanal ağı ve kıyı şeridinde antropojenik faaliyetlerle kıyı değişimin olduğu uydu görüntülerinden anlaşılmaktadır. Başiskele-Kiraz Dere Deltası arasındaki İzmit Körfezi sulak alan ekolojik etkilenme bölgesinde değişim durumunun daha mikro ölçekte olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3 ve 4).



Şekil 3: İzmit Körfezi sulak alan kıyısı ve çevresinin yıllara göre Landsat uydu görüntüleri (Su yüzeyi bant kombinasyonları Landsat 2 ve 5 için Red 7, Green 5, Blue 2, Landsat 7, 8 ve 9 için Red 7, Green 5, Blue 3 şeklindedir)

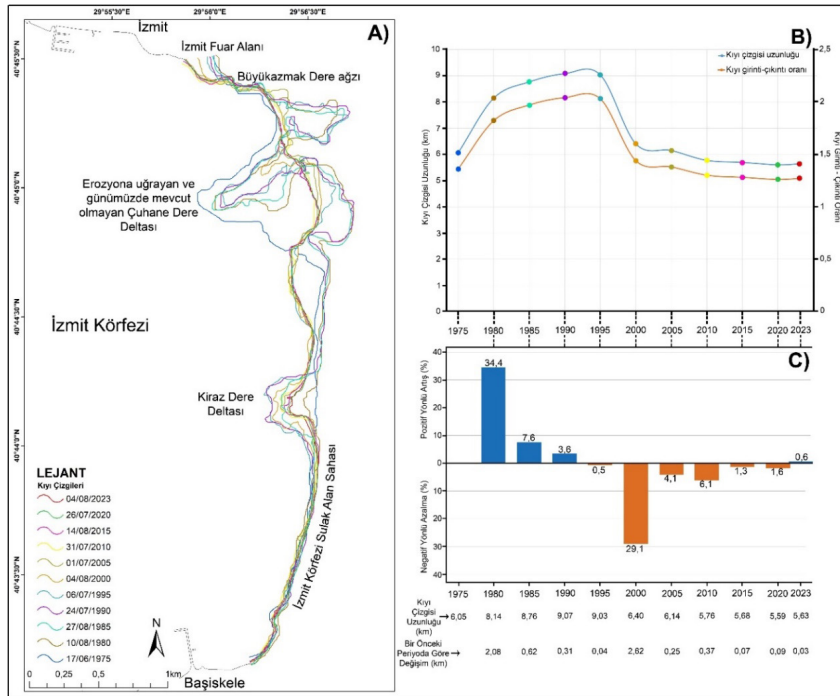


Şekil 4: İzmit Körfezi sulak alan kıyısının incelenen yıllara göre NDWI, MNDWI ve WRI analizleri

İzmit Körfezi sulak alan kıyılarında 1975-2023 yılları arası dönemde kıyı çizgisi uzunluklarında da değişimler yaşanmıştır. 1975 yılında 6,05 km olan kıyı çizgisi uzunluğu, 1980'de 8,14 km, 1985'de 8,76 km, 1990'da 9,07 km, 1995'de 9,03 km, 2000'de 6,40 km, 2005'de 6,14 km, 2010'da 5,76 km, 2015'de 5,68 km, 2020'de 5,5 km ve 2023'de 5,63 km olarak ölçülmüştür (Şekil 5). Kıyıda morfolojik değişimin daha belirgin ortaya konması amacıyla kıyı girinti-çıkıntı oranları analiz edilmiştir.

İzmit Körfezi sulak alan kıyısının girinti çıkıntı oranı 1975 yılında 1,36 iken, 1980'de 1,82, 1985'de 1,97, 1990'da 2,04, 1995'de 2,03, 2000'de 1,44, 2005'de 1,38, 2010'da 1,3, 2015'de 1,28, 2020'de 1,26 ve 2023'de 1,27 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5).

Kıyı çizgisi uzunluğunun bir önceki periyoda göre değişimi incelendiğinde, 1980 yılından 1990 yılına kadar pozitif, 1995 yılından 2020 yılına kadar negatif yönlü değişimler yaşanmıştır. Bir önceki döneme göre 1980 yılında kıyı çizgisi uzunluğunda % 34,4 artış meydana gelmiş, 2000 yılında ise bir önceki döneme göre % 29,1'lik azalma yaşanmıştır (Şekil 5). Özellikle Çuhane Dere deltasının kıyı erozyonuna uğraması ve jeomorfolojik olarak kıyıdaki mevcudiyetinin ortadan kalkması kıyının daha düz (K-G doğrultusunda) morfolojik görünüm almasına neden olmuştur.



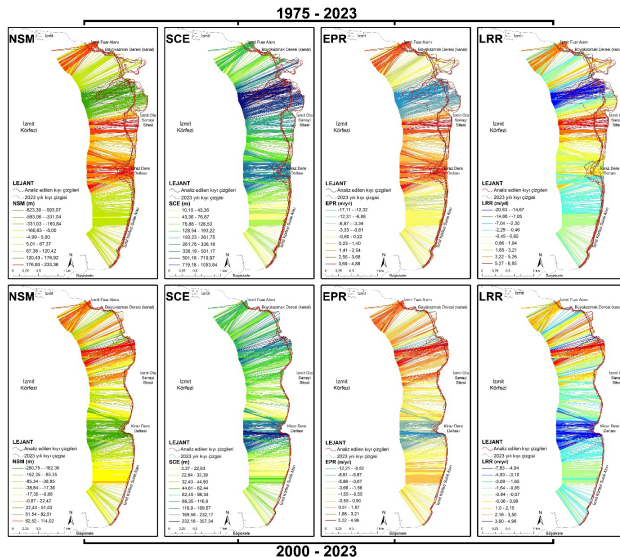
Şekil 5: A) İzmit Körfezi sulak alan kıyısının incelenen tarihlerdeki kıyı çizgileri B) Zamansal olarak kıyı çizgisi uzunluğu ve kıyı girinti-çıkıntı oranı grafiği C) Bir önceki inceleme periyoduna göre kıyı değişim oranı ve yönü

Araştırma sahasının kıyı çizgisi değişimi, meydana gelen jeomorfolojik süreçler ve antropojenik etkiler neticesinde dönemsel olarak farklı morfolojik görünümler göstermektedir. Bu durum gerek kıyı çizgisi değişim analizlerinde gerekse de kıyı çizgisinin modellenmesinde belli dönemlerin temel alınmasını ve verilerin üretilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu sebepten dolayı İzmit Körfezi sulak alan kıyısının DSAS aracı ile kıyı çizgisi değişim analizi 1975-2023 (48 yıllık uzun dönem) ve 2000-2023 (23 yıllık kısa dönem) periyotları olarak iki farklı zamansal ayırmada incelenmiştir (Tablo 3 ve Şekil 6).

İzmit Körfezi sulak alan kıyısında 1975-2023 yılları arasında NSM analizine göre ortalama - 55,97 m, maksimum 233,66 m ve minimum - 823,39 m'lik kıyı değişimleri saptanmıştır (Tablo 3). Özellikle erozyona uğrayan ve günümüzde mevcut olmayan Çuhane Deresi deltasındaki değişim uzun dönemli analizde ortalama kıyı değişim yönünün kıyı erozyonu şeklinde olmasına neden olmuştur (Şekil 6). SCE analizine göre 1975-2023 yılları arasındaki periyotta İzmit Körfezi sulak alan kıyısında ortalama 262,92 m, maksimum 1053,84 m ve minimum 10,15 m'lik kıyı değişimleri saptanmıştır (Tablo 3). Kıyının toplam değişim verisini ortaya koyan SCE verilerine göre en uzun mesafeli değişim kıyı erozyonuna uğrayan Çuhane Deresi deltası ve kıyı ilerlemesinin görüldüğü Kiraz Dere deltasında saptanmıştır (Şekil 6). EPR analiz yöntemine göre İzmit Körfezi sulak alan kıyısında ortalama - 1,11 m/yıl, maksimum 4,88 m/yıl ve minimum - 17,11 m/yıl değişim verisi hesaplanmıştır (Tablo 3). EPR analizine göre Çuhane Dere deltasındaki kıyı erozyonu maksimum düzeyde yıllık 17 metrelik gerilemenin olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 6). Yine EPR yöntemine göre Kiraz Dere deltasında yıllık 4 metrelik kıyı ilerlemesi olduğu anlaşılmaktadır. LRR analiz yöntemine göre İzmit Körfezi sulak alan kıyısında ortalama - 0,6 m/yıl, maksimum 6,85 m/yıl ve minimum - 20,63 m/yıllık kıyı çizgisi değişimi tespit edilmiştir (Tablo 3). En yüksek değişimin, günümüzde mevcut olmayan Çuhane Dere deltasında GB-KD doğrultusunda yıllık 20 metrelik kıyı aşınımı şeklinde gerçekleştiği görülmektedir.

