SAKARYA İLİ KARASU İLÇESİ KIYI YAPILARININ KIYI ÇİZGİSİNE ETKİSİNİN COASTSAT UYGULAMASIYLA İNCELENMESİ

Mazlum KILIÇ

TEZ YAYINLANMA
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan **"Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"** kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Danışmanın Adı-Soyadı Tarih	Öğrencinin Adı-Soyadı Tarih
İmza Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.	İmza Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SAKARYA İLİ KARASU İLÇESİ KIYI YAPILARININ KIYI ÇİZGİSİNE ETKİSİNİN COASTSAT UYGULAMASIYLA İNCELENMESİ

Mazlum KILIÇ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Adem AKPINAR

Bu çalışmada, bir uzaktan algılama yöntemi olan CoastSat açık kaynaklı yazılım araç takımı kullanılarak çalışma alanı olarak seçilen Karasu Limanının doğusundaki yaklaşık 6,3 km'lik Karasu sahilinin 1990-2021 yılları arasındaki kıyı çizgisi değişiminin ve burada inşa edilen yapıların bu değişime etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, CoastSat araç takımı kullanılarak Karasu Sahilinin 1990 ve 2021 yılları arasındaki uydu görüntüleri işlenmiş ve yaklaşık aynı zamana denk gelen farklı yıllara ait görüntülerden yararlanılarak ilgili kıyı şeridinin kıyı çizgisi çıkartılarak üst üste çakıştırılmış ve kıyıda oluşan erozyon ve yığılma durumu belirlenmiştir. Kıyı çizgilerinin çakıştırılmasının yanında kıyı şeridi boyunca farklı lokasyonlardan kesitler alınarak kesitsel değişimler de incelenmiştir. Kıyı şeridinde oluşan erozyon ve yığılma durumlarına ilgili kıyıda inşa edilen balıkçı barınağı/liman, mahmuzlar ve açık deniz mendirekleri gibi yapıların bu değişime katkısı da tespit edilmiştir. Ayrıca, bölgenin dalga iklimi ve fırtına iklimi çıkartılarak farklı dönemlerdeki dalga ve fırtına iklimindeki değişimlerin bu kıyı çizgisi değişimine olan katkısı da tartışılmıştır.

Sonuçta, yapımına 1995 yılında başlanılan liman inşaatının Sakarya nehrinden taşınan katı maddelerin taşınmasını engelleyerek sahilde önemli ölçüde erozyona sebep olduğu, bu erozyonu önlemek için 2009 yılında inşa edilen 12 adet kıyıya dik mahmuzun şiddetli fırtınaların da etkisiyle birlikte erozyonun daha fazla artmasına sebep olduğu, meydana gelen kıyı erozyonunun önlenebilmesi ve kum toplama amacıyla 2010 yılında yapımına başlanan ve sonuncusunun 2016 yılının ortalarına doğru tamamlandığı kıyıya paralel inşa edilen toplam 27 adet ayrık dalgakıran akabinde sahilin kum tutmaya başladığı ve önemli miktarda kum tutmanın gerçekleşmiş olmasına karşın bazı kıyı kesimlerinde kıyı çizgisinin hala 1990 yıllarındaki seviyesine ulaşamadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CoastSat, Karasu sahili, kıyı şeridi, kıyı erozyonu, kıyı çizgisi gerilemesi, uzaktan algılama

2022, viii +59 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF COASTRAL STRUCTURES ON THE COASTLINE OF KARASU BEACH IN SAKARYA PROVINCE BY COASTSAT APPLICATION

Mazlum KILIÇ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Adem AKPINAR

In this study, it is aimed to examine the change of the coastline between the years 1990-2021 and the effects of the structures built here on the 6.3 km Karasu coast to the east of the Karasu Port, which was selected as the study area by using the CoastSat open source software toolkit, which is a remote sensing method. In this context, using the CoastSat toolkit, the satellite images of the Karasu Coast between 1990 and 2021 were processed, and the coastline of the relevant coastline was overlapped by using the images from different years, which coincided with the same time, and the erosion and accumulation situation on the coast were determined. In addition to overlapping the coastlines, cross-sectional changes were also examined by taking sections from different locations along the coastline. The contribution of structures such as fisherman's shelter/harbour, groins and offshore breakwaters built on the coast to erosion and accumulation on the coastline has also been determined. In addition, the wave climate and storm climate of the region were extracted and the contribution of the changes in the wave and storm climate in different periods to this coastal line change was also discussed.

As a result, the construction of the port, the construction of which was started in 1995, caused significant erosion on the coast by preventing the transport of sediments carried from the Sakarya river, and the 12 vertical groins built in 2009 to prevent this erosion caused the erosion to increase further with the effect of severe storms, and the resulting coastal erosion. It has been determined that 27 offshore breakwaters, which were built parallel to the shore, the construction of which was started in 2010 and the last one was completed towards the middle of 2016, for the purpose of preventing sand collection, and that the beach started to hold sand and the shoreline still did not reach the level of 1990 in some coastal areas, although a significant amount of sand was retained.

Keywords: CoastSat, Karasu beach, coastline, coastal erosion, shoreline regression, remote sensing

2022, viii +59 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim sırasında, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşarak bana rehberlik edip yol gösteren danışman hocam sayın Prof. Dr. Adem AKPINAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Benden yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Öğr. Gör. Bilal BİNGÖLBALİ`ye ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği destek ve yardımlarından dolayı değerli arkadaşım Kerem KURALAY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında benden yardımlarını esirgemeyen çok değerli abim Aytuğ ŞENTÜRE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim ve hayatım boyunca ilgilerini, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme özellikle anne ve babama teşekkürlerimi sunarım.

Mazlum KILIÇ
11.02.2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET…… i
ABSTRACT……. ii
TEŞEKKÜR……. iii
İÇİNDEKİLER……. iv
KISALTMALAR DİZİNİ……. v
ŞEKİLLER DİZİNİ…….. vi
ÇİZELGELER DİZİNİ……. vii
1. GİRİŞ…… 1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI……. 3
2.1. Kıyı Çizgisi Değişimi için Temel Tanımlar ……. 3
2.2. Kıyı Değişiminde Uzaktan Algılama..... 4
2.3. Karasu Sahiline Yönelik Yapılan Önceki Çalışmalar……..... 4
2.4. CoastSat ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar..... 8
3. MATERYAL VE YÖNTEM..... 12
3.1.Çalışma Bölgesi..... 12
3.2. Bölgenin İklim Özellikleri……..... 14
3.3. Akıntı Sistemi ve Kıyı Dinamiği..... 14
3.4. Kullanılan Uydular ve Özellikleri…….…..... 15
3.5. Dalga Verileri..... 16
3.6. CoastSat……..... 16
3.6.1. Görüntü edinme ……..... 17
3.6.2. Kıyı şeridi çıkarma..... 18
3.6.3. Görüntüleri kaydetme..... 19
3.6.4. Referans kıyı şeridi seçimi..... 19
3.6.5. Kıyı tespiti…….. 19
3.6.6. Kıyı analizi……. 20
4. BULGULAR……. 23
4.1. Karasu Sahili Kıyı Çizgisi Değişiminin Analizi …….. 23
4.2. Karasu Limanının Karasu Sahili Kıyı Çizgisi Değişimine Etkisi …… 23
4.3. Mahmuzların Karasu Sahili Kıyı Çizgisi Değişimine Etkisi……. 31
4.4. Ayrık Dalgakıranların Karasu Sahili Kıyı Çizgisi Değişimine Etkisi…….. 38
4.5. Kıyı Çizgisi Değişiminin Ekstrem Dalgalar İle İlişkisi……. 48
5. TARTIŞMA VE SONUÇ…….. 52
KAYNAKLAR……..……... 55
ÖZGEÇMİŞ……..... 58

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DHI	Danimarka Hidrolik Enstitüsü
DLH	Demiryollar Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü
GPS	Global Positioning System
JPEG	Joint Photographic Experts Group
KML	Keyhole Markup Language
MSI	MultiSpectral Instrument
OLI	Operational Land İmager
T.C	Türkiye Cumhuriyeti
TIFF	Tagged Image File Format
TM	Thematic Mapper
TMMOB	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
URL	Uniform Resource Loader
YİD	Yap İşlet Devret

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Kıyı Kanununa göre kıyı tanımlamalarını gösterir kroki (Sesli, 2006)…….....	3
Şekil 3.1.	Çalışma alanı……...……	12
Şekil 3.2.	Sakarya nehri havzası (Anonim 2012)……..…..…….	13
Şekil 3.3.	Sakarya nehri boykesiti (ölçeksiz) (Anonim 2012)…….	13
Şekil 3.4.	Karasu kıyı alanı dalga yönleri (Anonim, 2012)…….....	15
Şekil 3.5.	CoastSat ile erişilebilen uydular ve çeşitli özellikleri…….	16
Şekil 3.6.	CoastSat'ın işlevlerini özetleyen akış şeması (Vos ve ark. 2019)	17
Şekil 3.7.	Karasu için CoastSat 'a girilen kullanıcı girdileri……	18
Şekil 3.8.	CoastSat aracılığıyla Karasu plajı için elde edilen bütün kıyı şeritleri…….……	20
Şekil 3.9.	Kıyı şeritleri üzerinde belirlenen kesitler……	21
Şekil 3.10.	Belirlenen kesitlerdeki yıllara göre değişim miktarı……...	22
Şekil 4.1.	Çalışma bölgesinde sahilde inşa edilen yapılara ait kronolojik cetvel…….……..	24
Şekil 4.2.	Karasu Limanının farklı yıllarda Landsat 5 ve Landsat 7 uyduları tarafından çekilmiş görüntüleri……..…….....	25
Şekil 4.3.	Karasu Limanının 2011, 2015 ve 2017 yıllarına ait uydu görüntüleri…….……..	26
Şekil 4.4.	1993-2008 yılları arasındaki çeşitli tarihlere ait kıyı çizgisi görünümleri…….…….	27
Şekil 4.4.	1993-2008 yılları arasındaki çeşitli tarihlere ait kıyı çizgisi görünümleri (devam)…….…….....	28
Şekil 4.4.	1993-2008 yılları arasındaki çeşitli tarihlere ait kıyı çizgisi görünümleri (devam)…….…….....	29
Şekil 4.5.	Liman yakınındaki mahmuzlar ve erozyon durumu (2010) (Gormus ve ark. 2014)……	33
Şekil 4.6.	2008, 2010 ve 2011 yıllarına ait kıyı çizgisi görünümleri……..	34
Şekil 4.6.	2008, 2010 ve 2011 yıllarına ait kıyı çizgisi görünümleri (devam)……..……..	35
Şekil 4.6.	2008, 2010 ve 2011 yıllarına ait kıyı çizgisi görünümleri (devam)……..……..	36
Şekil 4.7.	Yapılması planlanan 27 adet ayrık dalgakıran projesi (Kutoglu ve ark. 2011)…...…….....	39
Şekil 4.8.	Karasu plajının farklı yıllarda Landsat 5, Landsat 8 ve Sentinel-2 uyduları tarafından çekilmiş görüntüleri……..	40
Şekil 4.9.	Karasu plajının farklı yıllarda Landsat 5, Landsat 8 ve Sentinel-2 uyduları tarafından çekilmiş görüntülerinin işlenmiş hali..…….……..……	41
Şekil 4.10.	2013 yılına ait bir Landsat-8 uydu görüntüsü ve Coastsat'ın	

bu uydu görüntüsü için yaptığı kıyı çizgisi analizi……. 42
Şekil 4.11. 2016 yılına ait bir Sentinel-2 uydu görüntüsü ve Coastsat'ın bu uydu görüntüsü için yaptığı kıyı çizgisi analizi……..... 43
Şekil 4.12. 2010, 2011, 2017 ve 2021 yıllarına ait kıyı çizgisi görünümleri 44
Şekil 4.12. 2010, 2011, 2017 ve 2021 yıllarına ait kıyı çizgisi görünümleri (devam)……..…….. 45
Şekil 4.12. 2010, 2011, 2017 ve 2021 yıllarına ait kıyı çizgisi görünümleri (devam)……..…….. 46
Şekil 4.13. Her bir kesitte meydana gelen değişimler ve dalga yüksekliği ortalamasının yıllara göre değişim grafiği…… 47
Şekil 4.13. Her bir kesitte meydana gelen değişimler ve dalga yüksekliği ortalamasının yıllara göre değişim grafiği (devam)…… 47

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. Her bir kesit için 1999, 2000, 2005 ve 2008 yıllarına ait kıyı çizgilerinin 1993 yılı kıyı çizgisi ile karşılaştırılması sonucu oluşan farklar (m)……..... 30

Çizelge 4.2. 1993 yılı kıyı çizgisi ile 1999, 2000, 2005 ve 2008 yılı kıyı çizgileri arasındaki alansal farklar (m2)……. 31

Çizelge 4.3. Her bir kesit için 2010 ve 2011 yıllarına ait kıyı çizgilerinin 2008 yılı kıyı çizgisi ile karşılaştırılması sonucu oluşan farklar (m)……. 37

Çizelge 4.4. 1993 yılı kıyı çizgisi ile 2008, 2009, 2010 ve 2011 yılı kıyı çizgileri arasındaki alansal farklar (m2)…….…… 38

Çizelge 4.5. Her bir kesit için 2011, 2017 ve 2021 yıllarına ait kıyı çizgilerinin 2010 yılı kıyı çizgisi ile karşılaştırılması sonucu oluşan farklar (m)…….. 47

Çizelge 4.6. 2010 yılı kıyı çizgisi ile 2011, 2017 ve 2021 yılı kıyı çizgileri arasındaki alanlar (m2)…… 48

Çizelge 4.7. 1993 yılı kıyı çizgisi ile 2017, 2018, 2019, 2020 ve 2021 yılı kıyı çizgileri arasındaki alanlar (m2)…… 49

1. GİRİŞ

Kıyı bölgeleri insanların varoluşundan günümüze kadar geçen zamanda büyük uygarlıkların en çok yerleştiği bölgeler olmuştur ve olmaya da devam etmektedir. Kıyılar sahip oldukları tarım bölgeleri, deniz ulaşım ve taşımacılığı, su kaynakları, kum çakıl yatakları, denizden kazanılmış dolgu alanları, petrol-doğal gaz yatakları, deniz ürünleri vb. kaynaklar ile toplumun ekonomik ve sosyal gelişmesine katkı sağlamıştır (Sesli, 2006).

Bir yarımada ülkesi olmasından dolayı uzun bir sahil şeridine sahip olan ülkemizde kıyı bölgeleri son yıllarda çeşitli turizm yatırımcılarının ve kamu kuruluşlarının konut talebi konusunda yoğun baskısı altında kalmıştır. Bu derece farklı baskıların birlikte bulunduğu kıyı bölgelerinde, kentsel alanlarla ilgili kararlar çevresel, estetik, bilimsel yaklaşımlarla değil daha çok politik beklentiler ve ekonomik ölçütler doğrultusunda oluşturulmaktadır (Kozlowski ve Hill, 1993).

Türkiye sahillerinin son zamanlarda turizm talebindeki artışa bağlı olarak yoğun bir nüfus baskısı altına girmesi, ikinci konut ve tatil alanları yapımı, koruma bölgelerinde gelişigüzel turizm adına yapılan sakıncalı uygulamalar, arazi kazanmak için yapılan dolgular, ulaşım sorunu adına gerçekleştirilen otoyollar ve daha birçok uygulamalar, medeniyetin beşiği ve ekolojinin can damarları olan kıyılarımızın günümüzde ne derece büyük bir baskı altında olduğunu açık bir şekilde ortaya koymaktadır (Akyol ve ark. 1997).