Tablo 3: İncelenen dönemlere göre İzmit Körfezi sulak alan kıyı çizgisi değişimlerinin DSAS analizi sonuçları

	1975-2023 (48 Yıllık Uzun Dönem)			2000-2023 (23 Yıllık Kısa Dönem)		
	Ortalama	Maksimum	Minimum	Ortalama	Maksimum	Minimum
NSM	-55,97	233,66	-823,39	NSM	-22,48	114,02
SCE	262,92	1053,84	10,15	SCE	66,67	357,34
EPR	-1,11	4,88	-17,11	EPR	-0,97	4,96
LRR	-0,6	6,85	-20,63	LRR	-0,72	4,98



Şekil 6: İncelenen dönemlerde İzmit Körfezi sulak alan kıyısının DSAS analiz sonuçları dağılışı

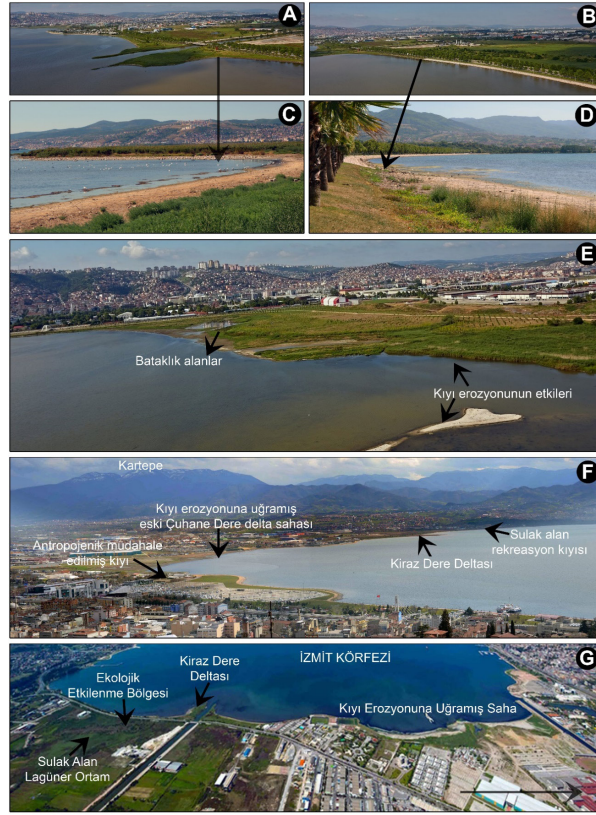


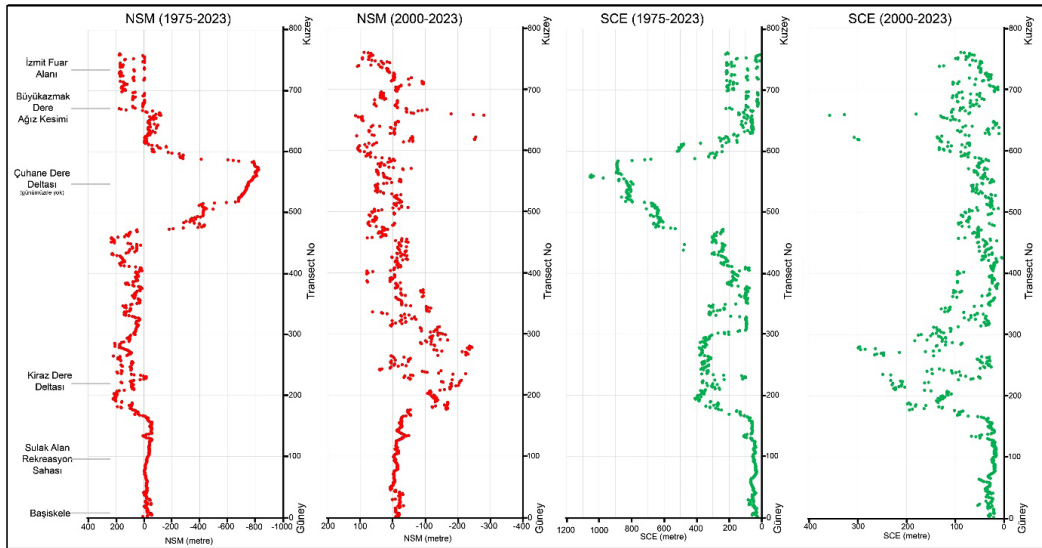
Foto 1: A) Kiraz Dere deltası B) sulak alan ekolojik etkilenme bölgesi C) Kiraz Dere deltası güney kıyıları D) sulak alan kıyısına yapılmış antropojenik müdahale E) kıyı erozyonuna uğramış ve günümüzde mevcut olmayan Çuhane Dere deltası kalıntıları ve kıyının morfolojik görünümü (tripinview.com) F) İzmit Körfezi sulak alan kıyısı koruma bölgesine kuzeybatıdan bakış G) İzmit Körfezi sulak alan kıyısının doğu yönünden görünümü (Kocaeli B.B arşivi)

İzmit Körfezi sulak alan kıyısının 2000-2023 yılları arasındaki kıyı değişimi NSM analizi verilerine göre ortalama $-22,48$ m, maksimum $114,02$ m ve minimum $-280,75$ m şeklinde verilerle gerçekleşmiştir (Tablo 3). Bu dönemde özellikle çok dar alanlı kara parçası kalan Çuhane Dere deltası ile Kiraz Dere deltasında 200 metrenin üzerinde kıyı erozyonunun olduğu görülmektedir (Şekil 6). SCE analiz yöntemine göre 2000-2023 yılları arasında İzmit Körfezi sulak alan kıyısında ortalama $66,67$ m, maksimum $357,34$ m ve minimum $3,3$ m'lik kıyı değişimleri olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. SCE verilerinin mekânsal analizi incelendiğinde 2000-2023 yılları arasındaki periyotta İzmit Körfezi sulak alan kıyısının güney kesiminde değişimin çok düşük boyutta olduğu Kiraz Dere ve Çuhane Dere deltalarında kıyı erozyonu şeklinde büyük boyutlu değişimlerin yaşandığı görülmektedir (Şekil 6). EPR analiz yöntemine göre İzmit Körfezi sulak alan kıyısında ortalama $-0,97$ m/yıl, maksimum $4,96$ m/yıl ve minimum $-12,21$ m/yıllık değişim verisi tespit edilmiştir. Bu dönemde incelenen

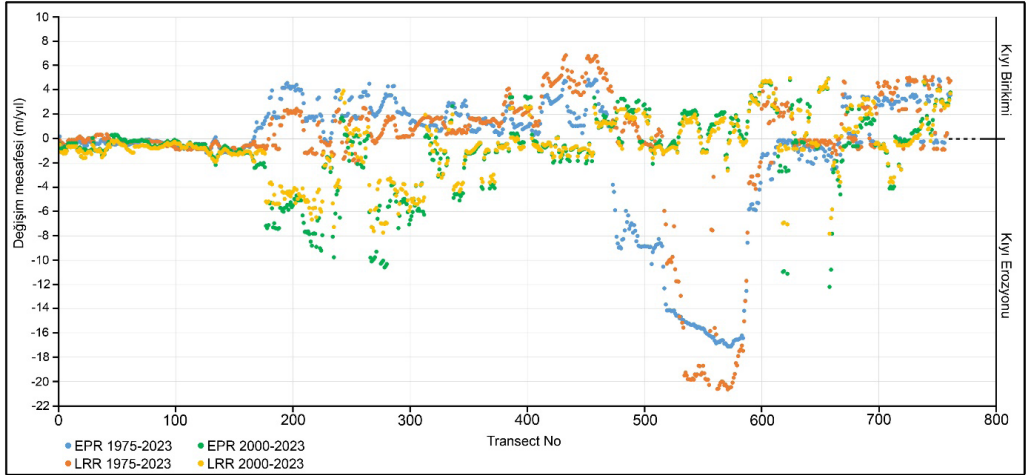
kıyı şeridinde Kiraz Dere ve Çuhane Dere deltasında yıllık 10 metrenin üzerinde kıyı erozyonu görülürken, kıyı şeridinin kuzeyinde kıyı ilerlemesinin muhtelif alan dışında daha yoğun olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 6). LRR analizine göre İzmit Körfezi sulak alan kıyısında ortalama $-0,72$ m/yıl, maksimum $4,98$ m/yıl ve minimum $-7,83$ m/yıllık kıyı değişimi saptanmıştır. Özellikle EPR ve LRR ortalama değerleri 23 yıllık dönemde kıyıdaki muhtelif alanlar dışında (Kiraz Dere ve Çuhane Dere deltası) kıyı çizgisi değişiminin çok yavaş ve durağan olduğunu ortaya koymaktadır.