Atmosfer, hidrosfer ve yerkürenin birbirleri ile etkileşim içerisinde oldukları benzersiz bölgeler olan kıyı bölgelerindeki koşulların büyük bir bölümünün, yıllık, mevsimsel ve hatta günlük olarak insan etkisinde veya doğal kaynaklı olarak fırtına ve iklim etkisiyle değişime uğraması, bu değişimlerin belirli bölgelerde ve zamanlarda, belirli zaman aralıklarında gözlemlenerek tespit edilmesini gerektirmektedir. Çevresel koruma ve doğal gelişim açısından oldukça önemli olan bu işlemlerin klasik yöntemlerle yapılmasının oldukça zor ve zaman alıcı olmasından dolayı, uzaktan algılama teknolojileri kullanılabilmektedir (Kapdaşlı ve ark. 1997). Bir uzaktan algılama yöntemi olan CoastSat açık kaynaklı yazılım araç takımı için tüm dosyalar GitHub'da saklanmakta ve herhangi bir kullanıcı CoastSat'ı kullanabilmekte, kodlarını

indirebilmekte, değiştirebilmekte ve geliştirebilmektedir. CoastSat'ın amacı, kıyı yöneticilerine, mühendislere ve bilim adamlarına kıyı şeridini izlemek ve keşfetmek için kullanıcı dostu ve pratik bir araç seti sağlamaktır (Vos ve ark. 2019). Bundan dolayı, bu çalışmada, Batı Karadeniz Bölgesinin önemli bir sahili olan Karasu Sahilinin Karasu Limanın doğusundaki yaklaşık 6,3 km'lik kısmının kıyı çizgisi değişiminin ve burada inşa edilen liman ve kıyı koruma yapılarının kıyı çizgisi değişimine etkisinin CoastSat açık kaynaklı yazılım araç takımı yardımıyla incelenmesi hedeflenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kıyı Çizgisi Değişimi için Temel Tanımlar

Sözlük anlamına göre kıyı; deniz, göl, akarsu gibi her türlü doğal su kütlesini çevreleyen toprak çeşidi veya denizin en alçak çizgisi ile kara arasındaki temas alanıdır (Kay ve Alder, 1999). Başka bir açıklamaya göre, kara ile denizin birleşimini gösteren arazi olarak düşünülebilir (Ketchum, 1972). Ülkemizde, yürürlükte olan 3621 sayılı Kıyı Kanunu ve bu kanunun bazı maddelerinde değişiklik yapılmasına dair 3830 Sayılı Kıyı Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun'a göre; deniz, doğal ve yapay göl ve akarsularda taşkın durumları dışında suyun kara parçasına değdiği noktaların birleşmesinden oluşan doğal çizgiye kıyı çizgisi denilmekte iken, deniz, doğal-yapay göl ve akarsuların, kıyı özelliği gösteren kesimlerinde kıyı çizgisinden sonraki kara yönünde su hareketlerinin oluşturduğu bölgelerin doğal sınırına kıyı kenar çizgisi adı verilmektedir. Ayrıca, deniz, göl ve akarsuların kıyı çizgisi boyunca uzanan kıyı hareketlerinin düştüğü kumluk, çakıllık, taşlık ve bataklık alanlarının kara yönündeki doğal çizgisi arasında kalan bölgeye kıyı denilirken, deniz, doğal ve yapay göllerin kıyı kenar çizgisinden itibaren kara önünde yatay olarak en az 100 m. genişliğindeki bölgeye sahil şeridi tanımlaması yapılmaktadır. Mevzuatta geçen tanımlar Şekil 2.1'de bir arada gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Kıyı Kanununa göre kıyı tanımlamalarını gösterir kroki (Sesli, 2006).

2.2. Kıyı Değişiminde Uzaktan Algılama

Kıyı çizgisinde doğal olarak bazı değişimler yaşanmakta ve bunlar, uzun dönemli değişimler, kısa dönemli değişimler ve epizodik değişimler olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bu bağlamda, uzun dönemli olan değişimler 10 ile 1000 yıllık zaman diliminde gerçekleşirken, kısa dönemli değişimler ise sadece 5 ile 10 yıllık dönemlerde gerçekleşen değişimelerdir. Epizodik değişimler ise doğal olaylar sonucunda fırtınalar gibi etkenlerle meydana gelen ani değişimler olarak açıklanmaktadır. Uzun dönemli değişimlerde bütün kıyı aynı miktarda etkilenirken kısa dönemli değişimlerde aynı kıyıda birkaç kilometre aralıklarla bir tarafta çekilme gözlenirken diğer tarafta karanın ilerlemesi ya da durağan olması gözlenebilmektedir. Bu değişmeler alçak kıyıların doğal karakteristiği gereği, dalgalar, rüzgârlar gibi doğal şartlarda yaşanan değişimlerin bir sonucu olarak çekilmesi ya da ilerlemesi şeklinde gerçekleşmektedir. Kıyı alanı yönetimi ve kıyı çizgisindeki ya da kıyı kullanımındaki değişikliklerin izlenmesi amacıyla son zamanlarda, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Uzaktan Algılama aynı zamanda kıyı değişiminde kullanılan en faydalı yöntemlerden biri olmuştur (Olgun, 2012).

Uzaktan algılama, yerinde saha ölçümlerinin mevcut olmadığı yerlerde kıyı bilim adamlarının ve mühendislerin ilgisini çeken zamansal ölçekleri çözebilen düşük maliyetli uzun vadeli kıyı şeridi verileri sağlayabilmektedir.

2.3. Karasu Sahiline Yönelik Yapılan Önceki Çalışmalar

Karasu sahiline yönelik geçmişten günümüze yapılmış çalışmaların kısa bir özeti aşağıda sunulmuştur:

Şafak (2005), Karasu bölgesinin kıyı çizgisini bir matematik modelle inceleyebilmek amacıyla rüzgâr dalgalarıyla oluşan kıyı boyu akıntısının kıyıda yaptığı etkileri inceleyerek olayı matematik bir dille ifade etmeye çalışmıştır.

Kutoğlu ve ark. (2010), Karasu sahilindeki kıyı çizgisi değişiminin ve erozyon miktarlarının belirlenmesi amacıyla 1987, 1995, 2003, 2011 ve 2013 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılarak 200 metrelere varan kıyı değişimleri tespit

edilmiştir. Kıyı değişiminin Karasu Limanı mendireği ile ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır.

İkieli ve Ustaoğlu (2011), Karasu bölgesinde kıyı çizgisi değişimini tespit edebilmek amacıyla 2003 tarihli Landsat 7 ve 2009 tarihli Spot 4 uydu görüntülerini kullanmıştır. 2010 yılındaki kıyı durumunu belirleyebilmek için de el tipi GPS aracı ile ölçümler yapılmış ve 2003 - 2009 yılları arasında 60 - 70 metre; 2009 – 2010 yılları arasında ise 20 - 30 metre kıyı erozyonu tespit edilmiştir.

Seker ve ark. (2011), Karasu bölgesinde meydana gelen kıyı erozyonu düzeyini belirlemek amacıyla 1987, 2001, 2006, 2009 ve 2010 yıllarına ait LANDSAT 5 TM uydu sensör verileri ana veri olarak GNSS ölçümü ile birlikte kullanılmıştır. Uydu sensör görüntülerinden incelenen farklı yıllar için kıyı çizgileri çıkarılmış ve varyasyonlar incelenmiştir. Seçilen 12 kesit üzerinde dönemler arasındaki farklılıklar analiz edilmiştir ve bazı kesimlerde 1987 ile 2010 yılları arasında kıyı erozyonu seviyesi 300 metreden fazla olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların ve kıyı çizgisi morfolojisinin uydu görüntülerinden elde edilen diğer parametrelerle birlikte analiz edilmesinden sonra, yakın zamanda inşa edilen liman kıyı erozyonunun ana nedeni olarak değerlendirilmiştir.

Anonim (2012), Karasu kıyı alanında yaşanan kıyı daralmasının nedenlerine ilişkin olarak çok yönlü bir inceleme yapılmıştır. Kıyı daralması raporunda; planlamalar sırasında havzanın bütününü göz ardı eden parçacı yaklaşıma dikkat çekilmiş, erozyonun yapılaşmadaki yanlış yer seçimlerinden, nehir yatağındaki düzensiz madencilik uygulamalarından ve kontrolsüz faaliyetlerden dolayı ortaya çıktığı sonucuna varılmıştır.

Marangoz ve ark. (2012), Karasu kıyı çizgisindeki değişikliklerin zamansal analizini, nesne tabanlı görüntü analizi yaklaşımları ile elde edilen sınıflandırma sonuçları temelinde incelemiştir. Bu amaçla, 1987, 2001, 2006 ve 2010 yıllarına ait çoklu spektral bantlara sahip Landsat görüntüleri kullanılmıştır. Bu görüntüler, eCognition v4.0.6 yazılımı tarafından ana segmentasyon adımları ile işlenmiş ve sınıflandırılmıştır. Böylece, kıyı şeridi vektörleri nesne tabanlı sınıflandırmalardan elde edilmiştir.

Aydın ve Uysal (2013), Sakarya-Karasu sahilinde son yıllarda meydana gelen kıyı erozyonunun belirlenmesini amaçlamıştır. Bunun için, 1987, 1995, 2003, 2011 ve 2013 tarihlerine ait Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI görüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan uydu görüntüleri seçilirken aynı mevsim hatta olabildiğince aynı ayların seçilmesine özen gösterilmiştir. Belirlenen Landsat uydu görüntüleri ilk önce radyometrik düzeltme işleminden geçirilmiş ve düzeltmeleri yapılan görüntülerden kıyı çizgisi çıkarılmış ve kıyı çizgileri üzerinde belirlenen 21 adet kesit için kıyı çizgisinin yıllar geçtikçe nasıl değiştiği tespit edilmiştir. Bu değişim belirlenirken 1987 yılı kıyı çizgisi referans alınarak belirlenen diğer yıllarla karşılaştırmalar yapılmıştır. Çıkarılan sonuca göre, en büyük değişikliğin Sakarya nehrinin Karadeniz'e döküldüğü nehir ağzı bölgesinde meydana geldiği tespit edilmiştir.

Aydın (2013), Karasu kıyısında meydana gelen erozyonların incelenmesi amacıyla 1987 yılından 2013 yılına kadar 26 yıllık kıyı çizgisi değişimi izlenmiştir. İncelemede farklı zamanlara ait uydu görüntüleri ve ortofoto görüntüsü değerlendirilmiştir. Erozyonu engellemek için inşa edilen ayrık dalgakıranların da etkisi belirlenerek risk analizi sonucunda, ayrık dalgakıranların olduğu alanın düşük riskli ve nehir ağzının her iki tarafı ve inşa edilecek ayrık dalgakıranların olduğu sahil şeridinin ise orta riskli alan olduğu belirlenmiştir.

Marangoz ve ark. (2013), Karasu bölgesindeki kıyı çizgisinin zamansal analizinin nesne tabanlı görüntü analizi yaklaşımı ile elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışma alanının 1987, 2001, 2006 ve 2010 yıllarına ait çok bantlı Landsat görüntüleri kullanılmıştır. Görüntüler sınıflandırma aşamaları için eCognition v4.0.6 yazılımında yürütülmüştür. Böylece nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile kıyı şeridinin vektörleri oluşturulmuştur. Daha sonra bu vektörler, ekran üzerinden manuel vektörleştirme sonuçları ve test bölgesinin referans vektörleri ile karşılaştırılmıştır. Çıkarılan sonuçlar doğrultusunda, bu tür kıyı erozyonu çalışmalarında yüksek çözünürlüklü görüntülerin kullanılması ile zamansal analizin başarı ile yapılabileceği ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamına aktarılabileceği tespit edilmiştir.

Tan (2013), Karasu kıyısındaki hidrodinamik yapının anlaşılması ve kıyı morfolojisinde meydana gelen değişikliklerin tespit edilmesi için saha çalışmalarının yanı sıra

Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHI) tarafından geliştirilen sayısal modeli kullanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, risk altında kabul edilen Karasu kıyı bölgesinin morfolojik yapısı, akıntı ve dalga iklimi elde edilmiştir. Ayrıca, risk analizi için küresel iklim değişikliği ile yapıların etkisi incelenmiştir. Bu tip doğal ve doğal olmayan etkilerin kıyı alanı ve sulak alan üzerinde risk oluşturduğu tespit edilmiş ve risk azaltıcı önlemler, elde edilen sonuçlarla birlikte tartışılmıştır.

Yuksel ve ark. (2013), Karasu kıyılarının iklim değişikliği karşısındaki kırılganlığını belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Kıyı şeridinin gerilemesinin yarı nicel sonuçları ve erozyon süreçleri için referans olarak bitki örtüsü ve kumun ara yüzü dikkate alınarak, hizalanmasının zamansal değişimi sunulmuştur. Karasu Plajı'nda morfoloji ve kıyı varyasyonunu belirlemek için bir çift model çalıştırılmış ve erozyon süreçleri için referans olarak bitki örtüsü ve kumun arayüzü dikkate alınmıştır. Çalışma alanındaki Karasu kıyılarında bölgede yaşayan insanların hayatlarını etkileyecek boyutlara varan erozyon görülmüştür. Sakarya Nehri üzerinde baraj inşaatı, kıyı mühendisliği yapılarının inşası ve plaj alanlarına kentsel müdahale gibi insan faaliyetlerinin kıyı erozyonunda büyük etkilere sahip olduğu belirlenmiştir.

Yüksel ve ark. (2014), Sakarya nehri ağzında meydana gelen morfolojik değişimleri ortaya koymak ve kıyı çizgisi gerilemesinin yarı niceliksel sonuçlarını sunmak amacıyla 2000 yılından bu yana toplanmış uydu görüntülerini, arazi verilerini ve hâlihazır haritaları kullanmışlardır. Karasu sahilindeki değişimin ve morfolojinin belirlenmesi için birleşik model ve tek çizgi modelini kullanmışlardır. Karasu kıyı alanının Sakarya Nehri havzasıyla birlikte bütünleşik bir modelini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak Sakarya nehri üzerinde ki barajların katı madde taşınmasını engelleyerek erozyona yol açtığı anlaşılmıştır. Karasu kıyı alanında erozyona neden olan diğer etkenlerin Sakarya nehrinden kum-çakıl alımı, denizden aşırı kum midyesi alımı, kıyı alanındaki plansız yapılaşmalar olduğu sonucuna varılmıştır.

Gormus ve ark. (2014), Sakarya ilinin Karasu sahilinde son yıllarda meydana gelen şiddetli erozyonların nedenleri ve kıyı yapılarına ilişkin çözüm önerilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Landsat uydu görüntülerinin zamansal analizlerine göre, 1987–2013 yılları arasında kıyı şeridindeki maksimum erozyonu 100 m olarak tespit etmiştir.

Çalışmanın sonuçları, Karasu kıyısındaki liman yapısının erozyonda en büyük etkiye sahip olduğunu göstermiştir. İkincil etken olarak da Sakarya Nehri'nin taşıdığı katı madde miktarının zamanla farklı nedenlerden dolayı azalmasının erozyona sebep olduğu sonucuna varılmıştır.

Uysal ve ark. (2017), Karasu kıyılarında 1987 ile 2016 yılları arasındaki kıyı değişimini izlemeyi amaçlamıştır. 1987'den 2016'ya kadar farklı tarihli uydu görüntüleri elde edilmiş ve her bir görüntüde kıyı çizgileri tespit edilmiştir. Ayrıca, belirlenen kıyı çizgileri üzerinde kesitler belirlenmiş ve belirlenen 21 adet kesit üzerindeki erozyon miktarları tespit edilmiştir. 1987 yılından günümüze kadar kıyıda önemli erozyonlar gözlemlenmiştir. Ayrıca, kıyı erozyonunu önlemek için Karasuda yetkililer tarafından inşa edilen 27 adet ayrık dalgakıranın 18 tanesi 2013 ile 2016 yılları arasında yapılmıştır. 2013 ve 2016 yılları arasında kıyı erozyonunun azaldığı ve ayrık dalgakıranların erozyonların önlenmesinde olumlu etki yaptığı görülmüştür.

2.4. CoastSat ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar

Bu çalışmada, kıyı çizgisi değişiminin belirlenmesi için kullanılan Coastsat yazılımı ile yapılmış önceki çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Vos ve ark. (2019), CoatSat'ın ve uyduların uzaktan algılama kabiliyetlerinin ve doğruluklarının belirlenmesi amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Avrupa, Avustralya, Amerika Birleşik Devletleri ve Yeni Zelanda'daki 5 farklı test sahasının kıyı çizgileri, 30 yılı aşkın kamuya açık uydu görüntülerinden çıkarılmış ve uzun vadeli yerinde ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Bu analizin sonuçları, günümüz uydu gözlemlerinin olay ölçeğindeki kıyı şeridi değişikliklerini yakalayabildiğini, son 30 yılı kapsayan ve geleceğe uzanan uydudan türetilen kıyı çizgilerinin güvenilir değerler olduğunu ve bilimsel araştırmalar için kullanılabileceğini göstermektedir.

Varnas (2020), Belirlediği 5 farklı kıyı şeridindeki değişimleri CoastSat ile tespit etmek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Öncelikle, Barselona şehrinde bulunan ve dalgakıranlarla korunan küçük bir plaj olan Bogatell Plajı incelenmiş daha sonra Barcelona şehrinin dışında bulunan 3 büyük plaj olan Castelldefels, Pals ve El Saler plajları ve son olarak Ebro Deltası incelenmiştir. Bogatell Plajı için elde edilen sonuçlar

kamera görüntüleri ve video görüntüleri ile karşılaştırılmış, küçük kumsallarda hassasiyetin oldukça yüksek olduğu ve yazılıma ekstra dokunuşlarla sonuçların son derece güvenilir olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu araştırma sırasında sadece Sentinel-2 görüntüleri kullanılmış ve büyük plajlar için yazılımın yüksek hassasiyet göstermediği verilerin çok fazla parazitten oluştuğu sonucuna varılmış ayrıca CoastSat yazılımı aracılığıyla elde edilen sonuçların yararlı ve umut verici olduğu kanıtlanmıştır.

Brown ve ark. (2020), python tabanlı bir Google Earth görüntü çıkarma aracı olan CoastSat'ı kullanarak Amerika Birleşik Devletleri'nin doğu kıyılarını kapsayan çeşitli bölgelerde kıyı şeritlerini elde etmeyi ve doğruluğunu değerlendirmeyi amaçlamıştır. Son 5 yıllık uydudan türetilmiş kıyı şeritleri kullanılarak kıyı çizgisindeki değişim oranları araştırılmış ve kıyı şeridi göçünün tahmininde potansiyel iyileştirmeyi değerlendirmek için her veri kümesine bir Kalman Filtresi veri özümseme yöntemi uygulanmıştır. Bu veri özümseme yaklaşımı, kıyı şeridi değişim oranlarındaki zamansal değişiklikler ile uygun kıyı dayanıklılık planlarının geliştirilmesine yardımcı olacak mekanizmalar arasındaki bağlantıları nesnel olarak belirlemek için kullanılmıştır. Sonuç olarak uydu görüntülerinin kıyı şeridinin zaman serisinin elde edilmesinde kullanılabileceği de görülmüştür.