NSM analiz yöntemi kapsamında 1975-2023 yılları arasındaki periyot ile 2000-2023 yılları arasındaki periyot karşılaştırılarak incelendiğinde, uzun dönemde en büyük değişimin İzmit Körfez sulak alan kıyısının kuzeyinde kıyı gerilmesi şeklinde olduğu görülmektedir (Şekil 7). Bu dönemde -800 m seviyesinde kıyı çizgisinin gerilediği Çuhane Dere delta sahasında son 23 yıllık dönemde değişimin boyutu daha düşük seviyede kalmıştır. NSM analizine göre 2000-2023 yılları arasında, uzun dönemde kıyı ilerlemesinin görüldüğü Kiraz Dere deltasında belirgin kıyı erozyonu yaşanmıştır. Diğer taraftan bu dönemde kıyının kuzeyinde daha düşük mesafelerde kıyı ilerlemesi, güney kesimde ise kıyı aşınımı yaşandığı tespit edilmiştir (Şekil 7).

SCE analizine göre 1975-2023 yılları arasındaki uzun dönemde, İzmit Körfezi sulak alan kıyısı güneyinde değişimin çok düşük seviyede olduğu görülürken, Çuhane Dere deltasında 1000 m, Kiraz Dere deltasında 400 m mesafesinde kıyı çizgisi değişimi yaşanmıştır (Şekil 7, Foto 1). İzmit Körfezi sulak alan kıyısında 1975-2023 yılları arasındaki dönemde EPR ve LRR istatistiklerinde yıllık ortalama kıyı değişim yönünün kıyı gerilemesi şeklinde olduğu ve son 23 yıllık döneme göre daha hızlı olduğu görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 7: İncelenen dönemlerde İzmit Körfezi sulak alan kıyısının NSM ve SCE analizlerine göre değişim verileri



Şekil 8: İncelenen dönemlerde İzmit Körfezi sulak alan kıyısının EPR ve LRR analizlerine göre değişim verileri

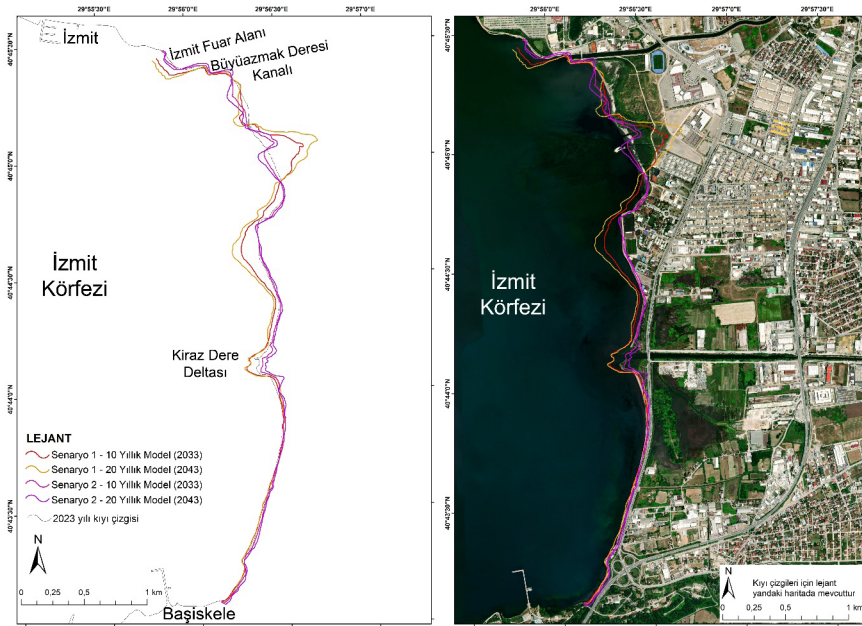
3.2. İzmit Körfezi Sulak Alan Kıyısının Geleceğe (2033 ve 2043) Dönük Modellenmesi

İzmit Körfezi sulak alan kıyısında, 2033 (10 yıllık model) ve 2043 (20 yıllık model) yılları kapsamında iki farklı senaryo üzerinden kıyı çizgisi değişimi tahmin edilmiştir. Senaryo 1 kapsamında 1975-2023 yıllarındaki kıyı çizgisi değişim verileri, senaryo 2 kapsamında 2000-2023 yılları arasındaki kıyı çizgisi değişim verileri temel alınmış, DSAS aracı Beta özelliğindeki Kalman Filter modeli ile geleceğe dönük kıyı çizgisi projeksiyonları oluşturulmuştur (Şekil 9).

İzmit Körfezi sulak alan kıyısının senaryo 1 kapsamında 2033 (10 yıllık model) yılı kıyı çizgisi modellemesi incelendiğinde, kıyı çizgisinin güney kesiminde değişim oranının az olduğu, Kiraz Dere deltasında ilerleme, Büyükazmak Dere ağız kesimi güneyinde ise kıyı çizgisinde gerileme olduğu görülmektedir (Şekil 9 ve 10). Senaryo 1 kapsamındaki 10 yıllık modelde kıyı çizgisi uzunluğunun 2023 yılına göre % 9,8 artarak (0,55 km artışla) 6,18 km olacağı öngörülmektedir. Ayrıca 10 yıllık modelde kıyı girinti çıkıntı oranı 1,39 olarak hesaplanmıştır. Senaryo 1 kapsamında İzmit Körfezi sulak alan kıyısının 2043 (20 yıllık model) yılı kıyı çizgisi modeline göre Büyükazmak Dere – eski Çuhane Dere yatağı arasında kıyının yüksek değerlerde gerileyeceği, bu alandan Kiraz Dere deltasına kadar kıyı çizgisinin ilerleyeceği, sulak alan ekolojik etkilenme bölgesinde ise stabil morfolojik süreç oluşacağı tahmin edilmiştir (Şekil 9 ve 10). Senaryo 1 kapsamındaki 20 yıllık modelde kıyı çizgisi uzunluğunun 2023 yılına göre % 19,9 artarak (1,12 km artışla) 6,76 km olacağı öngörülmektedir. Ayrıca 20 yıllık modelde kıyı girinti çıkıntı oranı 1,52 olarak hesaplanmıştır. Senaryolara göre kıyı çizgilerinin model verileri 1975-2023 arasındaki trend ve 2023 yılı kıyı çizgisi ile karşılaştırıldığında eğilimin aksine kıyı çizgisi uzunluğu ve kıyı girinti çıkıntı oranının yükseleceği öngörülmektedir.

İzmit Körfezi sulak alan kıyısının senaryo 2 kapsamında 2033 (10 yıllık model) yılı kıyı çizgisi modellemesi incelendiğinde, kıyı çizgisinin oldukça durağan değişim sürecinde olacağı tahmin

edilmiştir. Bu dönemde Kiraz Dere deltasında kıyı çizgisi gerilemesi, Büyükazmak Dere ağız kısmı ve güneyinde ise kıyı ilerlemesinin olacağı modellenen öngörülmektedir (Şekil 9 ve 10). Senaryo 2 kapsamındaki 10 yıllık modelde kıyı çizgisi uzunluğunun 2023 yılına göre % 2,6 artarak (0,14 km artışla) 5,78 km olacağı öngörülmektedir. Ayrıca 10 yıllık modelde kıyı girinti çıkıntı oranı 1,3 olarak hesaplanmıştır. İzmit Körfezi sulak alan kıyısının senaryo 2 kapsamında 2043 (20 yıllık model) yılı kıyı çizgisi modeli incelendiğinde, kıyı çizgisinin 2033 yılı tahmininde olduğu gibi durağan değişim sürecinde olacağı görülmektedir. Bu dönemde Kiraz Dere deltasında kıyı çizgisi gerilemesi, Büyükazmak Dere ağız kısmı ve güneyinde ise kıyı ilerlemesinin olacağı modellenen anlaşılmaktadır (Şekil 9 ve 10). Senaryo 2 kapsamındaki 20 yıllık modelde kıyı çizgisi uzunluğunun 2023 yılına göre % 28 artarak (0,47 km artışla) 6,11 km olacağı öngörülmektedir. Ayrıca 20 yıllık modelde kıyı girinti çıkıntı oranı 1,37 olarak hesaplanmıştır.

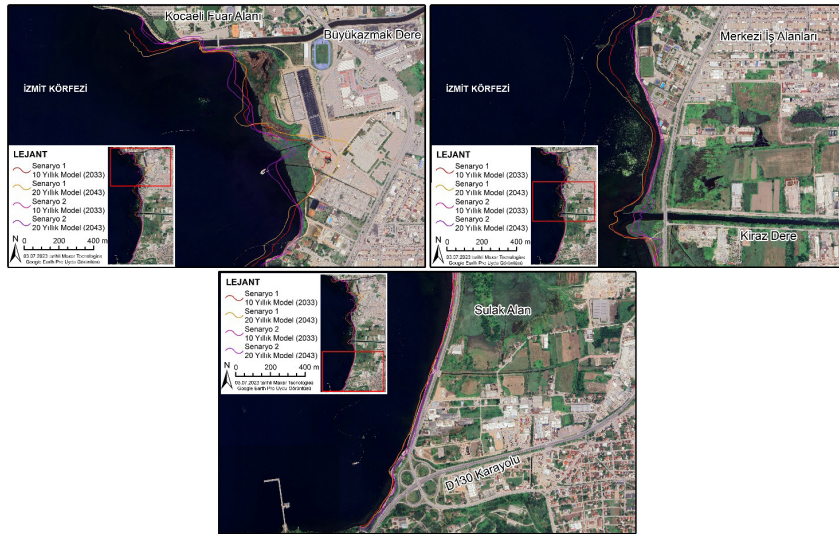


Şekil 9: İzmit Körfezi sulak alan kıyı çizgisinin senaryo 1 ve 2 kapsamında 2033 ve 2043 yılı model sonuçları

İzmit Körfezi sulak alan kıyısının senaryo 1 kapsamında 10 ve 20 yıllık modellerindeki kıyı çizgisi değişiminin oluşmasında 1975-2023 yılları (uzun dönem) arasındaki değişim süreci ve kantitatif verilerinin ele alınması rol oynamıştır. Bu nedenle senaryo 1 kapsamında 10 ve 20 yıllık projeksiyonlarda eski Çuhane Dere deltasının kara tarafında kıyı gerilemesinin boyutu, Kiraz Dere deltasında ise kıyı ilerlemesinin boyutu oldukça fazladır (Şekil 10). Ancak senaryo 2 kapsamında 10 ve 20 modeller için temel veri kaynağı kısa ve yakın dönemi içine alan 2000-2023 yılları arasındaki kıyı çizgisi değişimleridir. Senaryo 1'in aksine senaryo 2 modellerinde Kiraz Dere deltasında gerilme, Büyükazmak Dere ağız kısmı güneyinde ise dar alanlı ilerleme olacağı öngörülmüştür (Şekil 10). Her iki senaryo ve 4 farklı model verisinde kıyı çizgisinin belli alanlarda beşerî faaliyet sahalarına doğru

değişebileceği ve sulak alan ekosisteminde jeomorfolojik, hidrografik ve ekolojik değişimlerin kaçınılmaz olacağı tahmin edilmektedir.

İzmit Körfezi sulak alan kıyısının senaryo 1 ve 2 kapsamındaki 2033 ve 2043 yılı tahmini kıyı çizgileri DSAS aracında yer alan NSM, SCE ve EPR istatistikleri ile analiz edilmiştir (Şekil 11). Senaryo 1-10 yıllık model (2023-2033) kapsamında kıyı çizgisinin NSM analizine göre ortalama 16,98 m, maksimum 142,12 m ve minimum - 273,5 m değişeceği öngörülmektedir. En yüksek kıyı gerilmesi Büyükazmak Dere güneyinde, en yüksek kıyı ilerlemesi Kiraz Dere deltası kuzeyinde olacağı tespit edilmiştir (Şekil 11). Senaryo 1-10 yıllık model (2023-2033) kapsamında kıyı çizgisinin SCE analizine göre ortalama 53,32 m, maksimum 273,5 m ve minimum 0,04 m olarak değişeceği tahmin edilmiştir. Değişim alanlarının öngörüsü NSM analizi mekânsal verileri ile benzerlik göstermektedir. Senaryo 1 kapsamındaki 10 yıllık model verileri EPR analizine göre ortalama 1,69 m/yıl, maksimum 14,21 m/yıl ve minimum - 27,35 m/yıllık kıyı çizgisi değişiminin yaşanacağını ortaya koymaktadır. Bu veriler inceleme kıyısında senaryo 1 için temel alınan 1975-2023 yılları arasındaki EPR kıyı çizgisi değişim verisi ortalamasının (-1,11 m/yıl) üzerindedir. Ayrıca geçmiş dönemli verilerin ortalamasında kıyı gerilemesinin varlığı söz konusu iken geleceğe dönük modelde kıyı çizgisi değişim yönünün ortalama kapsamda kıyı ilerlemesi sürecine dönüşeceği tahmin edilmiştir.

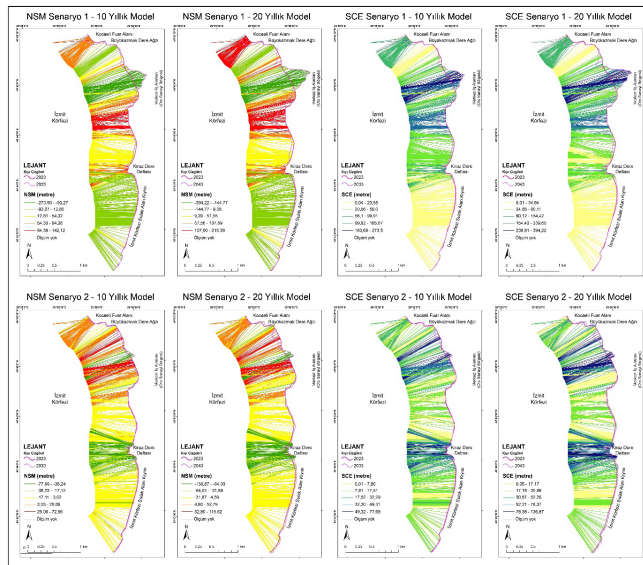


Şekil 10: İzmit Körfezi sulak alan kıyı çizgisi senaryolara göre gelecek tahminleri

Senaryo 1-20 yıllık model (2023-2043) kapsamında kıyı çizgisinin NSM analizine göre ortalama 21,2 m, maksimum 215,39 m ve minimum - 394,22 m değişeceği öngörülmektedir. Bu dönemde kıyı ilerlemesinin Kiraz Dere deltası ile kuzey kesimi ve Kocaeli Fuar Alanı kıyısında olacağı, kıyı gerilemesinin ise eski Büyükazmak Dere ve güneyi ile sulak alan kıyısında olacağı tahmin edilmiştir (Şekil 11). Senaryo 1-20 yıllık model (2023-2043) kapsamında kıyı çizgisinin SCE analizine göre ortalama 78,07 m, maksimum 394,22 m ve minimum 0,01 m olarak değişeceği tahmin edilmiştir.

Değişim alanlarının tahmini NSM analizi mekânsal verileri ile benzerlik göstermektedir. Senaryo 1 kapsamındaki 20 yıllık model verileri EPR analizine göre ortalama 1,06 m/yıl, maksimum 10,77 m/yıl ve minimum - 19,71 m/yıllık kıyı çizgisi değişiminin yaşanacağını ortaya koymaktadır. Bu veriler inceleme kıyısında senaryo 1 için temel alınan 1975-2023 yılları arasındaki EPR kıyı çizgisi değişim verisi ortalamasına (-1,11 m/yıl) paralellik göstermektedir. 20 yıl sonraki geleceği öngören veride, geçmiş dönemli veriye göre kıyı değişim yönünün pozitif olarak kıyı ilerlemesi şeklinde olacağı tahmin etmektedir.

Senaryo 2-10 yıllık model (2023-2033) kapsamında kıyı çizgisinin NSM analizine göre ortalama - 5,09 m, maksimum 72,76 m ve minimum - 77,69 m değişeceği öngörülmektedir. Bu dönemde Kırız Dere deltasında en yüksek mesafede kıyı gerilmesi yaşanacağı, incelenen kıyı şeridinin kuzey bölümünde (eski Çuhane Dere deltası gerisi hariç) kıyı ilerlemesinin olacağı öngörülmektedir (Şekil 11). Senaryo 2-10 yıllık model (2023-2033) kapsamında kıyı çizgisinin SCE analizine göre ortalama 18,57 m, maksimum 77,69 m ve minimum 0,01 m olarak değişeceği tahmin edilmiştir. Değişim alanlarının öngörüsü NSM analizi mekânsal verileri ile paralellik göstermektedir. Senaryo 2 kapsamındaki 10 yıllık model verileri EPR analizine göre ortalama - 0,5 m/yıl, maksimum 7,26 m/yıl ve minimum - 7,77 m/yıllık kıyı çizgisi değişiminin yaşanacağını ortaya koymaktadır. Bu veriler inceleme kıyısında senaryo 2 için temel alınan 2000-2023 yılları arasındaki EPR kıyı çizgisi değişim verisi ortalamasınının (-0,97 m/yıl) üzerindedir. Ancak verinin 0'a yakın olması senaryo 2 kapsamındaki 2023-2033 yılları arası kıyı çizgisi değişim modelinin değişim hızının oldukça durağan bir seyir göstereceğini öngörmektedir.