Carpenter ve ark. (2020), optik uyduları kullanarak Kuzey Afrikada Fas ve Tunus kıyılarının kıyı çizgisi değişimlerini analiz etmeyi ve gelecek zamanlar için bu kumlu kıyı bölgeleri için tahminler yapmayı amaçlamışlardır. Bu çalışmayı yaparken CoastSat'tan yararlanmış ve Akdeniz kıyılarında Fas'ta ve Tunus'ta sırasıyla 0,15 ve 0,03m/yıllık genel yığılma eğiliminin olduğu, Atlantik kıyısı Fas ve Batı Sahra'da sırasıyla -0.09 ve -0.45m/yıllık bir gerileme olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca, şu anda enine kesitler ve kıyı şeritlerinin manuel olarak kaldırıldığını ve hatalı kıyı şeritlerinin gözden kaçmaması için hem kumlu hem de kumlu olmayan sahil şeritlerinde plaj profilleri de dâhil olmak üzere otomatik bir filtreleme ve temel çıkarma işlemi eklenerek güven seviyesinin arttırılabileceği, bu çalışmada kullanılan iş akışını iyileştirmek üzere tavsiye etmişlerdir.

Castelle ve ark. (2021), CoastSat araç setini kullanarak güneybatı Fransa'daki Truc Vert'in yüksek enerjili ve mezo-makrotidal plajında uydudan türetilen kıyı şeridi

değişimini incelemeyi amaçlamışlardır. Astronomik gelgit, gelgit olmayan su seviyesi kalıntıları, dalga hareketi ve yerel sahil eğiminin dâhil edilmesinin kıyı şeridi konum belirsizliklerini azaltıp azaltamayacağını ve dolayısıyla uzun vadeli eğilimlerin ve yıllar arası değişkenliğin daha iyi değerlendirilmesine yol açıp açmayacağını araştırmışlardır. Ayrıca, analizde uydu görüntülerinin sayısını artırmanın değerini de araştırmışlardır. Sonuçlar, CoastSat uydusu türevli su hattı algoritmasını geliştirmek zorunda kalmadan, belirli bir yükseklik verisiyle profil kesişimi olarak tanımlanan kıyı çizgisi konumunun tahmininin, mezo-makrotidal yüksek enerjili kumlu bir plajda büyük ölçüde geliştirilebileceğini göstermiştir. Çalışmada, sağlam bir metodolojinin geliştirilmesi yoluyla kıyı şeridi hatalarının azaltılmasına katkıda bulunan temel parametreler belirlenmiştir. Belirsizliklerin belirlenmesi için özellikle yansıtıcı çakıl ve karışık kum-çakıllı plajlarda ve aşırı enerji tüketen kumlu gelgit plajlarında test edilmesi gerektiği ve daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu belirtilmiştir.

Fenwick (2021), Kıyı şeritlerini yarı otomatik olarak haritalayan CoastSat adlı açık kaynaklı yazılım araç setinin yardımı 1984'ten günümüze Kuzey Denizi çevresindeki beş kumsalın analiz edilmesi amaçlanmıştır. Özetle Egmond aan Zee'de sabit bir kıyı şeridi konumu, Schiermonnikoog'da 200 metreden fazla yığılma, Skallingen' de 150 metreden fazla güçlü kıyı şeridi erozyonu, Groenendijk'te 25 metre yığılma ve Theddlethorpe'da 60 metre kıyı şeridi artışı tespit edilmiştir.

Azevedo (2022), CoastSat ve CoastSnap araçları kullanılarak 1986 ve 2021 yılları arasında Pântano do Sul - Açores sahil şeridinin kıyı şeridi değişimlerinin elde edilmesi ve analiz edilmesi amaçlanmıştır. CoastSnap tarafından elde edilen en büyük değişiklik, 14 Şubat 2019 ve 03 Mart 2020 arasında 50 m ile meydana gelmiştir. CoastSat tarafından 10 Ocak 2019 ile 02 Ağustos 2020 arasındaki dönem için çıkarılan kıyı şeritleri, maksimum 75 m'lik bir kıyı şeridi değişimi göstermiştir. Bulunan değerler, farklı zaman ölçeklerinin seçiminin erozyon oranlarının değerleri üzerinde doğrudan etkisi olduğunu göstermektedir. Analiz edilen periyotlar arasında bulunan erozyon oranları, belirlenen eğilim değerlerinin büyüklüğünün, zaman ölçeği küçüldükçe yoğunlaştığını göstermiştir. Ayrıca uzaktan algılama yöntemlerinin kıyı şeridi değişkenlik analizi için verimli ve umut verici olduğunu göstermiştir.

Curoy ve ark. (2022), Güney Tayland'da Krabi ve Nakhon Si Thammarat kıyı şeritlerinin 1990 ve 2019 yılları arasındaki kıyı değişiminin CoastSat araç takımı kullanılarak incelenmesi amaçlanmıştır. Nakhon Si Thammarat mangrovlarında -66 ila +16.4 m/y arasında değişen kıyı şeridi değişimi ve Krabi sahili boyunca mangrovlarda -34.5 ila +21,7 m/yıl ve kumlu plajlarda ise -4,1 ila +4 m/yıl arasında değişim belirlenmiştir. Bu çalışma aynı zamanda büyük ve ani kıyı erozyon hareketleri ile Çin Denizi'nden gelen tayfunların veya tropikal fırtınaların oluşumu arasındaki eşzamanlılığı ortaya çıkararak, Güney Tayland'ın doğu kıyısındaki katı maddelerin yeniden hareketlenmesinde aşırı hava olaylarının önemini vurgulamıştır. Ayrıca bu çalışma geniş alanlar üzerinde önemli ve güvenilir zaman serisi kıyı şeridi verileri sağlamak için CoastSat gibi ücretsiz olarak temin edilebilen yarı otomatik araç takımlarının kullanımının yararlı olduğunu göstermiştir.

Karasu Sahili için yapılan daha önceki çalışmalar bu bölgede geçmiş yıllarda önemli kıyı erozyonlarının meydana geldiğini ortaya koymuştur. Farklı yıllarda yapılan çalışmalar için farklı sonuçlar elde edilmiş ve erozyonların sebebi olarak genellikle burada inşa edilen kıyı yapıları verilmiştir. Yapılan bu çalışmada, bölgede inşa edilen bütün kıyı yapılarının ve bölgede meydana gelen dalgaların kıyıya yaptıkları etkiler birlikte incelenmiştir. Karasu Sahilinde inşa edilen kıyı yapılarının etkilerinin bu kadar kapsamlı incelendiği güncel bir çalışma bulunmamaktadır. Öte yandan, daha önceki çalışmalar incelendiğinde, kıyıdaki değişimlerin belirlenmesi için uydu görüntüleri sıklıkla kullanılmıştır. Bu çalışmada da uydu görüntülerinden yararlanılmıştır, bu bağlamda önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Fakat uydu görüntülerine erişim ve bu uydu görüntülerinin işlenip analiz edilmesi için CoastSat araç takımı kullanılmıştır. CoastSat araç takımı kullanılarak daha önce Karasu ile ilgili bir çalışma yapılmamıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Bölgesi

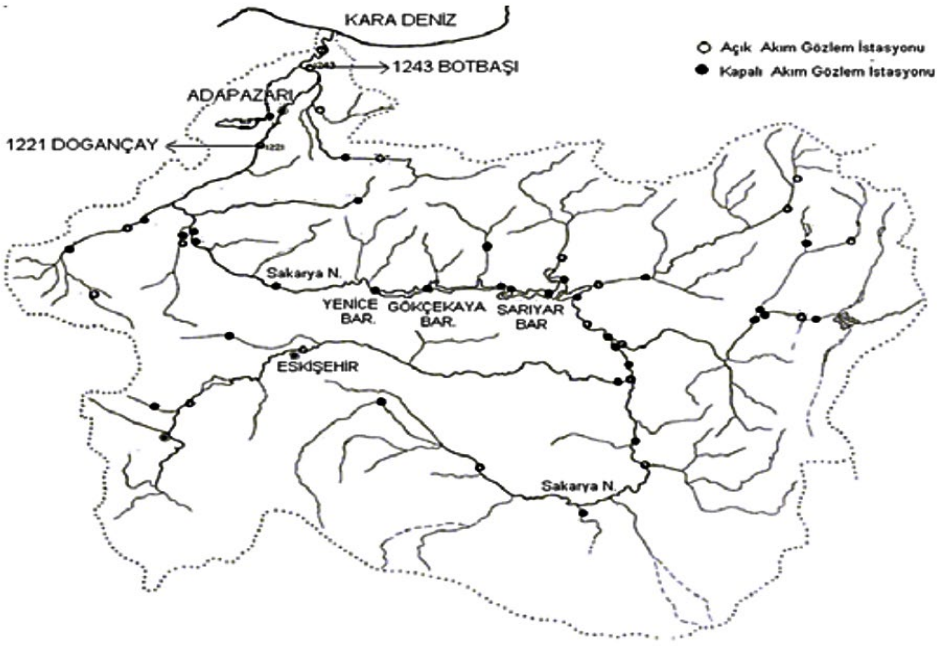
Çalışma alanı, coğrafi olarak Sakarya ilinin Karasu kıyısı olarak adlandırılan Karadeniz kıyı kesimi içinde yer almaktadır ve farklı ölçeklerdeki haritalarda kırmızı renk ile taranmış olarak Şekil 3.1'de sunulmuştur.



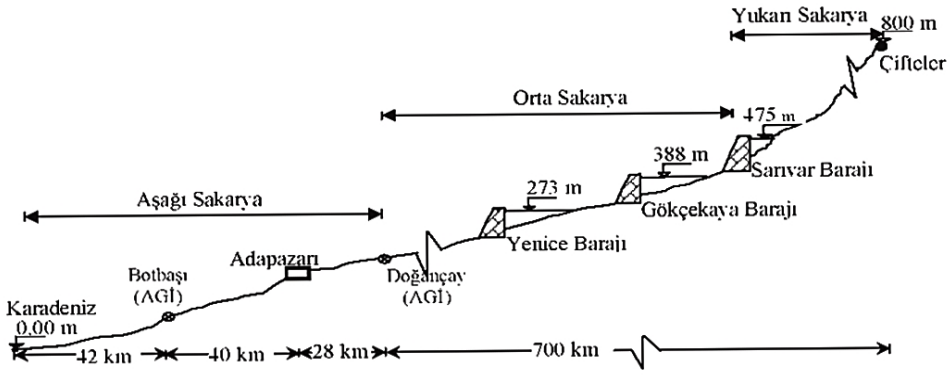
Şekil 3.1. Çalışma alanı

Karasu kıyısı, Sakarya Nehir ağzının yaklaşık olarak batısında 25 km, doğusunda 30 km kıyı alanına sahip; batıda Kefken, doğuda Akçakoca ile sonlanmaktadır. Karasu kıyısının içinde bulunduğu Sakarya ili, Marmara Bölgesi içinde, bölgenin kuzeydoğu ucunda konumlanmaktadır. Coğrafi değerler bakımından 29°57' – 30°53' doğu boylamları ile 40°17' –41°13' kuzey enlemlerinde konumlanmıştır. Döküldüğü Karadeniz'de kıyı kesimini oluşturan Sakarya Nehri, iç Anadolu'ya kadar uzanan

beslenme havzasına sahiptir. Sakarya Nehir Havzası, Sakarya, Bolu, Ankara, Konya, Afyon, Eskişehir, Bilecik, Bursa ve Kütahya illeri olmak üzere dokuz il sınırı içine girmektedir. Şekil 3.2'de Sakarya nehri havzası ve şekil 3.3'de Sakarya nehri boykesiti görülmektedir. Karasu kıyı kesimi Karasu, Kaynarca ve Kocaali ilçeleri olmak üzere üç ilçe sınırı içinde kalmaktadır (Anonim, 2012).



Şekil 3.2. Sakarya nehri havzası (Anonim 2012)



Şekil 3.3. Sakarya nehri boykesiti (ölçeksiz) (Anonim 2012)

3.2. Bölgenin İklim Özellikleri

Sakarya'nın Karadeniz iklimi ve Akdeniz ikliminin etkili olduğu bölgeler arasında bulunmasından dolayı bu bölgede iklim olarak geçiş özellikleri izlenmektedir. Yaz kuraklığının sürekli olmamasından dolayı bazı yıllarda yağışın çok azalması ve genel olarak ortalama ve mutlak sıcaklık farklarının az oluşu, bölgenin Akdeniz ve Karadeniz ilkim bölgeleri arasında bir geçiş alanı olmasının göstergesidir. Marmara ve Karadeniz bölgesinin iklim özelliklerine sahip olan Sakarya ili yağışlı rutubetli bir havaya ve ılıman bir iklime sahiptir. Kışları bol yağışlı ve ılık, yazlar sıcaktır. Sakarya Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü'nün yapmış olduğu gözlemlere göre ortalama sıcaklık bakımından 6,0˚C ile en soğuk ay ocak ayı olup, en sıcak ay 23,2 ˚C ile temmuz ayıdır. Sıcaklık ortalaması 14,4 ˚C 'dir. Ortalama açık gün sayısı 50, kapalı gün sayısı 120 gündür. Yıllık yağış ortalamasının 1,016 mm olduğu Sakarya'da en fazla yağış alan aylar 104,4 mm ile aralık, 92,5 mm ile ocak aylarıdır. Yılda ortalama 116,2 gün yağışlı geçmektedir. Yılda ortalama karla örtülü gün sayısı 9'dur. Esme sayısı yönünden hâkim rüzgâr yönü kuzeybatıdır. Kuzeybatı (karayel) rüzgârları Sapanca Gölü üzerinde Sakarya Ovası'nın içlerine sokularak iklimi az da olsa serinletmektedir. En çok esen rüzgârlar kuzeybatıdan karayel ve kuzeydoğudan poyrazdır. İlde en hızlı esen rüzgâr 22,3 m/sn ile güney-güneybatı rüzgârlarıdır (Anonim, 2012).

3.3. Akıntı Sistemi ve Kıyı Dinamiği

Karasu kıyı şeridi, kıyı boyu taşınımı açısından aktif bir kıyı olarak belirlenmektedir. Karasu sahilinde kıyı boyu katı madde taşınımının her iki yönde (doğu-batı ve batı-doğu) etkili olduğu, ancak uzun vadede Sakarya nehrinin de etkisiyle batıdan doğuya doğru kısmen daha fazla net taşınım olduğu belirtilmektedir (Şekil 3.4) (Anonim, 2012).



Şekil 3.4. Karasu kıyı alanı dalga yönleri (Anonim, 2012)

Kıyı bölgesi morfolojisi, sığ sular ve tabanın aşırı eğimi ile deniz dinamiğinde önemli bir yere sahiptir. Rüzgâr enerjisiyle oluşan dalgaların büyük bir bölümünün enerjisi kıyı bölgesi tarafından soğrulmakta ve dalga enerjisinin dağıtılması aşırı su değişimi, sualtı barlarının oluşumu ve aktif yer değiştirmesi ve kıyının göçüne neden olmasıyla birkaç belirgin su-kayaç-morfo-dinamik işlevler oluşturmaktadır. Kıyıdan taşınan malzeme taşındığı bölgede çökmekte veya derin deniz bölümlerine taşınmaktadır (Anonim, 2012).

3.4. Kullanılan Uydular ve Özellikleri

Yapılan çalışmada, 1990 yılından 2021 yılına kadar kıyı analizinin yapılabilmesi için Landsat 5 (TM), Landsat 8 (OLI) ve Sentinel-2 (MSI) uydularından temin edilen görüntüler kullanılmıştır. Landsat 7 uydusu görüntüleri, elde edilen görüntülerin kalitesinin kötü olması, kesik kesik görüntülerin oluşması vb. nedenlerle bu çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Her uydunun çalışma zamanı, tekrar görüntü almak için geçirdiği zaman ve piksel boyutları farklıdır. Şekil 3.5'de uyduların özellikleri özet olarak verilmiştir.