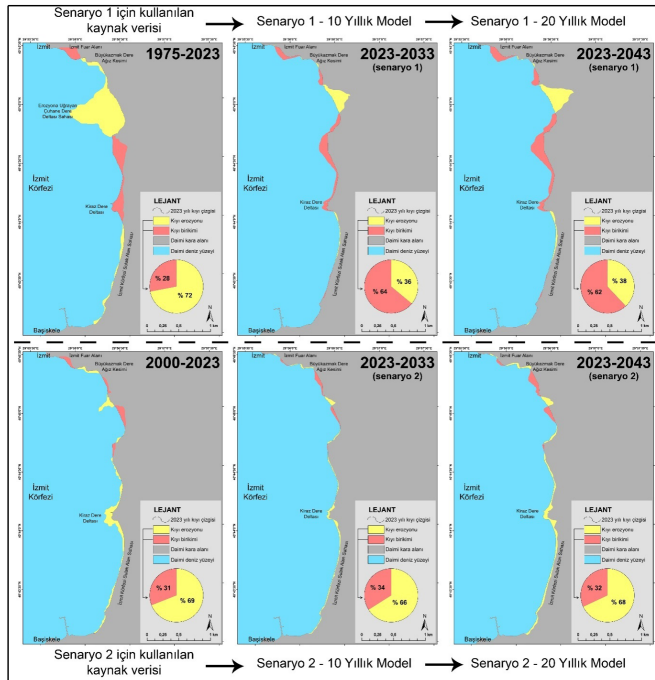


Şekil 11: İzmit Körfezi sulak alan kıyı çizgisi modellerinin NSM ve SCE analiz verileri

Senaryo 2-20 yıllık model (2023-2043) kapsamında kıyı çizgisinin NSM analizine göre ortalama - 12,9 m, maksimum 115,62 m ve minimum - 136,87 m değişeceği öngörülmektedir. Senaryo 2-20

yıllık modelde incelenen kıyı şeridinin kuzeyinde muhtelif yerler dışında kıyı çizgisinin ilerleyeceği, özellikle Kiraz Dere deltasında ise yoğun bir kıyı çizgisi gerilemesinin yaşanacağı tahmin edilmektedir (Şekil 11). Senaryo 2-20 yıllık model (2023-2043) kapsamında kıyı çizgisinin SCE analizine göre ortalama 35,48 m, maksimum 136,87 m ve minimum 0,05 m olarak değişeceği tahmin edilmiştir. Bu dönemdeki SCE değişim verilerinin mekânsal dağılışı NSM analizi sonuçları ile benzer dağılışı göstermektedir. Senaryo 2 kapsamındaki 20 yıllık model verileri EPR analizine göre ortalama - 0,61 m/yıl, maksimum 5,78 m/yıl ve minimum - 6,84 m/yıllık kıyı çizgisi değişiminin yaşanacağını ortaya koymaktadır. Bu veriler inceleme kıyısında senaryo 2 için temel alınan 2000-2023 yılları arasındaki EPR kıyı çizgisi değişim verisi ortalamasının (-0,97 m/yıl) üzerindedir.

İzmit Körfezi sulak alan kıyısında 1975-2023 yılları arası ile bu veriye dayanan 2023-2033, 2023-2043 (senaryo 1) tahmin verileri, 2000-2023 yılları arası ile bu veriye dayanan 2023-2033 ve 2023-2043 (senaryo 2) tahmin verilerinin değişimleri alansal olarak kıyı ilerlemesi ve kıyı gerilemesi (kıyı erozyonu) şeklinde tekrar analiz edilmiştir (Şekil 12).



Şekil 12: İzmit Körfezi sulak alan kıyısının geçmiş ve geleceğe dönük kıyı birikim ve kıyı aşınım alanları

Senaryo 1 kapsamındaki kıyı çizgisi modellerin ortaya konmasında kullanılan 1975-2023 yılları arasındaki kıyı değişimi incelendiğinde kıyıda, % 72 kıyı erozyonunun % 28 kıyı birikimin meydana geldiği görülür (Şekil 12). Bu dönemde Çuhane Dere deltası tamamen kıyı erozyonuna uğrayarak 2023 yılında jeomorfolojik olarak mevcudiyetini kaybeder. Kiraz Dere'nin kanala alınması ile sulak alan kıyısında kıyı erozyonu, Kiraz Dere deltası ve kuzeyinde kıyı birikimi gözlemlenir.

Senaryo 1-10 yıllık model kapsamında 2023-2033 yılları arasında öngörülen kıyı değişimleri incelendiğinde, kıyıda % 36 kıyı erozyonu, % 64 kıyı birikiminin meydana geleceği tahmin edilmektedir. Senaryo 1-20 yıllık model verileri ile 2023-2043 yılları arasında kıyı değişimlerinde % 38 kıyı erozyonu, % 62 kıyı birikimin meydana geleceği öngörülmektedir. Her iki model kapsamında Çuhane Dere deltasının ortadan kalmasına rağmen kıyı erozyonunun devam edeceği, Kiraz Dere deltası ve kuzeyinde ise kıyı birikimin oluşacağı tahmin edilmektedir (Şekil 12).

Senaryo 2 kapsamındaki kıyı çizgisi modellerin ortaya konmasında kullanılan 2000-2023 yılları arasındaki kıyı değişimi incelendiğinde kıyıda, % 69 kıyı erozyonunun % 31 kıyı birikiminin meydana geldiği görülür. Bu dönemde Kiraz Dere üzerine yapılan Yuvacık Barajı nedeniyle derenin deltasında kıyı erozyonu yaşanmıştır. Ayrıca Çuhane Dere deltasının erozyona uğrayan büyük kısmında son kalan kara sahası da erozyona maruz kalmıştır. Diğer kıyı kalan kıyı şeridinde meydana gelen kıyı birikimi ise antropojenik faktörlerle dolgu alanı şeklinde oluşmuştur (Şekil 12).

Senaryo 2-10 yıllık model kapsamında 2023-2033 yılları arasında öngörülen kıyı değişimleri incelendiğinde, kıyıda % 66 kıyı erozyonu, % 34 kıyı birikiminin meydana geleceği tahmin edilmektedir. Senaryo 2-20 yıllık model verileri ile 2023-2043 yılları arasında kıyı değişimlerinde % 68 kıyı erozyonu, % 32 kıyı birikimin meydana geleceği öngörülmektedir (Şekil 12). Modeller kapsamında 2023 yılından 2033 yılına kadar Kiraz Dere deltasındaki kıyı erozyonunun artacağı ve 2043 yılında deltanın alan kaybına devam edeceği öngörülmektedir. Ayrıca Büyükazmak Dere ağız kesimi güneyinde kıyı aşınım ve birikimlerinin 2033'den 2043'e kadar artarak devam edeceği tahmin edilmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Ülkemizin muhtelif kıyılarındaki değişimler ile özellikle delta kıyıları, bütüncül bakış açısı ile incelendiğinde, deltanın drenaj havzasındaki antropojenik müdahaleler ve mansap kısmına yakın şekilde yapılan barajlar, dinamik koşullar açısından kıyılarda erozyona neden olmakta, aşınan malzemeler başka alanlara hızlıca taşınıp birikebilmekte ve kıyıda farklı kökenlerde değişimler yaşanmaktadır (Tağıl & Cürebal, 2005; Kuleli, 2010; Sesli, 2010; Çelik vd., 2013; Uzun, 2015; Kılar & Çiçek, 2018; Ataol, Kale & Tekkanat, 2019; Kale, Ataol & Tekkanat 2019; Ciritçi & Türk, 2020; Turoğlu & Duran, 2021; Alevkayalı vd., 2023; Kılar, 2023; Öztürk & Uzun, 2023; Tağıl, Alevkayalı & Aytan, 2023; Uzun, 2023). İzmit Körfezi sulak alan kıyısı, Türkiye geneli delta kıyıları ya da sulak alan kıyılarından (Kuleli vd., 2011; Akdeniz & İnam, 2023; Kazı & Karabulut, 2023) bazı farklılıklar göstererek hem doğal jeomorfolojik süreçlerin etkeninde hem de doğrudan ve dolaylı olarak meydana gelen antropojenik müdahalelerin baskısında kıyı değişimlerine uğradığı tespit edilmiştir. İncelenen kıyı şeridinin jeomorfolojik evrimdeki doğal değişim süreçleri dışında, İzmit şehrinin gelişimiyle oluşan antropojenik müdahaleler, flüvyal ve denizel süreçlerin etkisi ile son yüzyıllık zaman dilimi içerisinde yoğun kıyı değişimlerine sahne olmuştur (Garipağaoğlu & Uzun, 2014; Uzun, 2014; Ciritçi & Türk, 2020). Bu çalışmada, daha önceki araştırmalardan farklı olarak (Uzun, 2014; Ciritçi & Türk, 2020;), İzmit Körfezi sulak alan kıyısının 1975-2023 yılları arasındaki periyot içerisinde farklı kıyı

çizgisi değişim döngülerini barındırdığı CBS ve UA teknikleri kullanılarak tespit edilmiş ve geçmiş verilerdeki eğilimler temel alınarak 2033 ve 2043 yılları kıyı çizgisi tahminleri yapılmıştır.

Araştırmada İzmit Körfezi sulak alan kıyı çizgisinin 1980 yılından 2023 yılına kadar uzunluğu ve girinti-çıkıntı oranının azalma eğiliminde olduğu saptanmıştır. İzmit Körfezi sulak alan kıyısında 1975-2023 yılları arasında mesafe olarak en yüksek değişimler Çuhane Deresi deltasında kıyı gerilmesi, Kiraz Dere deltası ve kuzeyinde kıyı ilerlemesi şeklinde meydana gelmiştir. İncelenen kıyı şeridinin 2000-2023 yılları arası kısa dönemde kıyı çizgisinin mesafe açısından en yüksek değişime uğradığı yerleri Kiraz Dere deltası çevresi (kıyı gerilemesi) ve mikro boyutlu kıyı ilerlemesi olarak ise diğer kıyıların olduğu sahalar oluşturmaktadır. Elde edilen bulgulardan İzmit Körfezi sulak alan kıyısında 1975 yılından 2000 yılına kadar doğal jeomorfolojik süreçler ve antropojenik müdahaleler ile (doğrudan ve dolaylı) Çuhane Dere deltasının kıyı erozyonu ile mevcudiyetini kaybettiği, sulak alanda kanala alınan Kiraz Dere'nin ise delta oluşturduğu anlaşılmaktadır. Ancak 2000 yılından sonra kıyıya, drenaj havzasına yapılan antropojenik müdahaleler ve akarsular üzerine yapılan barajlarla meydana gelen etkiler kıyının dinamik değişim süreçlerinin yavaşlamasına ve değişim yönü ile boyutunun değişmesine neden olmuştur. Bu durumdan dolayı Kiraz Dere deltasında ilerleme yavaşlamış ve günümüze yakın dönemde delta kıyı erozyonuna uğramıştır. Kıyıda meydana gelen değişimler, çizgisel olarak kıyı uzunluğunun değişmesine, morfolojik görünüm olarak kıyının K-G doğrultusunda daha düz uzanımına, batimetrik yapının değişmesine, kıyının kara yönündeki alanında jeomorfolojik ve hukusal sınırların mutlak suretle değişmesine etki etmiştir.

Daha önceki çalışmalar ve bu çalışmadaki DSAS analiz verilerine göre 1975-2023 yılları arası Çuhane Deresi deltası yoğun şekilde kıyı erozyonuna maruz kalmış ve günümüzde mevcudiyetini kaybetmiştir (Uzun, 2014; Ciritçi & Türk, 2020; Uzun, 2021). Özellikle kıyının drenaj havzasının güney kesiminden gelen Kiraz Dere'nin, Çuhane Dere ile bağlantısının kesilmesi ve kanala alınarak daha güneydeki kıyıya materyal taşınması meydana gelen değişimin ilk nedenlerden biridir. Kıyının hemen kuzeyinde Kocaeli Fuar alanına antropojenik müdahale ve Büyükazmak (Yirim) Dere'nin kanala alınması diğer nedeni oluşturur. Bu kapsamda kıyı jeomorfolojik süreçlerinin denizel zon ve batimetrik faktörlerle yoğun bir etkisi olmayan dalga aşındırmasına karşın (Turoğlu, 1996), dolaylı antropojenik nedenlerle kıyıda Çuhane Dere deltasının yoğun kıyı erozyonuna uğraması, Kiraz Dere deltasının ise malzeme taşınımı ile ilerleme süreçleri yaşanmıştır. Belirtilen durum İzmit Körfezi sulak alan kıyısında, kıyı çizgisi ve diğer değişimlerin jeomorfolojik ve antropojenik etkilerin ortak etkisinde geliştiğini göstermektedir. Ayrıca uzun dönemde (1975-2023) kıyıya yapılan antropojenik müdahaleler, kıyı dolgu alanları kıyı çizgisi uzunluklarının ve kıyının girinti-çıkıntı oranının değişmesine neden olmuştur. Ancak kıyıda meydana gelen değişimler 2000-2023 yılları arasında daha düşük değişim boyutuna gerilmiş, bazı kıyı alanlarında kıyı değişiminin yönü farklılaşmıştır. Özellikle Kiraz Dere üzerine yapılan Yuvacık Barajı (işletmeye alındığı yıl 1999), siltasyonu kendi havzası kapsamında barajda tutarak kıyıya malzeme taşınmasını azaltmış, Kiraz Dere deltasının son 23 yılda kıyı erozyonuna uğramasına yol açmıştır. Bu değişim aynı zamanda İzmit Körfezi sulak alan kıyısı bütününde farklı boyutlarda morfolojik değişimlerin gözlemlenmesine neden olmuştur. Batimetrik

açından sığ, dalga-akıntı faaliyetlerinin etki düzeyinin düşük olduğu İzmit Körfezi sulak alan kıyısında, flüvyal malzeme taşınımı, kentsel atık ile inorganik madde yayılımı ve birikiminin yoğunluğu, sedimentasyon sürecinin daha hızlı yaşanmasını sağlayacak süreçlerdir (Çehreli & Börekçi, 2000; Turoğlu, 1996). Ancak 1975-2023 ve 2000-2023 yılları arasında yapılan analizler kıyıda aşımının daha fazla olduğunu ortaya koymuştur (Şekil 12). Bu durumun oluşmasında kıyı jeomorfolojisi, dalga-akıntı süreçleri ve tektonik faaliyetlerin (körfez tabanındaki etkiler) rolü bulunmaktadır. Ancak meydana gelen değişimin ana etken rolünü, kıyı, denizel zon, kıyı bölgesi, akarsu mansap kesimleri ve kıyının drenaj havzasına yapılan doğrudan ve dolaylı antropojenik müdahalelerin daha çok üstlendiği saptanmıştır.

Çalışmada, geleceğe dönük kıyı değişimleri içiniki farklı senaryoda uzun ve kısa dönemli veriler temel alınarak kıyı çizgisi modellenmiştir. Senaryo 1 kapsamında 2033 yılına kadar kıyı çizgisinin NSM analizine göre ortalama 16,98 m, SCE'ye göre 53,32 m ve EPR'ye göre ortalama 1,69 m/yıl değerlerinde değişeceği tahmin edilmiştir. Senaryo 1 kapsamında 2023 yılından 2043 yılına kadar kıyı çizgisinin NSM'ye göre ortalama 21,2 m, SCE'ye göre ortalama 78,07 m ve EPR'ye göre 1,06 m/yıl olarak değişeceği tahmin edilmiştir. Değerler, senaryo 1 kapsamında kıyıda 2023-2033 yılları arasında % 36 kıyı erozyonu, % 64 kıyı birikimi olacağını, 2023-2043 yılları arasında % 38 kıyı erozyonu, % 62 kıyı birikimi şeklinde değişimlerin olacağını gösterir. Senaryo 1 kapsamında temel alınan model verilerin uzun dönemli olmasından dolayı kıyıda birikimin daha fazla olacağı ancak kıyı erozyonunun değişim mesafesi açısından kuzey kesimde yoğun şekilde yaşanacağı ortaya çıkmaktadır. Senaryo 2 kapsamında, Büyükazmak Dere ağız kesimi, Çuhane Dere delta kalıntısı gerisi, Kiraz Dere deltası ve sulak alan ekolojik etkilenme kesiminde kıyı erozyonunun olacağı diğer alanlarda ise mikro boyutlu kıyı birikimin yaşanacağı modellenmiştir. Senaryo 2 kapsamında 2033 yılına kadar kıyı çizgisinin NSM analizine göre ortalama - 5,09 m, SCE'ye göre 18,57 m ve EPR'ye göre ortalama - 0,5 m/yıl şeklinde değişeceği öngörülmektedir. Senaryo 2 kapsamında 2023 yılından 2043 yılına kadar kıyı çizgisinin NSM'ye göre ortalama 12,39 m, SCE'ye göre ortalama 35,48 m ve EPR'ye göre - 0,61 m/yıl olarak değişeceği tahmin edilmiştir. Kantitatif bulgular, senaryo 2 kapsamında kıyıda 2023-2033 yılları arasında % 66 kıyı erozyonu, % 34 kıyı birikimi olacağını, 2023-2043 yılları arasında % 68 kıyı erozyonu, % 32 kıyı birikimi şeklinde değişimlerin olacağını gösterir. Senaryo 2 kapsamında temel alınan model verilerin kısa dönemli olması ve antropojenik faktörlerle jeomorfik süreçlerin değişim ve yavaşlama eğilimine girmesinden dolayı kıyıda erozif faaliyetlerin daha fazla olacağı tahmin edilmiştir.