Uydu görevi	GEE koleksiyonu	Zaman kapsamı	Yeniden ziyaret dönemi	Piksel boyutu
Landsat 5 (TM)	LANDSAT / LT05 / C01 / T1_TOA	1984–2013	16 gün	30 m R, G, B, NIR, SWIR1 bantları
Landsat 7 (ETM +)	LANDSAT / LE07 / C01 / T1_RT_TOA	1999-günümüz	16 gün	30 m R, G, B, NIR, SWIR1 bantları + 15 m pankromatik bant
Landsat 8 (OLI)	LANDSAT / LC08 / C01 / T1_RT_TOA	2013-günümüz	16 gün	30 m R, G, B, NIR, SWIR1 bantları + 15 m pankromatik bant
Sentinel-2 (MSI)	COPERNICUS / S2	2015-günümüz	5 gün	10 m R, G, B, NIR + 20 m SWIR1

Şekil 3.5. CoastSat ile erişilebilen uydular ve çeşitli özellikleri

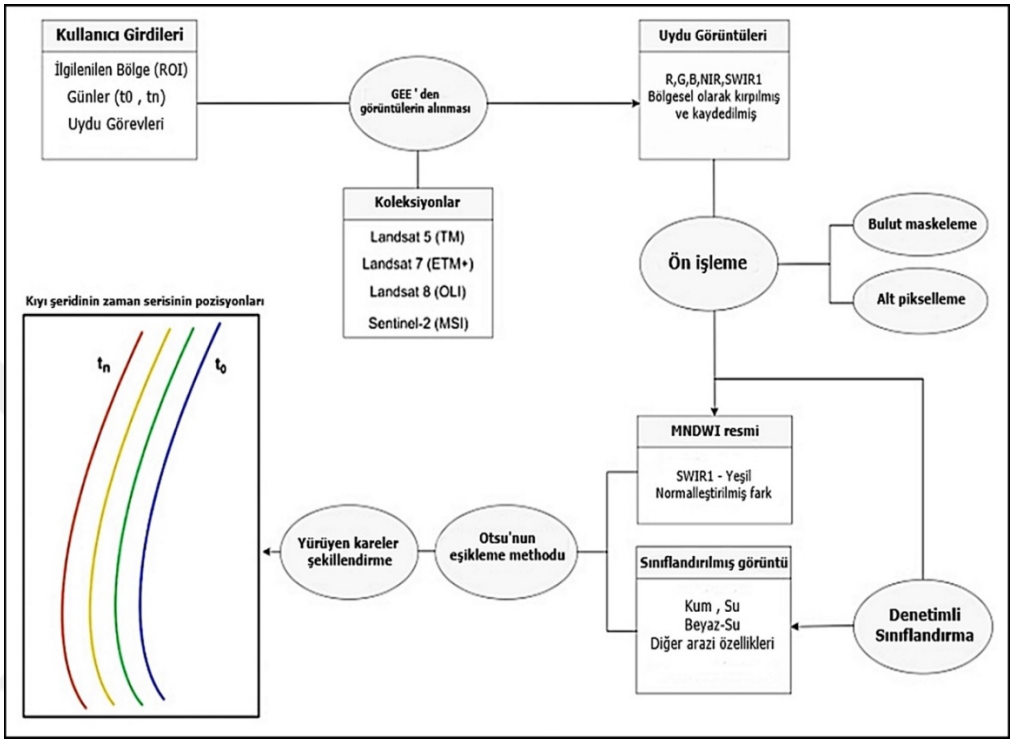
3.5. Dalga Verileri

Karasu kıyısını zorlayan deniz dalgalarının dalga yüksekliklerinin zaman serisini elde edebilmek ve bu zaman serisinden fırtınaları ayıklayabilmek için Akpınar ve ark. (2016)'nın yaptıkları çalışmada üretilen veri setinden yararlanılmıştır. Bu bağlamda, Karasu plajını temsil eden bir açık deniz istasyonu belirlenmiş ve yarım saatlik belirgin dalga yüksekliklerinin uzun dönemli tahmin verisi 41,1333° Kuzey enlemi ve 30,73333° Doğu Boylamına denk gelen istasyon için veri tabanından çekilmiştir.

3.6. CoastSat

Yapılan çalışmada, Karasu Sahilinin kıyı çizgisinin zaman serisini elde edebilmek için CoastSat araç seti kullanılmıştır. Bunun için, bir Python geliştirme ortamı olan PyCharm üzerinden CoastSat araç takımı çalıştırılmıştır. CoastSat, Python'da yazılmış, kullanıcıların halka açık uydu görüntülerinden dünya çapında herhangi bir kumlu sahil şeridinde zaman serisini ve kıyı şeridi konumunu elde etmesini sağlayan açık kaynaklı bir yazılım araç setidir. Araç seti, Landsat ve Sentinel-2 görüntülerini verimli bir şekilde almak için Google Earth Engine'nin yeteneklerinden yararlanarak kıyı yöneticilerine,

mühendislerine ve bilim adamlarına kıyı şeritlerini izlemek ve keşfetmek için kullanıcı dostu ve pratik bir araç takımı sağlamaktadır. Yazılım, GitHub'dan (https://github.com/kvos/CoastSat) ücretsiz olarak temin edilebilmektedir (Vos ve ark. 2019). Şekil 3.6'te CoastSat'ın işlevlerini özetleyen bir akış şeması verilmiştir.



Şekil 3.6. CoastSat'ın işlevlerini özetleyen akış şeması (Vos ve ark. 2019).

3.6.1. Görüntü edinme

CoastSat Görüntü alımlarını Google Earth Engine aracılığıyla yapmaktadır. Bunun için, CoastSat arayüzünde sağlanan birkaç temel adım takip edilmiştir. Bu adımlar:

i. Coğrafi koordinat sistemi kullanarak çalışma alanı olan bölgeyi bir çokgen biçiminde tanımlama: Çalışma bölgesi Karasu plajı için koordinatlar Google maps üzerinden çokgen olarak belirlenmiş ve KML formatında elde edilip daha sonra Notepad++ uygulamasından açılarak CoastSat'a aktarılmıştır.

ii. Zaman aralığının seçilmesi: Zaman aralığı olarak Karasu'da yapılan kıyı yapılarının kıyıya olan etkilerini daha iyi gözlemleyebilmek için 1990-2021 yılları seçilmiştir.

iii. Görüntülerin indirileceği uyduların seçilmesi (Landsat 5, 7, 8 ve Sentinel-2): Her uydu, görüntüleri belirli tarihler arasında alabildiği için Landsat 5 (TM), Landsat 8 (OLI), Sentinel-2 (MSI) uyduları birlikte seçilmiştir.

iv. Görüntülerin kaydedildiği site adını ve dizini tanımlama.

Şekil 3.7'te çalışma bölgesi için CoastSat'ta kullanılan kullanıcı girdileri görülmektedir. Bu girdiler, çalışma alanı olan bölgeye özel olarak ayarlanmaktadır.

```
# region of interest (longitude, latitude in WGS84)
polygon = [[
    [30.6806658,41.1239561],
    [30.6737135,41.114645],
    [30.7424638,41.0880949],
    [30.7484291,41.0975391],
    [30.6806658,41.1239561]
]]
# can also be loaded from a .kml polygon
# kml_polygon = os.path.join(os.getcwd(), 'examples', 'NARRA_polygon.kml')
# polygon = SDS_tools.polygon_from_kml(kml_polygon)
# convert polygon to a smallest rectangle (sides parallel to coordinate axes)
polygon = SDS_tools.smallest_rectangle(polygon)

# date range
dates = ['1990-01-01', '2021-08-03']

# satellite missions
sat_list = ['L5', 'L8', 'S2']

# name of the site
sitename = 'KARASUPLAJI'
```

Şekil 3.7. Karasu için CoastSat 'a girilen kullanıcı girdileri

3.6.2. Kıyı şeridi çıkarma

Google Earth Engine sunucularından çalışma alanının görüntüleri alındıktan sonra kıyı şeridinin elde edilmesi için CoastSat ara yüzü tarafından sağlanan araç seti kullanılmıştır. Araç seti, kıyı şeridini daha doğru tanımlamak ve mümkün olan en iyi doğruluğu elde etmek için aşağıda tanımlanan farklı parametreler kullanılarak birkaç kez çalıştırılmıştır.

i. amin_beach_area: Bir nesnenin plaj olarak etiketlenmesi için minimum alanı (m^2 cinsinden) ifade etmektedir.

ii. buffer_size: Kıyı şeridi tespitinde dikkate alınan kumlu piksellerin etrafındaki tampon için yarıçapı (metre olarak) ifade etmektedir.

iii. min_length_sl:_Geçerli olacak kıyı şeridi çevresinin minimum uzunluğunu (metre olarak) ifade etmektedir.

Diğer parametreler varsayılan olarak bırakılmıştır (tüm parametreler ve yazılımlar için örnek-https://github.com/kvos/CoastSat/blob/master/example_jupyter.ipynb).

3.6.3. Görüntüleri kaydetme

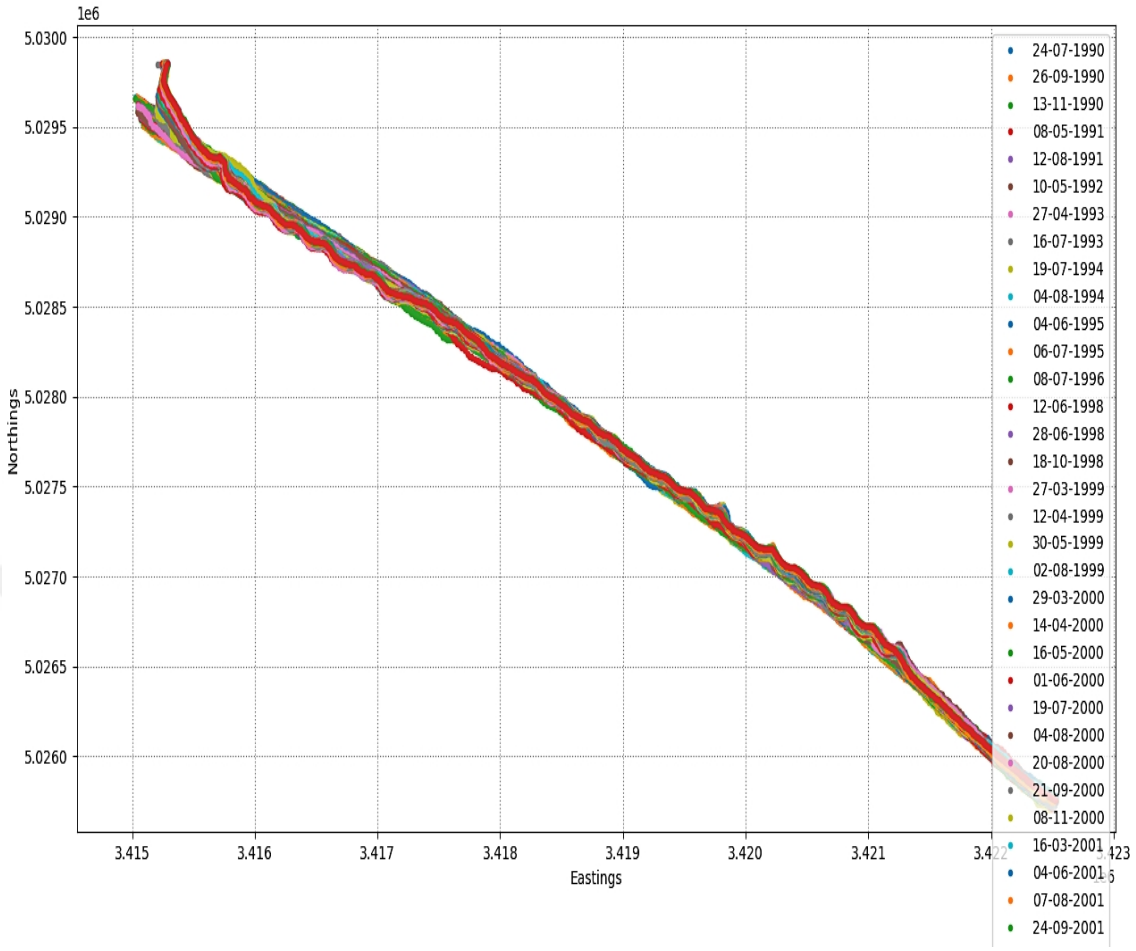
Google Earth Engine aracılığıyla elde edilen tüm görüntüler TIFF formatındadır. CoastSat komutlarından biri, elde edilen görüntüleri dönüştürerek resmin çekildiği tarihi ve saati içeren JPEG formatında kaydetmektedir.

3.6.4. Referans kıyı şeridi seçimi

Referans kıyı şeridi seçilirken kullanıcı tarafından JPEG resimlerinden bulutsuz ve net olan herhangi birinde referans kıyı şeridi manuel olarak belirlenmektedir. CoastSat bu referans kıyı çizgisinden belirli bir mesafedeki noktaları geçerli kıyı çizgileri olarak kabul ettiğinden, kıyı çizgileri haritalanırken aykırı değerlerin ve yanlış algılamaların önüne geçilmesine yardımcı olup daha sonraki uydu görüntülerinden kıyı şeridinin otomatik olarak tespit edilmesini kolaylaştırarak bir referans oluşturmuştur.

3.6.5. Kıyı tespiti

Ayarlanmış parametreler ve yerinde bir referans kıyı şeridi ile CoastSat kıyı şeridi tespit aracı, alınan görüntülerden kıyı şeritlerini çıkarmak için kullanılmıştır. CoastSat yazılımı kıyı şeridi değerlendirmesi için araç setine eklenmiş bir algoritma kullanmaktadır. Algoritma su, beyaz su, kum ve diğer arazi özellikleri olarak dört farklı piksel sınıflandırma indeksi kullanarak su ve kara arasındaki eşiği tespit etmektedir. Çıkarılan kıyı şeritleri iki farklı dosya formatında; .pkl ve .geojson olarak kaydedilmektedir. Ek olarak kullanıcı, tespit edilen kıyı şeridi ile her bir görüntüyü inceleyip görüntüyü tutmak mı yoksa atmak mı istediğine karar verebilmekte ve haritalanmış kıyı şeritlerinin görüntülerini kaydedebilmektedir. Karasu plajı için yanlış olan ve bulutlu olup net olmayan tüm görüntüler ve veriler manuel olarak silinerek sadece net ve doğru olan haritalanmış kıyı şeritleri kaydedilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. CoastSat aracılığıyla Karasu plajı için elde edilen bütün kıyı şeritleri

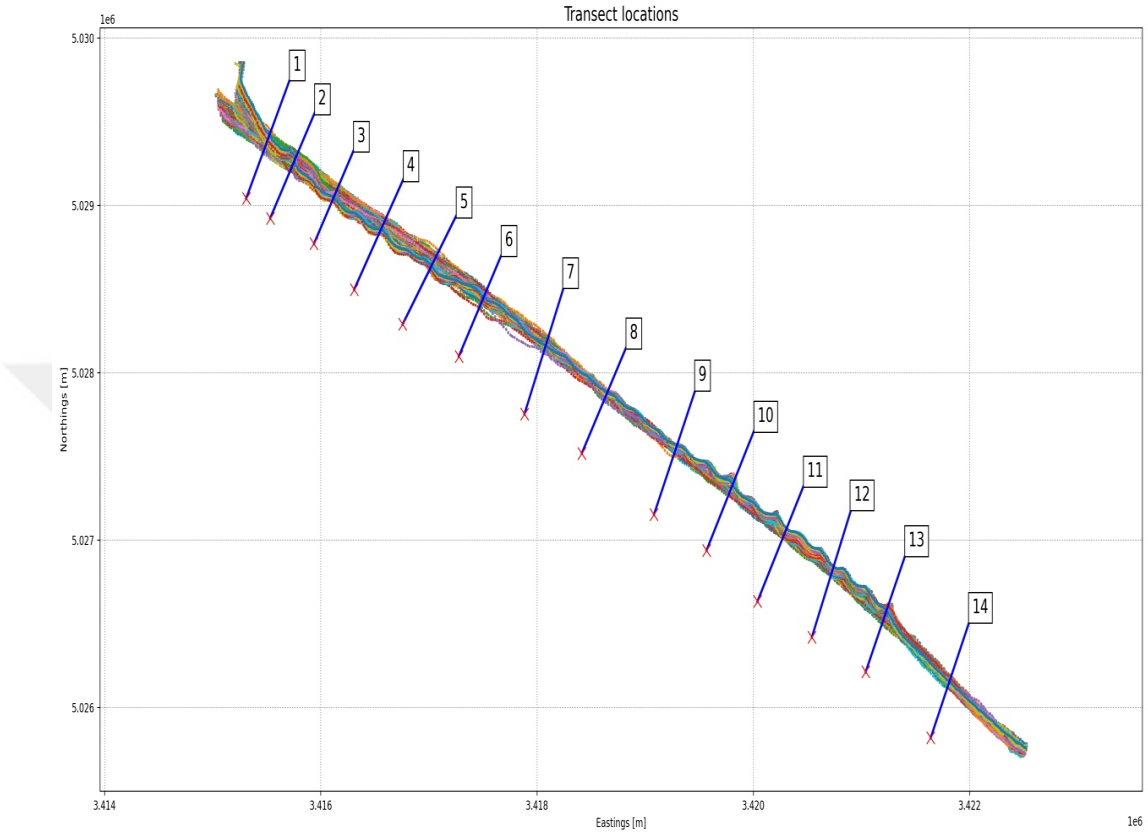
3.6.6. Kıyı analizi

Sayısal veriler elde etmek için çıkarılan kıyı şeritleri üzerine istenilen aralıklarla kesitler eklemek gerekmektedir. CoastSat kullanıcılarının ilgi alanına enine kesitler eklemesi için üç yol sunmuştur:

i. Çıkarılan kıyı şeritlerinin üzerine kesitleri manuel olarak çizmek,
ii. Kesitlerin koordinatlarını içeren .geojson formatında bir dosya yüklemek,
iii. CoastSat ara yüz penceresine kesit koordinatlarını manuel olarak eklemek.