Uzun ve geçmiş verileri (1975-2023) temel alarak 2033 ve 2043 yılları kıyı çizgisi ile değişimlerine ortaya koyan senaryo 1 de alansal ve çizgisel kıyı hareketliliğin daha fazla olacağı tahmin edilmektedir. Ancak daha kısa ve yakın zamanlı (2000-2023) verileri temel alan senaryo 2 de kıyı değişiminin daha stabil olacağı öngörülmüştür. Her iki senaryoda temel kıyı değişim alanlarının Kiraz Dere deltası ile kuzeyde Büyükazmak Dere ağız kesimi arasında yoğunlaşacağı tahmin edilmiştir. Ancak senaryo 1 de Kiraz Dere deltası ve diğer alanlarda kıyı birikiminin yoğun şekilde yaşanacağı öngörülmektedir. Günümüz değişim durumunu yansıtan senaryo 2 de ise Kiraz Dere deltasında kıyı

erozyonu olacağı ve değişimin boyutunun daha dar alanlı meydana geleceğini göstermektedir. Belirtilen veriler, İzmit Körfezi sulak alan kıyısının dinamik değişim süreçlerinde antropojenik etkilerin daha etken süreç olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca 2023 yılı itibarıyla Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile Kocaeli Büyükşehir Belediyesi ortaklığında hayata geçirilen “İzmit Körfezi Doğu Baseni Dip Çamurunun Temizlenmesi, Susuzlaştırılması ve Bertaraf Hizmeti Projesi” kapsamında, İzmit Körfezi'nin doğu yakasından başlayarak dip çamuru temizliği yapılması planlanmış ve uygulamaya geçilmiştir. İncelenen kıyı şeridi ile kara ve deniz tarafındaki etkileşim kuşağında büyük değişimler oluşturacak bu çalışma aynı zamanda kıyıya doğrudan antropojenik müdahaleyi de içermektedir. Bu durum İzmit Körfezi sulak alan kıyısında gelecekte meydana gelecek kıyı değişimlerinin yönünü ve morfolojik görünümü etkileme potansiyeline sahiptir. Kıyıya ve batimetrik morfolojiye antropojenik müdahale çalışması, araştırmada modellenen kıyı değişimlerinden senaryo 2 kapsamının daha gerçekçi veriler ortaya koyabileceğini destekler niteliktedir. Dünya ve Türkiye'de antropojenik baskının yoğun yaşandığı kıyılarda olduğu gibi İzmit Körfezi sulak alan kıyısında da bu faaliyetlerin kıyının değişim döngüsü etkileyen temel faktör olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç kıyının modellenmesinde senaryo 2 kapsamında 2033 ve 2043 kıyı çizgisinin daha gerçekçi öngörülerini içerdiğini göstermektedir. Bu kapsamda da özellikle İzmit Körfezi sulak alan kıyısında kıyı çizgisinin mikro boyutta da olsa gerileyeceği, kıyı erozyonu nedeniyle lagüner ortamlar ve beşeri sahaların etkilenebileceği tahmin edilmektedir. İzmit Körfezi sulak alan kıyısı denizel ortamına son yıllarda bilimsel çalışmalarla yapılan ve yapılacak müdahalelerin su kirliliğini bertaraf edeceği öngörülmekte ancak jeomorfolojik, hidrografik ve ekolojik olarak kıyı ortamının doğal dinamiklerinin farklı sorunlar yaratabilecek değişimlere uğrayacağı da çalışmadaki bulgulardan tahmin edilmektedir.

Kaynakça

- 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. doi: 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. doi: 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. doi: 10.1016/j.oceano.2022.02.002
- Alevkayalı, Ç., Atayeter, Y., Yayla, O, Bilgin, T., Akpınar, H. (2023). Burdur Gölü'nde uzun dönemli kıyı çizgisi değişimleri ve iklim ilişkisi: Zamansal-mekânsal eğilimler ve tahminler. *Türk Coğrafya Dergisi*, (82), 37-50. doi:10.17211/tcd.1287976
- Ankrah, J., Monteiro, A., Madureira, H., (2022). Bibliometric Analysis of Data Sources and Tools for Shoreline Change *Analysis and Detection. Sustainability*, 14, 4895. doi:10.3390/su14094895
- Anthony, E. J., Vanhee, S., Ruz, M. H. (2006). Short-term beach-dune sand budgets on the North Sea Coast of France: sand supply from shoreface to dunes, and the role of wind and fetch, *Geomorphology*, 81, 316-329. doi:10.1016/j.geomorph.2006.04.022

- 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. doi: 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. doi: 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. doi: 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. doi: 10.1080/19475.683.2020.1815839
- 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. doi: 10.1016/j.catena.2022.106494
- Brown, A.G., Tooth, S., Bullard, J. E., Thomas, D., Chiverrel, R., Plater, A., Murton, J., (2017). The Geomorphology of the Anthropocene: Emergence, status and implications. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42, 71–90. doi:10.1002/esp.3943.
- Ciritçi, 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. doi:10.1007/s10661.020.08255-9
- Çehrelî, Z., Bökrekçi O. S. (2000). İzmit Körfezi Akıntı Modellemesi, III Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Kardelen Ofset, İstanbul.
- 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. doi: 10.32003/igge.741573
- Darwish, K., Smith, S.E., Torab, M., Monsef, H., and Hussein, O. (2017). Geomorphological Changes along the Nile Delta Coastline between 1945 and 2015 Detected Using Satellite Remote Sensing and GIS. *J. Coast. Res*, 33(4): 786–794. doi: 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. doi: 10.1007/s12524.023.01698-w
- Erinç, S., (1986). Kıyılardan Yararlanmada Hukuki Düzenlemelere Jeomorfolojinin Katkısı, *Jeomorfolojisi Dergisi*, 14:1-5.
- Erinç, S. (2001). Jeomorfoloji I (Güncelleştirenler; A. Ertek, C. Güneysu). İstanbul: Der yayınları.

- Erol, O., (1989). Türkiye’de Kıyılarının 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.
- Esmail, M., Mahmud, W. E., Fath, H. (2019). Assessment and prediction of shoreline change using multi-temporal satellite images and statistics: Case study of Damietta coast, Egypt. *Applied Ocean Research*, 82, 274–282. doi: 10.1016/j.apor.2018.11.009
- 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. doi: 10.1016/S0034-4257(96)00067-3
- Garipağaoğlu, N., Uzun, M., (2014). Kıyı Çizgisi Değişiminin Yaratacağı Riskler Açısından İzmit Körfezi Kıyılarının Değerlendirilmesi, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 7(31). 469-480.
- 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. doi: 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. doi:10.3390/jmse10010026
- Grottolli, H., Biauxque, M., Jackson, D., Cooper, J. A. (2023). Long-term drivers of shoreline change over two centuries on a headland-embayment beach. *Earth Surface Processes and Landforms published by John Wiley ve Sons* 2023, 1-21. doi:10.1002/esp.5641
- Goudie, A., (2020). The human impact in geomorphology – 50 years of change, *Geomorphology*, 366, 106-120 doi: 10.1016/j.geomorph.2018.12.002
- Guerrera, F., Martín-Martín, M., Tramontana, M., Nimon, B., Essotina Kpémoua, K. (2021). Shoreline changes and coastal erosion: The case study of the coast of Togo (Bight of Benin, West Africa Margin). *Geosciences*, 11 (2), 40. doi: 10.3390/geosciences11020040
- 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. doi: 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. doi: 10.1016/j.margeo.2021.106628
- Hoşgören, M. Y. (1995). İzmit Körfezi Havzasının Jeomorfolojisi, İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi, Editör, E. Meriç, S. 343-348, Kocaeli.
- 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. doi: 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 Yeşilırmak Delta in northern Turkey from 1953 to 2017. *Environ Monit Assess* 191, 398. doi: 10.1007/s10661.019.7535-8
- 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. doi: 10.32003/igge.1304403

- Kılar, H., Çiçek, İ. (2018). Göksu Deltası Kıyı Çizgisi Değişiminin DSAS Aracı ile Belirlenmesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 16 (1) , 89-104 . doi: 10.1501/Cogbil_000.000.0192
- 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. doi: 10.1016/j.rsma.2022.102737
- Kuleli, T., (2010). Quantitative analysis of shoreline changes at the Mediterranean Coast in Turkey Environ. Monit. Assess. 167, 387–397.
- Kuleli, T., Güneroğlu, A., Karşlı, 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. doi: 10.1016/j.ejrs.2021.09.004
- 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). doi:10.17969/jimfp.v7i1.18872
- Long, J.W., and 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, doi: 10.1080/014.311.69608948714
- Mukhopadhyay, A., Ghosh, P., Chanda, A., Ghosh, A., Ghosh, S., Das, S., Ghosh, T., Hazra, S. (2018). Threats to coastal communities of Mahanadi delta due to imminent consequences of erosion – Present and near future. *Science of The Total Environment*, 637–638, 717–729. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.076
- 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. doi: 10.3390/rs15020317
- Nassar, K., Mahmud, 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. doi:10.1080/1064119X.2018.144.8912.
- 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. doi: 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. doi: 10.1016/j.jsames.2023.104701
- 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. doi: 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 doi: 10.1016/j.ejrs.2020.11.002
- Sesli, F. A. (2010). Mapping and monitoring temporal changes for coastline and coastal area by using aerial data images and digital photogrammetry: A case study from Samsun, Turkey. *International Journal of the Physical Sciences*, 5(10), 1567-1575.