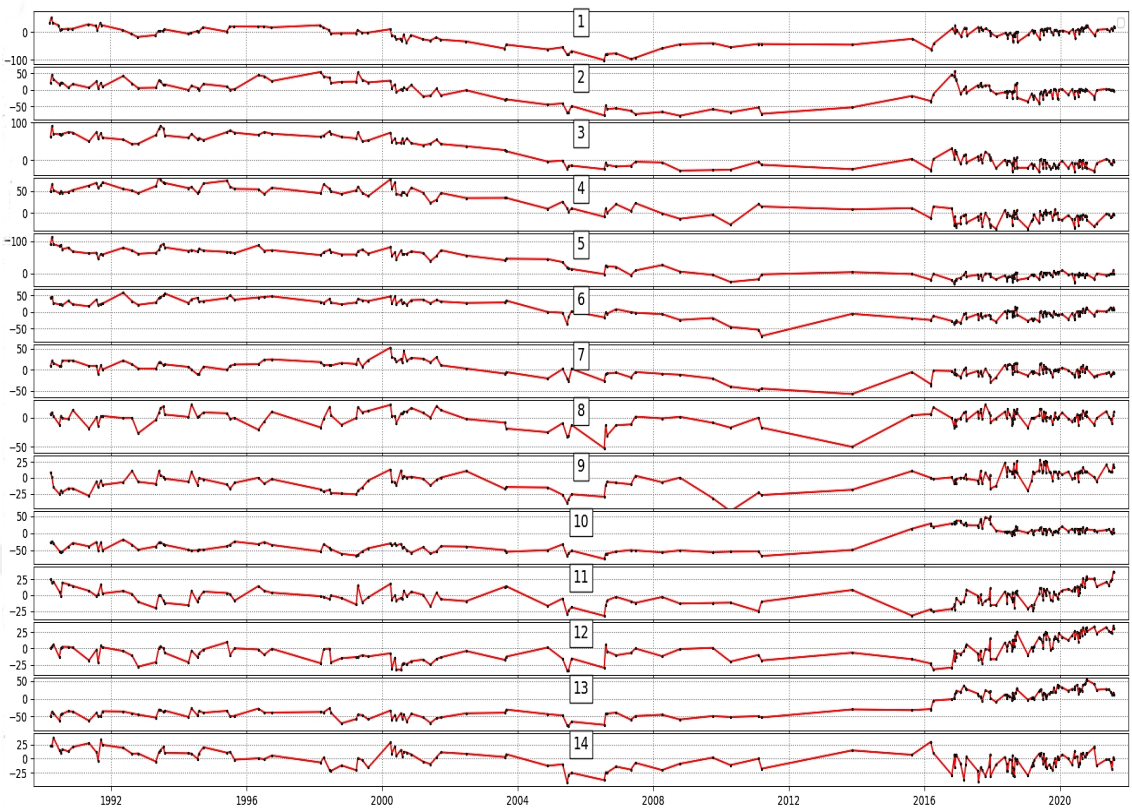
Çalışma bölgesi olan Karasu Plajı için ilk seçenek seçilmiş ve kesitler manuel olarak eklenmiştir. Elde edilen bütün kıyı şeritleri üzerinde istenilen yerde ilk noktası karaya doğru ikinci noktası ise denize doğru olacak şekilde kesitler belirlenmiştir (Şekil 3.9). Belirlenen bu kesitler için hesaplamalar yapıldıktan sonra tüm bu kesitler için yıllara

göre değişim grafiği Coastsat tarafından otomatik olarak oluşturulmuştur (Şekil 3.10). Kıyı çizgileri ve belirlenen bu kesitler .geojson formatında elde edilmiş ve tarih başına kıyı şeridi konumları serisi .csv formatında elde edilmiştir.



Şekil 3.9. Kıyı şeritleri üzerinde belirlenen kesitler

CoasSat araç seti bir kesit içindeki kıyı çizgisi konumunu hesaplarken, bunu kesitin kendisinin başlangıç noktasına göre yapmakta, yani her kesitin başlangıç noktasının kıyı şeritlerinden farklı bir mesafede olması verileri büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, ilgili zaman periyodu boyunca tüm kıyı şeridi konumlarının ortalaması, kesit başına alınmıştır. Daha sonra, her bir kıyı çizgisi konumu ortalamadan çıkarılmış ve düzeltilmiştir. Bu, zaman noktalarının her biri için doğru bir şekilde ölçülen kıyı çizgisi konumunun elde edilmesini sağlamıştır.



Şekil 3.10. Belirlenen kesitlerdeki yıllara göre değişim miktarı

CoastSat'ın kıyı şeridi haritalama algoritması, her pikseli kum, su, beyaz su ve diğer arazi özellikleri olarak 4 sınıfa etiketleyerek bir görüntü sınıflandırma şeması kullanmaktadır. Bu sınıflandırıcı çok çeşitli farklı kumsallar kullanılarak eğitilmiş olsa da, daha önce hiç görmediği belirli alanlarda çok iyi performans göstermeyebilir. Bu sebepten dolayı, CoastSat'ın görüntü sınıflandırıcısının çalışma alanı olan bölge için özel olarak yeniden eğitilmesi gerekmektedir. Bu eğitme birkaç dakika içinde yapılabilmekte ve daha doğru sonuçlar alınabilmektedir.

4. BULGULAR

4.1. Karasu Sahili Kıyı Çizgisi Değişiminin Analizi

Çalışma bölgesi olan Karasu Sahilinde yıllar içerisinde farklı kıyı yapıları inşa edilmiştir. İnşa edilen bu yapılar ile çevre koşulları etkileşime girerek ilgili kıyı şeridinde oyulma ve yığılmaların oluşmasına sebebiyet vermiştir. Bu tez çalışması kapsamında, Karasu sahilindeki erozyon ve yığılma olaylarının uydu dayalı ortaya çıkartılması ve inşa edilen yapıların bu etkileşimdeki etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, öncelikle liman yapısının kıyı çizgisi değişimine etkisi irdelenmiş, daha sonra mahmuzların ve devamında ayrık dalgakıranların kıyı çizgisine etkileri Coastsat yardımıyla ortaya konulmuştur. Kıyı çizgisi değişiminde fırtınaların etkisi de ayrıca irdelenmiştir. İlgili kıyı şeridinde değişime sebep olup olmadığının irdelendiği tüm yapıların bir kronolojik cetveli Şekil 4.1'de özetlenmiştir.

4.2. Karasu Limanının Karasu Sahili Kıyı Çizgisi Değişimine Etkisi

Karasu Limanı, "Karasu Balıkçı Barınağı" olarak 1994 yılında ihale edilmiş, yapımına 1995 yılında başlanılmıştır. Yapımına "Karasu Balıkçı Barınağı" olarak başlanılan proje, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Yüksek Planlama Kurulunun 30.10.1997 tarih ve 97/112 sayılı kararı ile Ulaştırma Limanı Projesi'ne dönüştürülmüştür. Karasu Limanı İnşaatının, ana mendirek ve geri saha dolgu inşaatı işlerini içeren ilk kısım inşaatı 2009 yılında tamamlanmıştır (Aydın ve Uysal, 2013). Karasu Limanı projesi kapsamında, "Tali dalgakıran, ana dalgakıran kronman duvarı inşaatı, ro-ro kapak atma rampası ve rıhtımlar, sahsa beton kaplama imalatları, limanın kara ve demiryolu bağlantısının sağlanması, elektrik, yangın ve su tesisatı, arıtma tesisi, üst yapı tesisleri, işletme ve idari binası, yarı açık ve kapalı depolar, tamir ve bakım üniteleri, gümrük muhafaza tesisleri" inşaatını içeren ikinci kısım inşaatı işleri Yap İşlet Devret modeliyle yaptırılmış olup, anılan işin sözleşmesi 2010 yılında imzalanmıştır (Aydın, 2013).

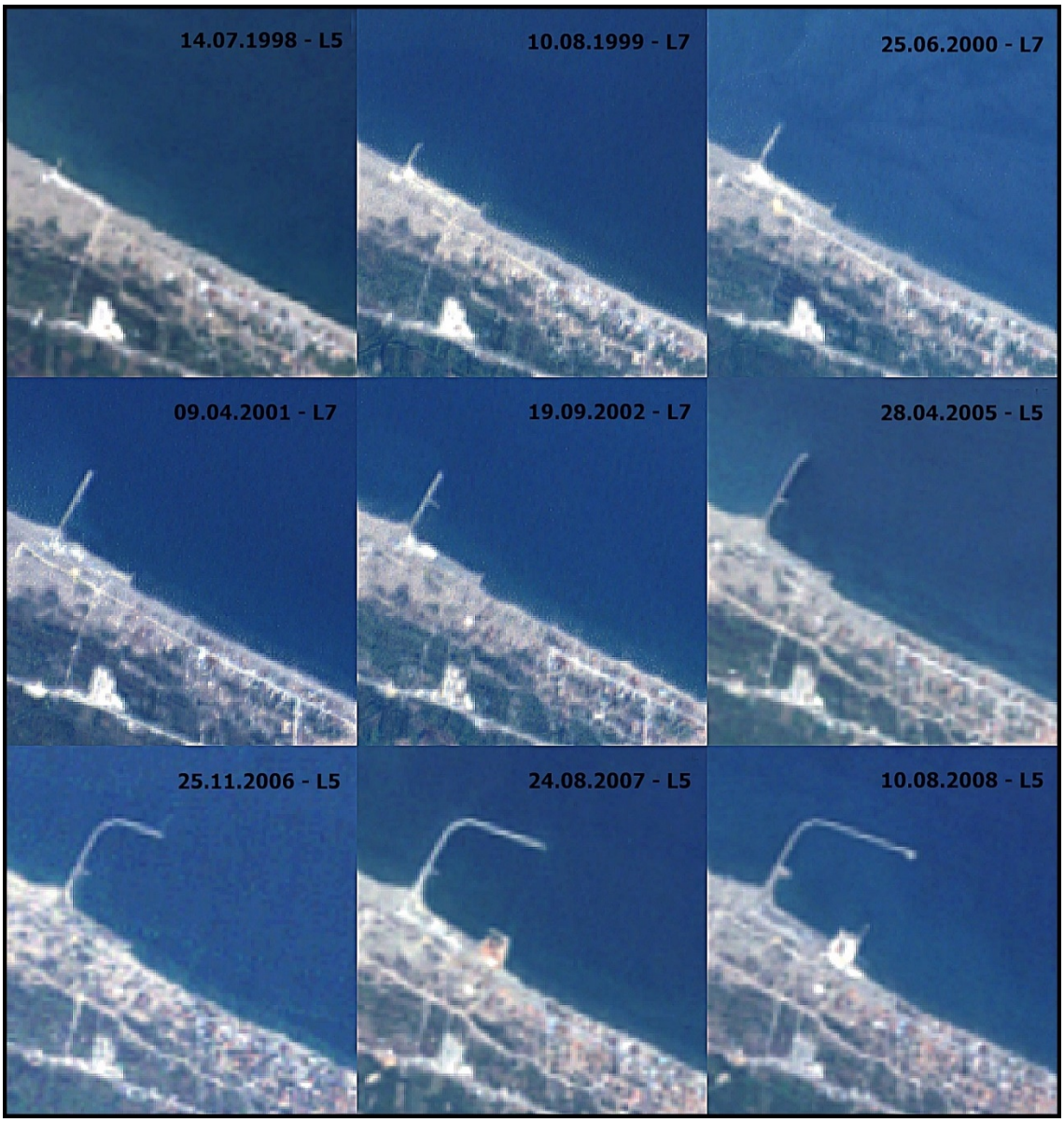


Şekil 4.1. Çalışma bölgesinde sahilde inşa edilen yapılara ait kronolojik cetvel

Şekil 4.2'de Limanın tamamlanma sürecini gösteren Landsat 5 ve Landsat 7 uydu görüntüleri CoastSat aracılığıyla elde edilmiştir. Bu uydu görüntüleri incelendiğinde, limanın Sakarya Nehrinden gelen katı maddenin taşınmasını engelleyici uzantısının 1999 ve 2000 yılında iyice belirginleştiği ve liman kaba inşaatının 2008 yılında büyük ölçüde tamamlandığı görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.3 incelendiğinde, liman inşaatının uzun yıllar boyunca devam ettiği görülmektedir.

Liman inşaatının kıyı üzerindeki etkisini daha iyi anlayabilmek ve kıyı çizgisi değişimini çalışma alanının tamamında inceleyebilmek için Coastsat' tan elde edilen

.geojson çıktıları, ücretsiz açık kaynaklı bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımı olan QGIS uygulamasında 2021 yılına ait uydu görüntüsü üzerinde açılarak görselleştirilmiştir. Mevsimlerin kıyı çizgisi değişimi üzerindeki etkisini en aza indirebilmek için aynı ay ve farklı yıllara ait kıyı çizgilerinin seçilmesine özen gösterilmiştir. Belirlenen yıllara ait kıyı çizgisi görünümleri ilk olarak küçük ölçekli olarak eklenmiş daha sonra kıyı çizgilerinin 2021 yılına ait uydu görüntüsü üzerinde daha net incelebilmesi için farklı kesitler halinde daha büyük ölçeklerde eklenmiştir (Şekil 4.4).



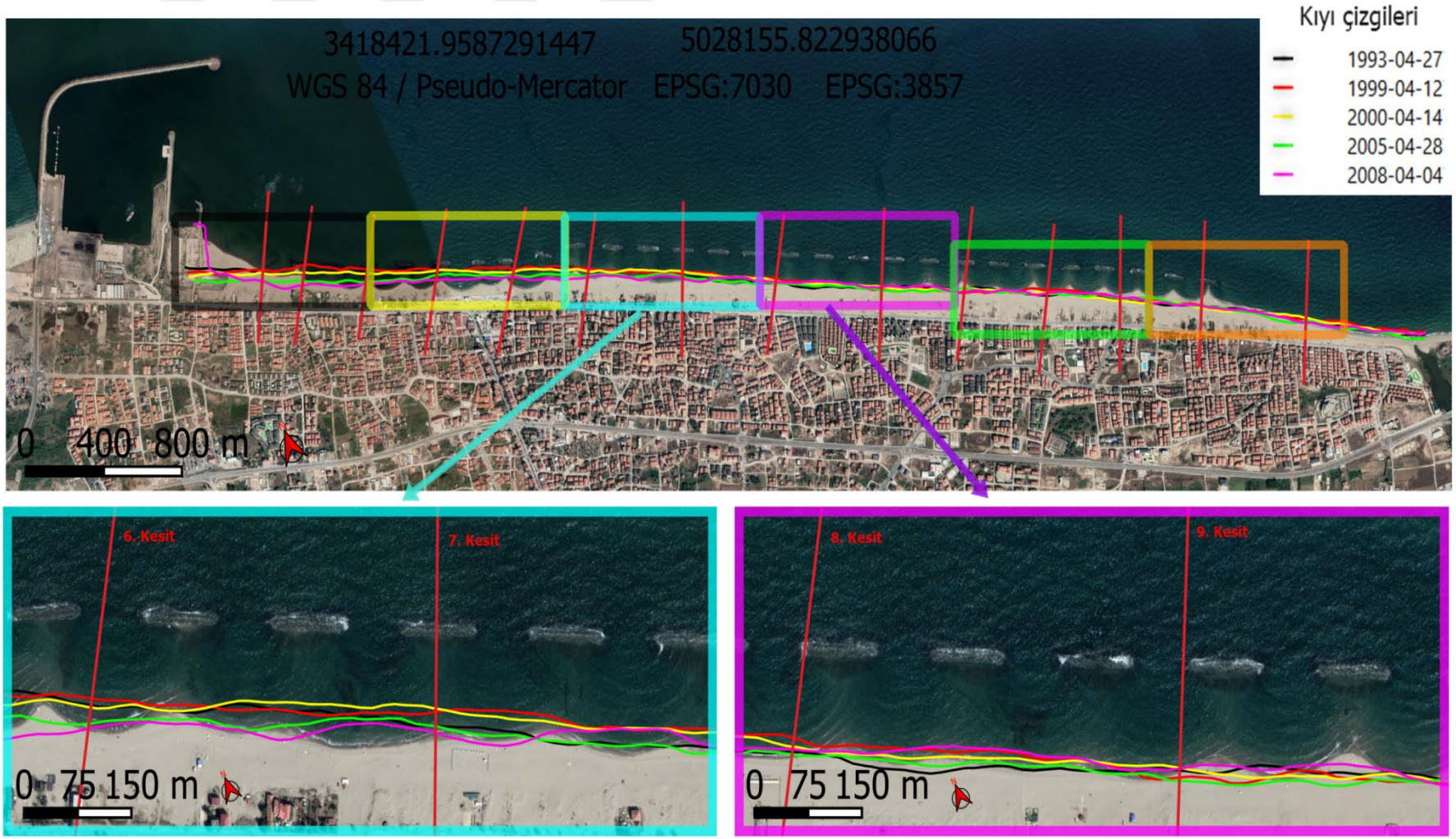
Şekil 4.2. Karasu Limanının farklı yıllarda Landsat 5 ve Landsat 7 uyduları tarafından çekilmiş görüntüleri



Şekil 4.3. Karasu Limanının 2011, 2015 ve 2017 yıllarına ait uydu görüntüleri



Şekil 4.4. 1993-2008 yılları arasındaki çeşitli tarihlere ait kıyı çizgisi görünümleri



Şekil 4.4. 1993-2008 yılları arasındaki çeşitli tarihlere ait kıyı çizgisi görünümleri (devam)



Şekil 4.4. 1993-2008 yılları arasındaki çeşitli tarihlere ait kıyı çizgisi görünümleri (devam)

Kıyı çizgisindeki bu değişimlerin sayısal olarak ifade edilebilmesi için belirlenen 14 kesit üzerindeki, belirlenen yıllara ait kıyı çizgileri arasındaki farklar, kıyı çizgilerinin koordinatları kullanılarak tablo haline getirilmiştir (Çizelge 4.1). Bunun için, 1993 yılı kıyı çizgisi referans alınmış ve liman inşaatının bitme tarihine kadar geçen farklı zamanlardaki kıyı çizgileri arasında karşılaştırmalar yapılmış böylece limanın kıyı çizgisinin değişimine olan etkisi incelenmiştir. Çizelgede yıllar içinde meydana gelen erozyonlar yaklaşık olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Her bir kesit için 1999, 2000, 2005 ve 2008 yıllarına ait kıyı çizgilerinin 1993 yılı kıyı çizgisi ile karşılaştırılması sonucu oluşan farklar (m)

	Transect-1	**Transect-2**	**Transect-3**	**Transect-4**	**Transect-5**	**Transect-6**	**Transect-7**	**Transect-8**	**Transect-9**	**Transect-10**	**Transect-11**	**Transect-12**	**Transect-13**	**Transect-14**
Fark (27.04.1993-12.04.1999) (m)	14	35	6	-1	3	8	17	16	-8	-18	27	6	7	5
Fark (27.04.1993-14.04.2000) (m)	0	0	-13	-5	-8	-2	21	5	2	2	10	-8	-5	11
Fark (27.04.1993-28.04.2005) (m)	-33	-36	-51	-27	-22	-23	-1	-4	-13	5	11	4	4	-4
Fark (27.04.1993-4.04.2008) (m)	-36	-55	-55	-47	-29	-26	-9	2	2	-13	13	7	6	-11

Şekil 4.4 ve Çizelge 4.1 birlikte incelendiğinde özellikle limanın hemen doğusundaki ilk kesitlerde en fazla olmak üzere kıyı çizgisindeki çekilmenin liman inşaatının bitmesine kadar geçen zaman içerisinde önemli miktarlarda arttığı görülmektedir. Limandan doğuya doğru son kesitlere yaklaşıldıkça kıyı çizgisindeki çekilmenin devam etmesine rağmen ilk kesitlere göre azaldığı, kıyı çizgisinin limanın hemen doğusunda özellikle ilk altı kesitte gözle görülür miktarlarda geri çekildiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1'de limana yakın olan bölgede özellikle 1.kesit, 2.kesit, 3.kesit ve 4.kesitte 1993 yılına göre kıyı çizgisinde yaklaşık 35m ile 60m arasında çekilmeler görülmüştür. En fazla çekilme 1993 yılı kıyı çizgisine göre 2008 yılında yaklaşık 55m ile 2.kesit ve 3.kesitte meydana gelmiştir.

Kıyı çizgisine dik kesitsel incelemenin yanında, kıyı çizgisi değişimi, 1993 yılı kıyı çizgisi referans alınarak daha sonraki yıllardaki kıyı çizgisi ile 1993 yılı kıyı çizgisi arasındaki alanlar hesaplanmış ve kıyıdaki değişim alansal olarak ortaya konmuştur. Çizelge 4.2, 1993 yılı kıyı çizgisi referans alınarak liman inşaatının tamamlanmasına kadar geçen zaman içerisinde belirlenen yıllar için kıyı çizgileri arasındaki alanları göstermektedir. Bu sonuçlara göre, 1999 yılından sonra belirgin bir şekilde kıyıda erozyon oluşmakta ve bu erozyon 2005 yılına kadar belirgin bir şekilde artmıştır. Buna karşın, asıl erozyonun 1999-2000 yılları arasında oluştuğu 2000 yılından sonraki erozyonun öncekine kıyasla daha az olduğu da görülmektedir.

Çizelge 4.2. 1993 yılı kıyı çizgisi ile 1999, 2000, 2005 ve 2008 yılı kıyı çizgileri arasındaki alanlar (m2)

Kıyı çizgileri arasındaki alan	m2
(27.04.1993) - (12.04.1999)	43626
(27.04.1993) - (14.04.2000)	2643
(27.04.1993) - (28.04.2005)	-86533
(27.04.1993) - (04.04.2008)	-75689

4.3. Mahmuzların Karasu Sahili Kıyı Çizgisi Değişimine Etkisi

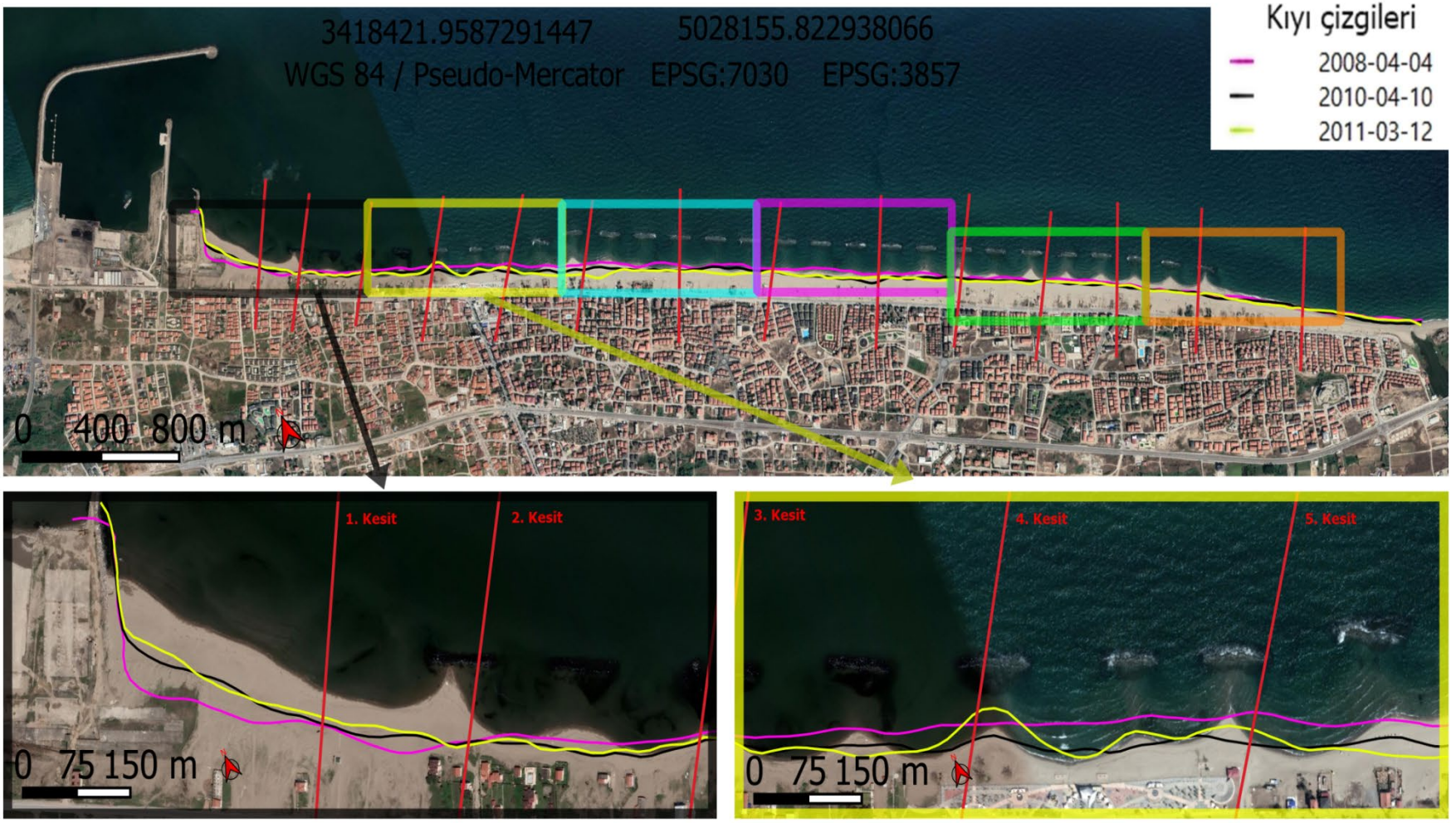
Karasuda yaşanan bu erozyonlardan dolayı önlem alınması gerekmiştir. Bu bağlamda kıyı erozyonunun meydana geldiği sahil bölgesinde alınacak önlemlerin esaslarını belirlemek için Bölge Müdürlüğü ile DLH İnşaatı Genel Müdürlüğü Araştırma Daire Başkanlığı teknik elemanlarınca yerinde yapılan gözlem, ölçüm ve incelemeler neticesinde, "Karasu Sahil, Dalga Transformasyonu ve Kıyı Çizgisi Değişimi Sayısal Benzeşim Model Çalışmaları Raporu" hazırlanmıştır. Hazırlanan raporda öncelikle Karasu Limanı doğu sahilinde kalan yaklaşık 1 km. uzunluğundaki sahil boyunca önlem alınması gerektiği belirtilmiştir. Ulaştırma Bakanlığı DLH İnşaatı Genel Müdürlüğünce 2009 yılında sağlanan ödenek imkânları ile kıyı şeridinin ani deniz hareketlerinden en

az seviyede etkilenmesi amacıyla, I. Kısım İnşaatı kapsamında 12 adet 25 m. uzunluğunda, kıyıya dik mahmuz 2009 yılında inşa edilmiştir (URL 2). Şekil 4.5'de liman yakınına inşa edilen kıyıya dik mahmuzların bir görüntüsü sunulmuştur.

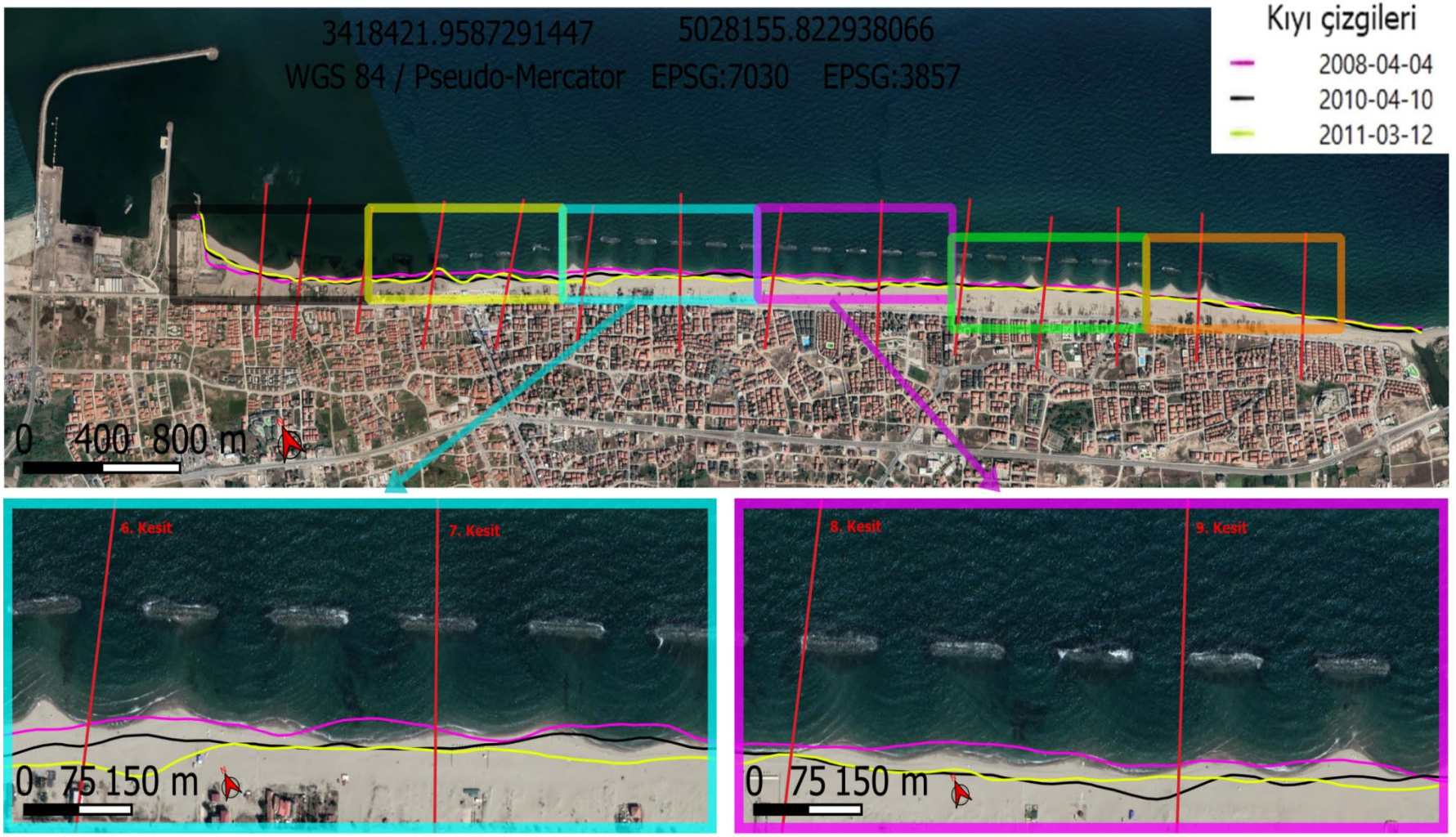
Kıyıya dik mahmuzların kıyı üzerinde yarattığı etkileri anlayabilmek ve kıyı çizgisi değişimini çalışma alanının tamamında inceleyebilmek için Coastsat' tan elde edilen .geojson çıktıları, ücretsiz açık kaynaklı bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımı olan QGIS uygulamasında 2021 yılına ait uydu görüntüsü üzerinde açılarak görselleştirilmiştir (Şekil 4.6). Mevsimlerin etkilerini göz ardı edebilmek için aynı aya ait farklı yıllardaki kıyı çizgileri kullanılmaya çalışılmış fakat 2011 yılı nisan ayına ait veri bulunmadığından dolayı mart ayına ait veri eklenmiş ve 2009 yılına ait veri bulunmadığından dolayı bu yıla ait bir kıyı çizgisi eklenememiştir. Belirlenen yıllara ait kıyı çizgisi görünümleri ilk olarak küçük ölçekli olarak eklenmiş daha sonra kıyı çizgilerinin 2021 yılına ait uydu görüntüsü üzerinde daha net incelebilmesi için farklı kesitler halinde daha büyük ölçeklerde eklenmiştir. Ayrıca, erozyon miktarının sayısal olarak ifade edilebilmesi için belirlenen 14 kesit üzerindeki belirlenen yıllara ait kıyı çizgileri arasındaki farklar kıyı çizgilerinin koordinatları kullanılarak tablo haline getirilmiştir (Çizelge 4.3). Bunun için, 2008 yılı kıyı çizgisi referans alınmış ve kıyıya dik mahmuzların inşaatının tamamlanmasından sonraki birkaç yıl için farklı zamanlardaki kıyı çizgileri arasında karşılaştırmalar yapılmış böylece kıyıya dik mahmuzların kıyı çizgisinin değişimine olan etkisi incelenmiştir.



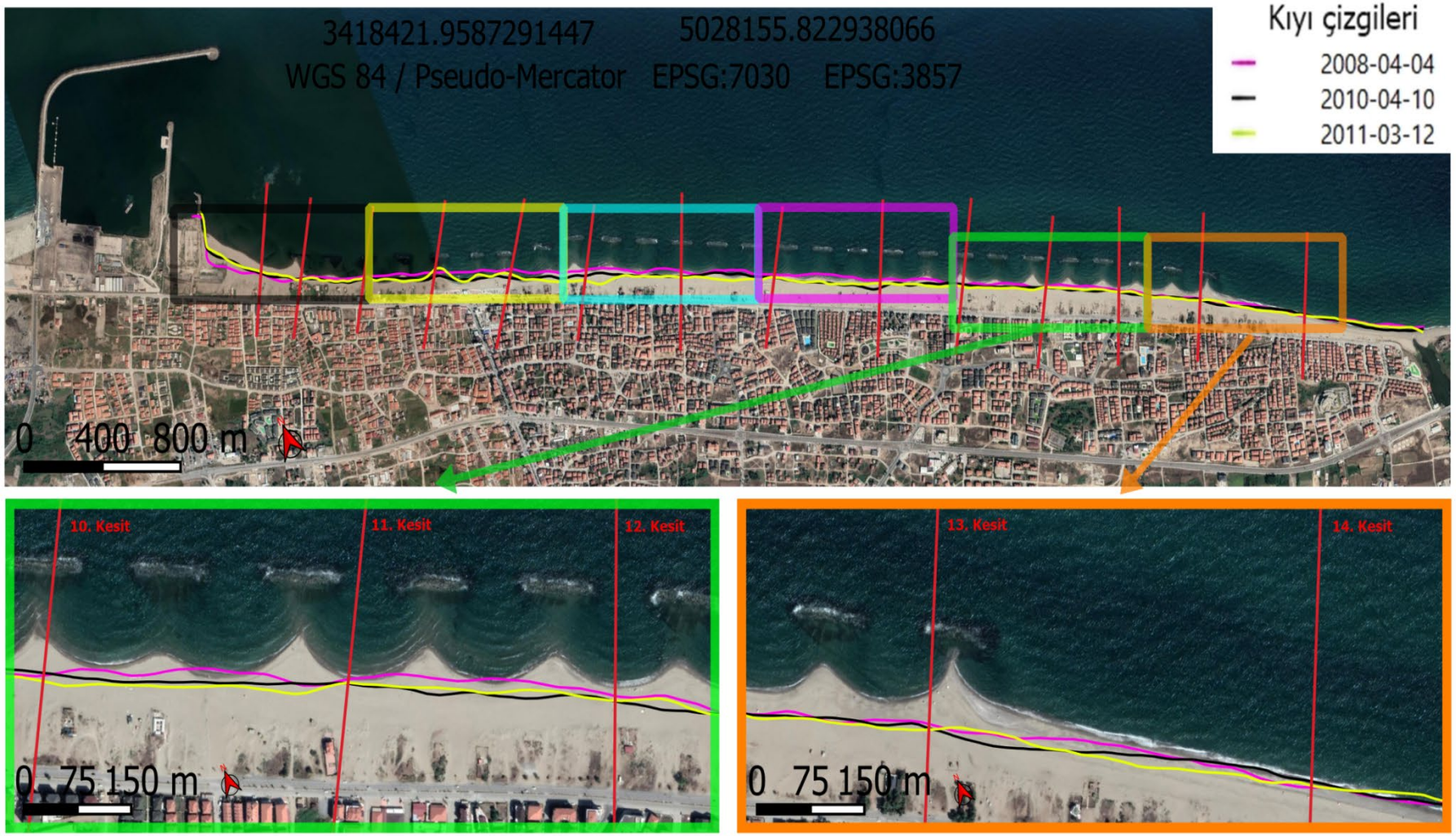
Şekil 4.5. Liman yakınındaki mahmuzlar ve erozyon durumu (2010) (Gormus ve ark. 2014).