- Shen, L & Li, C, (2010) Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm 18th International Conference on Geoinformatics, IEEE (2010), 1-4. <https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.010.556.7762>
- 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. doi:10.1080/10106.049.2014.965757
- 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 doi: / 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. doi: 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. doi: 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. doi:10.51800/ecd.1322803
- Tarı, U., Tüysüz, O. (2008). İzmit Körfezi ve çevresinin morfotektoniği. *İTÜ Mühendislik dergisi*, 7 (1), 17-28.
- Tarolli, P., Cao, W., Sofia, G., Evans, D., Ellis, E. (2019). From features to fingerprints: A general diagnostic framework for anthropogenic geomorphology. *Progress in Physical Geography*. 43 (1). 95-128. doi: 10.1177/030.913.3318825284
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8(2): 127-150.
- Turoğlu, H., (1996). İzmit Körfezi Doğu Kıyısı Dolgusunun Mühendislik Jeomorfolojisi Açısından Etüdü, *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, 4, 321-343.
- Turoğlu, H., (2009). 3621 Sayılı Kıyı Kanununun ve Onun Uygulama Problemleri, *Türk Coğrafya Dergisi*, 53: 31-40.
- Turoğlu, H., (2017). Deniz ve Göllerde Kıyı, Yasal ve Bilimsel Boyutlarıyla Kıyı, (Editörler: H. Turoğlu, H. Yiğitbaşıoğlu) Jeomorfoloji Derneği Yayını No: 1.
- Turoğlu, H. (2019). Yapay kıyıların jeomorfolojik tanımlaması: Diliskelesi kıyıları örneği (Kocaeli, Türkiye). *Coğrafya Dergisi*. 39. 11-27. doi: 10.26650/JGEOG2019-0015
- Turoğlu, H., Duran, A. (2021). Filyos Çayı Deltasında (Karadeniz) kıyı çizgisi değişiklikleri ve yakın geleceğe yönelik göstergeler. *Türk Coğrafya Dergisi*, (78), 61-74. doi: 10.17211/tcd.1016928
- Uzun, M., (2014). İzmit Körfezi Doğu Kıyısındaki Kıyı Alanı ve Kıyı Çizgisinde Meydana Gelen Zamansal Değişimlerin CBS ve Uzaktan Algılama Teknikleri ile İncelenmesi, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 7(33). 440-457.
- Uzun, M. (2015). Hersek Deltasında (Yalova) Kıyı Çizgisi-Kıyı Alanı Değişimleri ve Etkileri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 19(32), 27-48. <https://doi.org/10.17295/dcd.78126>
- Uzun, M. (2021). İzmit Körfezi Kıyılarında İnsan Kaynaklı Jeomorfolojik Değişimler ve Süreçler. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (7), 61-81. doi: 10.46453/jader.983465

- Uzun, S.M. (2023). Riva (İstanbul) Kıyılarında Doğal ve Antropojenik Etkenlerle Değişen Kıyı Çizgisinin DSAS Aracı ile Analizi, *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi* (11): 95-113. doi: 10.46453/jader.1335105
- Xu, H. (2006). Modification of Normalised difference water index NDWI to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal 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. doi: 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. doi: 10.1155/2021/6632450

COASTAL CHANGE MODELLING OF THE GULF OF IZMIT WETLAND COAST IN 2033 AND 2043 ACCORDING TO LONG AND SHORT TERM CHANGE SCENARIOS

S. Murat UZUN* 

Coasts, which are one of the geomorphological elements, react to change faster than other geomorphological units under the influence of climate oscillations, tectonic and eustatic movements and local geomorphic processes due to their location at the intersection of the lithosphere and hydrosphere. Considering the natural dynamic processes occurring on the coast and global warming, anthropogenic factors and environmental degradation, it is thought that the change in the coasts may reach inevitable dimensions and different risks may occur in the coastal zone, which hosts the majority of population, industry and transport assets. GIS and RS technologies have been used quite effectively in coastline change analyses in the world and Turkey in recent years. One of the technological products that include coastal change analyses is the Digital Shoreline Analysis System (DSAS), which is a product of the USGS. The system can provide an add-on feature to ArcGIS software and can spatially analyse the temporal change of coasts with different analyses and statistics, produce quantitative data and make future-oriented modelling. Due to these features, DSAS analysis is frequently used in many scientific studies. In this study, it is aimed to model the shoreline forecasts for the years 2033 and 2043 within the scope of two different scenarios of the Izmit Bay wetland coast, which contains different units in terms of coastal geomorphology, has been under intense anthropogenic pressure, and where the shoreline change is in different cycles temporally, with DSAS. The data set of the study consists of multispectral Landsat satellite images of 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 and 2023 obtained from the USGS and the findings obtained from field studies. Firstly, Landsat satellite images of each year were combined with ArcGIS 10.5 software for resolution editing and water surface view (Hu & Wang, 2020). NDWI, MNDWI and WRI analyses were then used to generate shoreline data. In the study, End Point Rate (EPR), Net

* Marmara University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Geography, murat.uzun@marmara.edu.tr ORCID: 0000-0003-2191-3936

Shoreline Movement (NSM), Shoreline Change Envelope (SCE) and Linear Regression Rate (LRR) statistics in the DSAS were used in the spatial and statistical value analysis of shoreline changes. In the study, DSAS analyses were applied to two different periods with 11 different shorelines between 1975-2023 and 6 different shorelines between 2000-2023. The reason for analysing the two different periods of 48 and the last 23 years separately with DSAS is that the future modelling of the shoreline is based on long and near-term changes. In the research, after analysing the changes in the wetland shoreline of Izmit Bay from the past to the present, future-oriented modelling was carried out. At this stage, the Beta feature in DSAS was used. In this context, future modelling in Scenario 1 consists of shoreline forecast data for 2033 and 2043 based on the change between 1975-2023. In Scenario 2, there are shoreline forecast data for 2033 and 2043 based on the change between 2000-2023. The Kalman Filter model in the Beta feature of the DSAS tool was used in the generation and modelling of future shoreline forecast data. Between 1975 and 2023, the shoreline changes in the Gulf of Izmit wetland shore were -55.97 m on average according to NSM analysis, 262.92 m on average according to SCE, -1.11 m/year according to EPR and -0.6 m/year according to LRR analysis. During this period, the highest changes in terms of distance occurred in the form of coastal retreat in the delta of Çuhane Stream and coastal advancement in the delta and north of Kiraz Stream. In the short period between 2000 and 2023, the shoreline changes were found to be -22.48 m on average according to NSM analysis, 66.67 m on average according to SCE, -0.97 m/year according to EPR and -0.72 m/year according to LRR. In this period, the places where the shoreline changed the most in terms of distance are the areas around the Kiraz Stream delta and the areas with other coasts as micro-scale coastal advancement. From the findings obtained, it is understood that Çuhane Stream delta lost its existence with coastal erosion and Kiraz Stream, which was canalised in the wetland coast of Izmit Bay from 1975 to 2000 due to natural geomorphological processes and anthropogenic interventions formed a delta. However, the intense anthropogenic effects caused by the dams built on the coast, drainage basin and rivers after 2000 caused the dynamic change processes of the coast to slow down and the direction and extent of change to change. Due to this situation, the progress in the Kiraz Stream delta has slowed down and the coast has been subjected to coastal erosion in the near present period. When the findings obtained from the analyses of the modelled shorelines are evaluated within the scope of scenario 1, it shows that coastal erosion will continue in the northern part and the shoreline will advance on the other coasts. Within the scope of Scenario 1, it is predicted that the shoreline will change by an average of 16.98 m according to NSM analysis, 53.32 m according to SCE and 1.69 m/year according to EPR until 2033. Under Scenario 1, the shoreline is predicted to change from 2023 to 2043 by an average of 21.2 m according to NSM, 78.07 m according to SCE and 1.06 m/year according to EPR. The values indicate that there will be 36% coastal erosion and 64% coastal accretion between 2023-2033 and 38% coastal erosion and 62% coastal accretion between 2023-2043 under scenario 1. Since the model data taken as basis in Scenario 1 are long-term, it reveals that the accumulation on the coast will be higher, but coastal erosion will be experienced intensively in the northern part in terms of the change distance. When the shoreline changes are evaluated within the scope of Scenario 2, it is modelled that coastal erosion will occur in Büyükazmak Stream mouth

section, Çuhane Stream behind the delta remnant, Kiraz Stream delta and wetland ecological impact section and micro-sized coastal accumulation will occur in other areas. Within the scope of Scenario 2, it is predicted that the shoreline will change as – 5.09 m on average according to NSM analysis, 18.57 m according to SCE and – 0.5 m/year on average according to EPR until 2033. Under Scenario 2, from 2023 to 2043, the shoreline is predicted to change by 12.39 m on average according to NSM, 35.48 m on average according to SCE and – 0.61 m/year according to EPR. Quantitative findings indicate that under Scenario 2, 66% coastal erosion and 34% coastal accretion will occur between 2023-2033 and 68% coastal erosion and 32% coastal accretion will occur between 2023-2043. Within the scope of Scenario 2, it is estimated that erosive activities will be more on the coast due to the short-term nature of the model data taken as basis and the tendency of geomorphic processes to change and slow down due to anthropogenic factors.