Şekil 4.6. 2008, 2010 ve 2011 yıllarına ait kıyı çizgisi görünümleri



Şekil 4.6. 2008, 2010 ve 2011 yıllarına ait kıyı çizgisi görünümleri (devam)



Şekil 4.6. 2008, 2010 ve 2011 yıllarına ait kıyı çizgisi görünümleri (devam)

Çizelge 4.3. Her bir kesit için 2010 ve 2011 yıllarına ait kıyı çizgilerinin 2008 yılı kıyı çizgisi ile karşılaştırılması sonucu oluşan farklar (m)

	Transect-1	Transect-2	Transect-3	Transect-4	Transect-5	Transect-6	Transect-7	Transect-8	Transect-9	Transect-10	Transect-11	Transect-12	Transect-13	Transect-14
Fark (4.04.2008-10.04.2010) (m)	3	-1	-15	-19	-40	-29	-23	-12	-34	2	-7	-6	-5	7
Fark (4.04.2008-12.03.2011) (m)	11	-4	-5	12	-22	-50	-26	-12	-15	-8	-6	-5	-6	2

Şekil 4.6'da 2008, 2010 ve 2011 yıllarına ait kıyı çizgileri 2021 yılına ait uydu görüntüsü üzerinde incelendiğinde, kıyıda limanın hemen doğusu ile 2.kesitin batısındaki kalan alan için bir miktar kum birikimi olduğu ve 2.kesitten doğuya doğru gidildikçe kıyıda erozyon meydana geldiği görülmektedir. 2009 yılında kıyıda 1. kesit ile 5. kesit arasında inşa edilen 12 adet kıyıya dik mahmuzun, Çizelge 4.3 deki 2008, 2010 yıllarına ait kıyı çizgileri arasındaki farklar incelendiğinde, mahmuzların inşa edildiği ilk 5 kesitte kıyıda erozyonların arttığı görülmektedir. 2008 yılına ait kıyı çizgisi ile 2010 yılına ait kıyı çizgisi arasındaki fark incelendiğinde en fazla 5. kesitte yaklaşık 40 metre kıyı çizgisinin geri çekildiği gözlemlenmiştir. Öte yandan, 2008 yılına ait kıyı çizgisi ile 2011 yılına ait kıyı çizgisi arasındaki fark incelendiğinde, 4. ve 5. kesitte kıyıda erozyonun bir önceki yıla göre azaldığı ve kum birikimi olduğu görülmektedir. Bu kesitlerdeki kum birikiminin sebebi olarak 2010 yılının ortalarına doğru 4. ve 5. Kesitler arasına inşa edilen 3 adet ayrık dalgakıran verilebilir. İnşa edilen bu ayrık dalgakıranlar inşa edildikleri kesitlerde kum birikimini sağlamalarıyla birlikte inşa edildikleri kesitten sonraki birkaç kesit için ise erozyona sebep olmuştur. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda kıyı çizgisindeki bu değişimler, kıyıya dik mahmuzların etkilerini ve 2010 yılında yapılan 3 adet ayrık dalgakıranın etkilerini birlikte içermektedir.

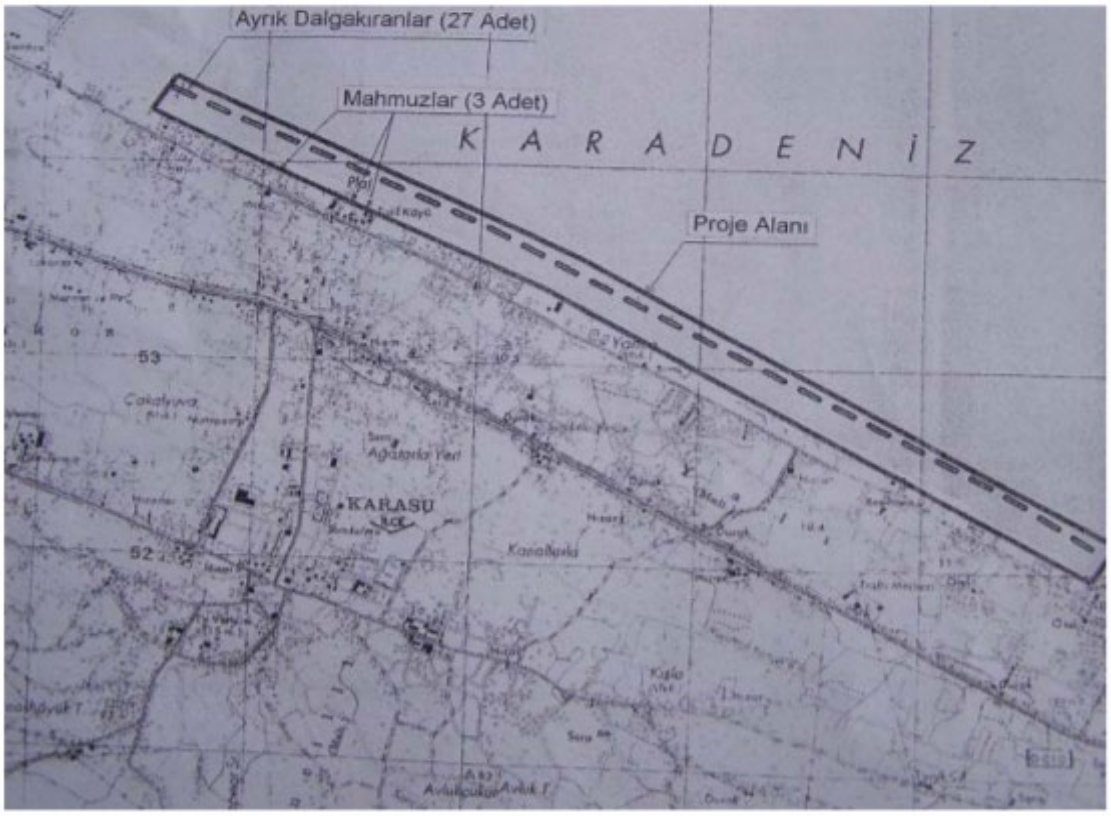
Ayrıca, kıyıdaki erozyonların farklı bir açıdan değerlendirilmesi için Çizelge 4.4'de 1993 yılı kıyı çizgisi referans alınarak mahmuzların yapıldığı yıl ve bu tarihten sonraki birkaç yıl için elde edilen kıyı çizgileri ile 1993 yılı kıyı çizgisi arasındaki alanlar yaklaşık olarak hesaplanarak sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde, 2009 yılından sonraki yıllar için kıyıdaki kum alanının giderek azaldığı görülmektedir. Liman inşaatıyla beraber kıyıda başlayan erozyonu önlemek için yapılan mahmuzların kıyıda kum biriktirmede faydalı olmadığı, kıyıda meydana gelen erozyonu daha da arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.4. 1993 yılı kıyı çizgisi ile 2008, 2009, 2010 ve 2011 yılı kıyı çizgileri arasındaki alanlar (m2)

Kıyı çizgileri arasındaki alan	m2
(27.04.1993) - (04.04.2008)	-75689
(27.04.1993) - (30.09.2009)	-101940
(27.04.1993) - (10.04.2010)	-152870
(27.04.1993) - (12.03.2011)	-161186

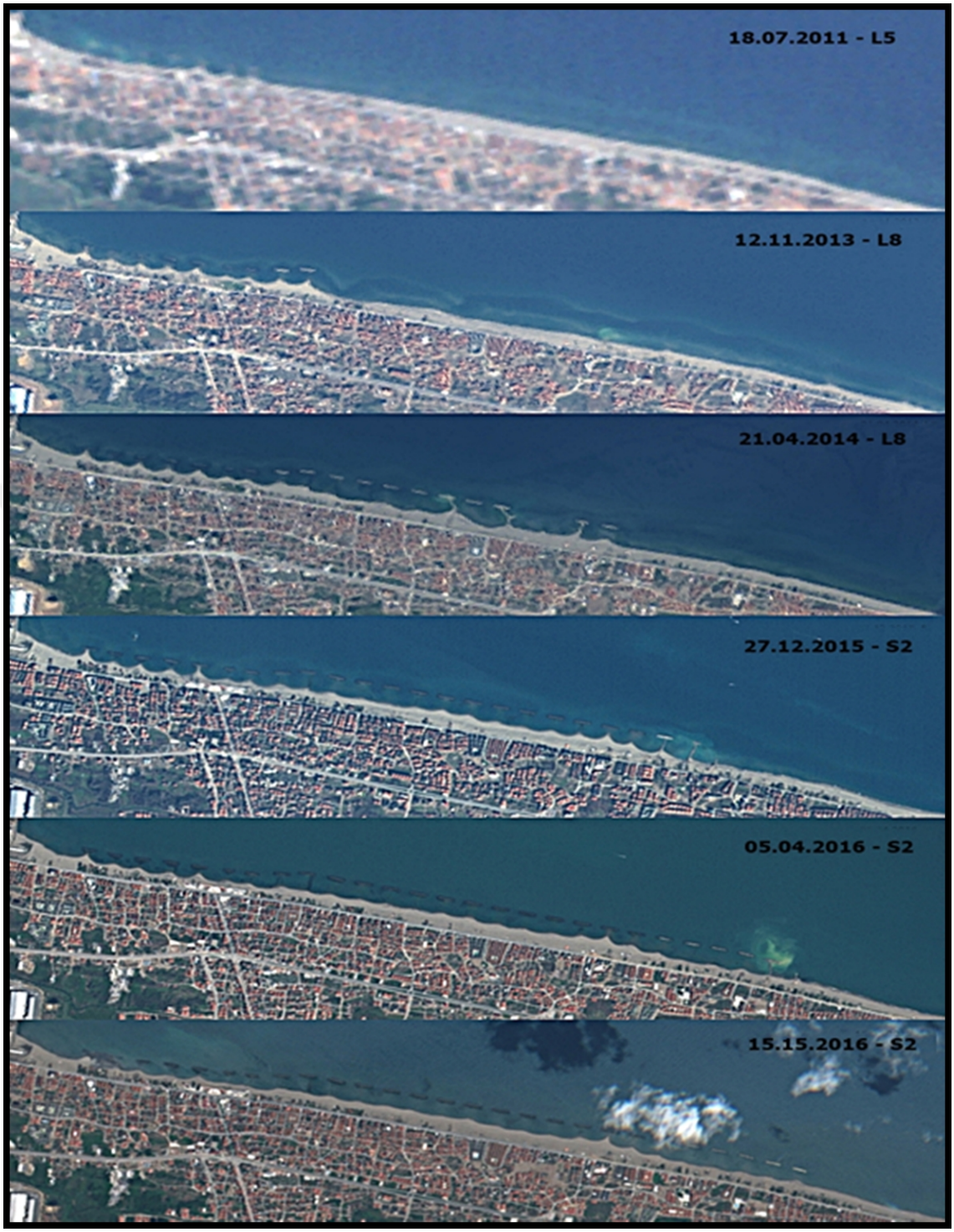
4.4. Ayrık Dalgakıranların Karasu Sahili Kıyı Çizgisi Değişimine Etkisi

Sahil bölgesinde meydana gelen kıyı erozyonunun önlenebilmesi ve kum toplama amacıyla, Karasu Sahil Dalga Transformasyonu ve Kıyı Çizgisi Değişimi Sayısal Benzeşim Model Çalışmaları Raporu'nda belirtilen esaslar dâhilinde, kıyı çizgisine paralel olarak 120 m. uzunluğunda, aralarında 75 m. mesafe bulunan ve kıyıdan uzaklığı 110 m. olan toplam 27 adet ayrık dalgakıranın inşa edilmesi planlanmıştır (Aydın ve Uysal, 2013). Yapılması planlanan 27 adet ayrık dalgakıranın projesi Şekil 4.7'de görülmektedir. Bütçe imkânları dâhilinde 2010 yılında toplam 3 adet, 2011 yılında ise 4 adet olmak üzere, 7 ayrık dalgakıran inşa edilmiştir. Ayrıca, yapılan etüt, inceleme ve deney çalışmaları ile ayrık dalgakıranların inşa edilmesi ile kıyıya dik mahmuzların, ayrık dalgakıranların kum tutma işlevini olumsuz etkileyebileceği görüldüğünden söz konusu kıyıya dik mahmuzlar kaldırılmıştır (URL 2).

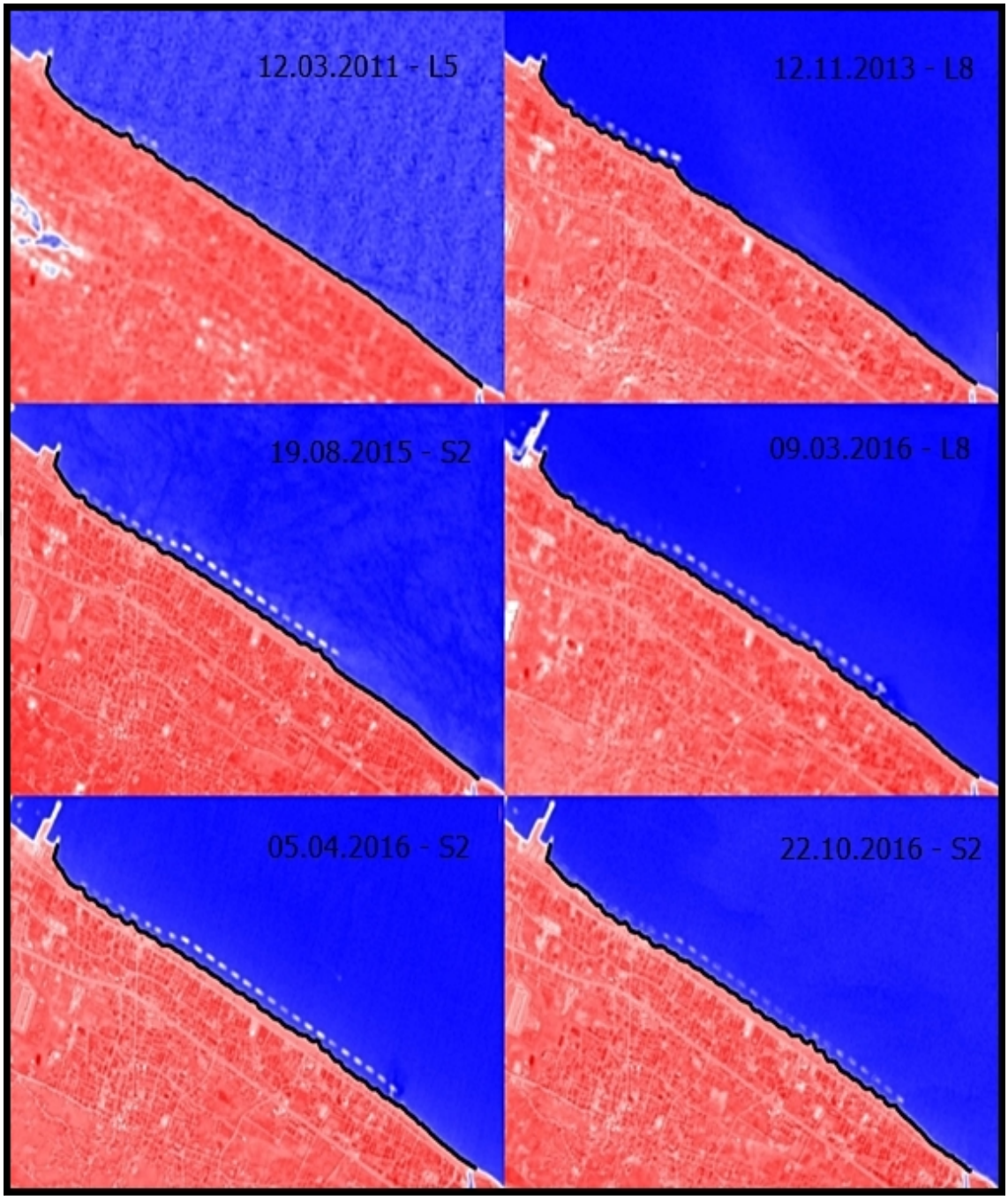


Şekil 4.7. Yapılması planlanan 27 adet ayrık dalgakıran projesi (Kutoglu ve ark. 2011)

Yapımına 2010 yılında başlanan ve tamamlanması uzun yıllar süren ayrık dalgakıranların sonuncusu uydu fotoğraflarından çıkarılan sonuca göre 2016 yılının ortalarına doğru tamamlanmıştır (Şekil 4.8). Ayrıca, Şekil 4.9' da CoastSat'tan elde edilen uydu görüntülerinin işlenmiş hali görülmekte ve ayrık dalgakıranların sayısının zaman içerisinde nasıl arttığı farklı şekilde görülebilmektedir.



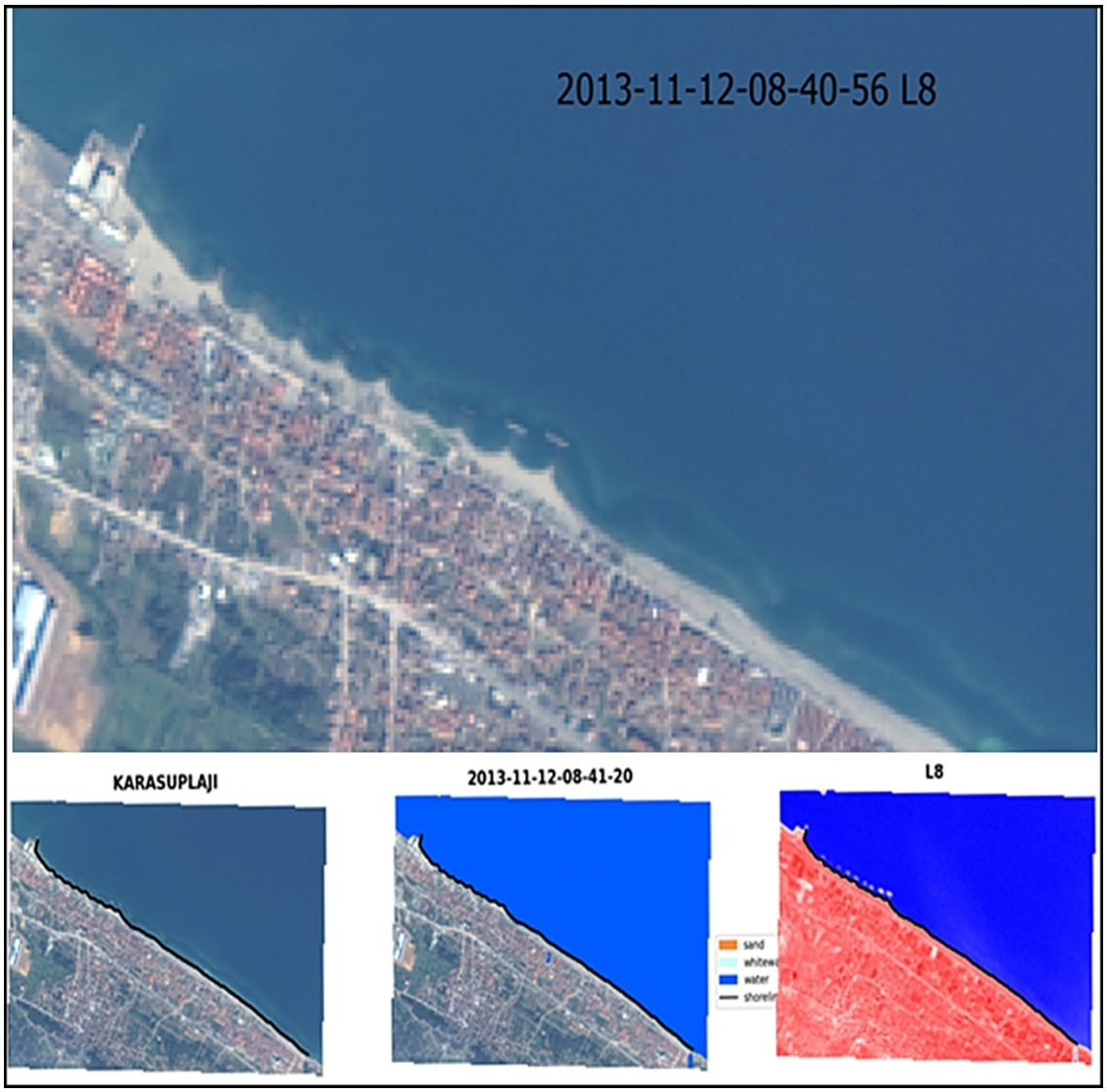
Şekil 4.8. Karasu plajının farklı yıllarda Landsat 5, Landsat 8 ve Sentinel-2 uyduları tarafından çekilmiş görüntüleri



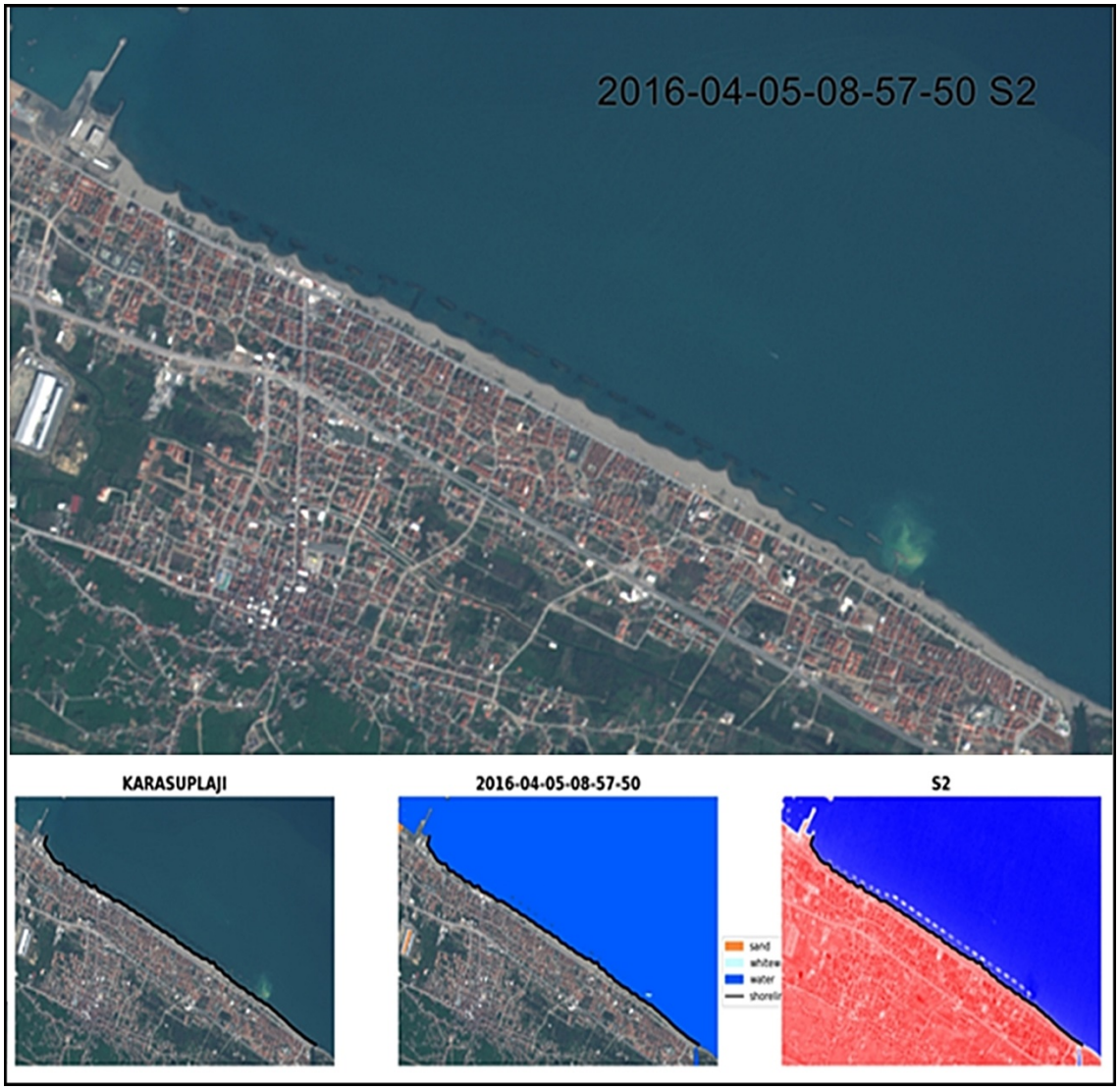
Şekil 4.9. Karasu plajının farklı yıllarda Landsat 5, Landsat 8 ve Sentinel-2 uyduları tarafından çekilmiş görüntülerinin işlenmiş hali

Şekil 4.10'de 9. ayrık dalgakıranın inşaatının yeni tamamlandığı ve Coastsat'ın bu durumda yaptığı kıyı çizgisi tespiti görülmektedir. Şekil 4.11'de 26. ve 27. ayrık dalgakıranın inşaatının devam ettiği ve Coastsat'ın bu durumda yaptığı kıyı çizgisi tespiti görülmektedir. Coastsat aracılığıyla 2016 yılından önceki yıllar için elde edilen kıyı çizgilerinden bazıları ayrık dalgakıranların inşaat zamanına denk geldiğinden

dolayı kıyı çizgisi tespitinde hatalar meydana gelebilmektedir. Bu sebeple, ayrık dalgakıranların kıyıda yarattığı etkileri incelemek için 2016 yılından sonraki kıyı çizgisi konumlarının kullanılması sonuçların doğruluğu açısından daha yararlı olacaktır.

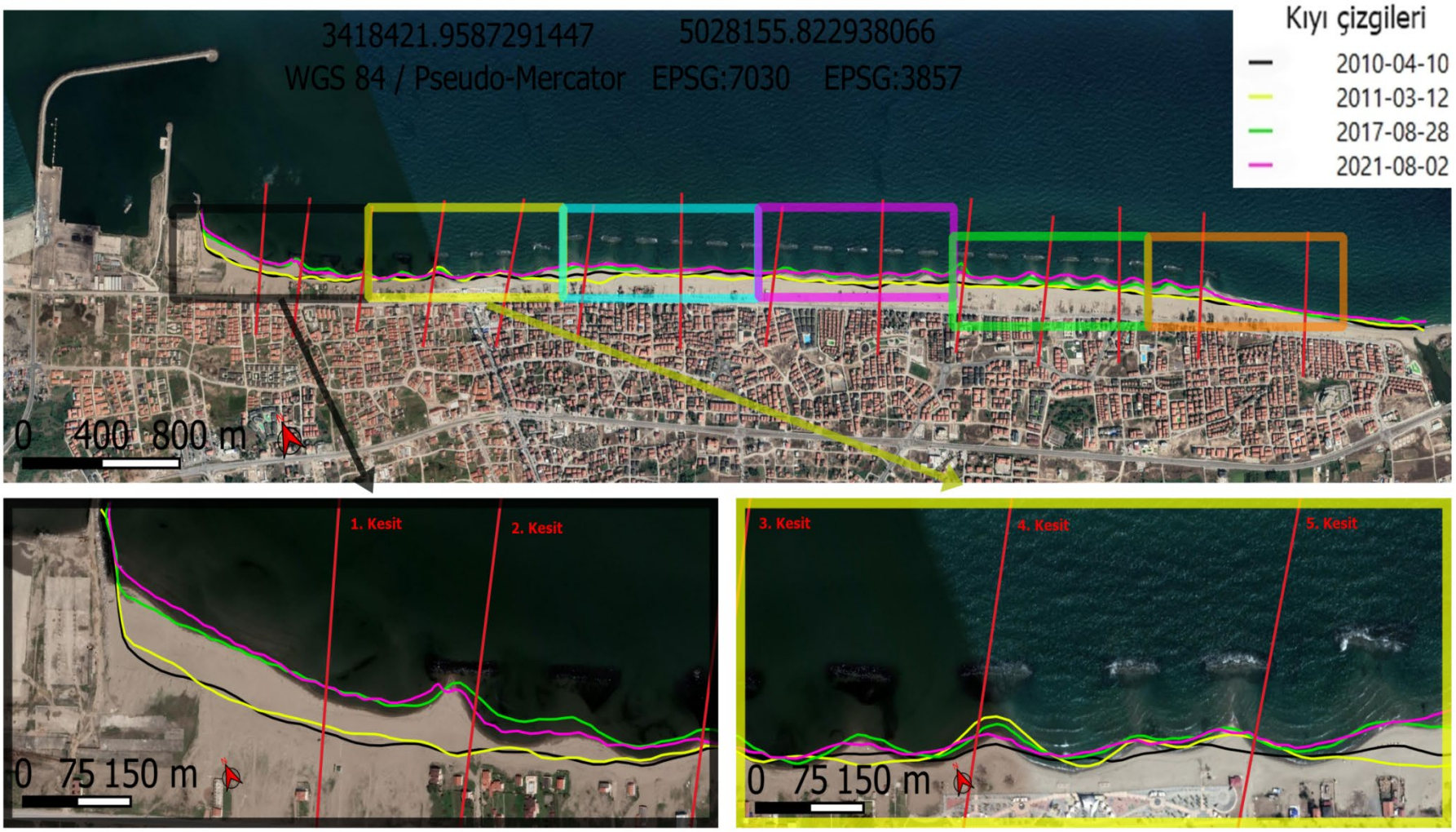


Şekil 4.10. 2013 yılına ait bir Landsat-8 uydu görüntüsü ve Coastsat'ın bu uydu görüntüsü için yaptığı kıyı çizgisi analizi

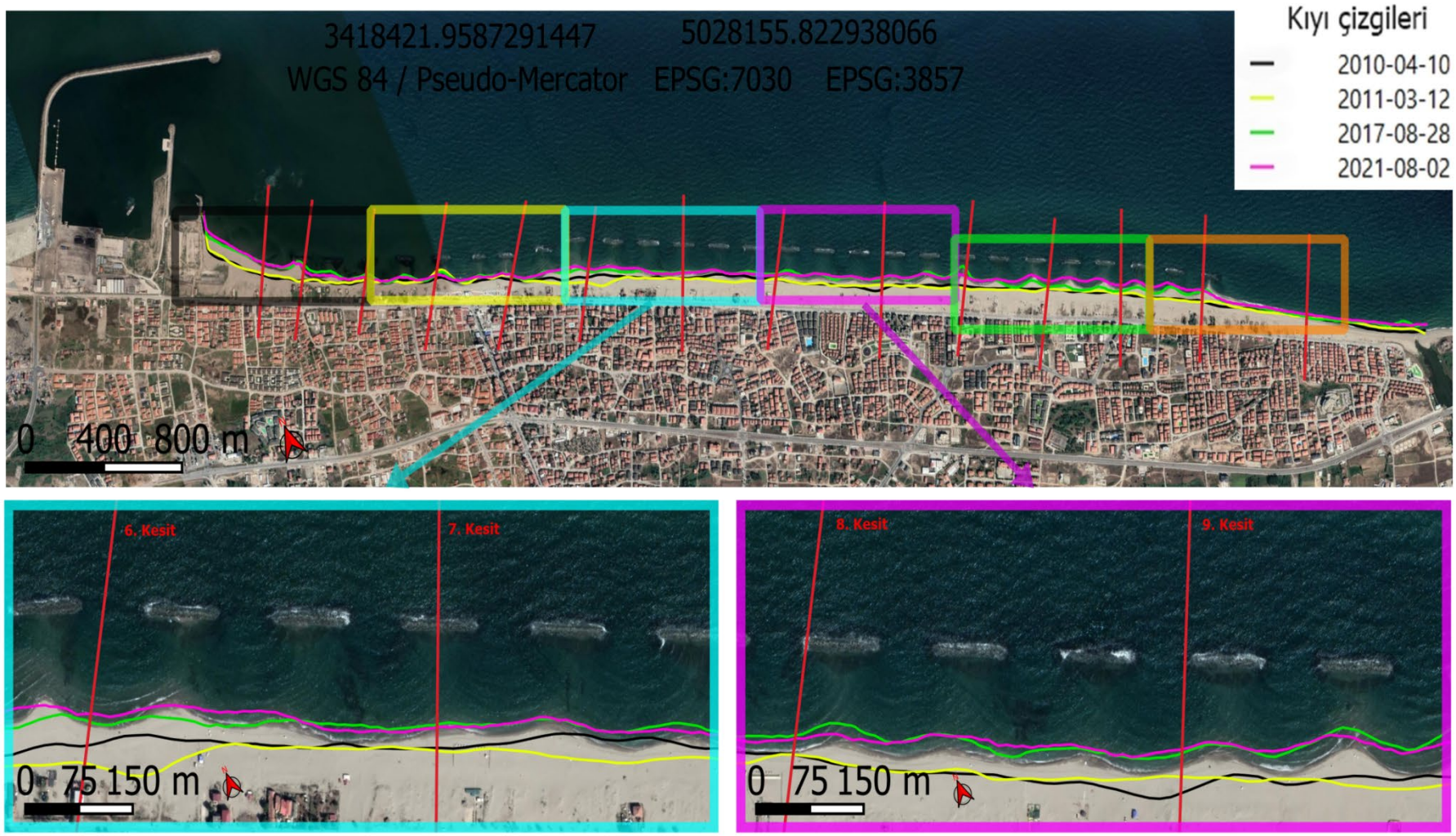


Şekil 4.11. 2016 yılına ait bir Sentinel-2 uydu görüntüsü ve Coastsat'ın bu uydu görüntüsü için yaptığı kıyı çizgisi analizi

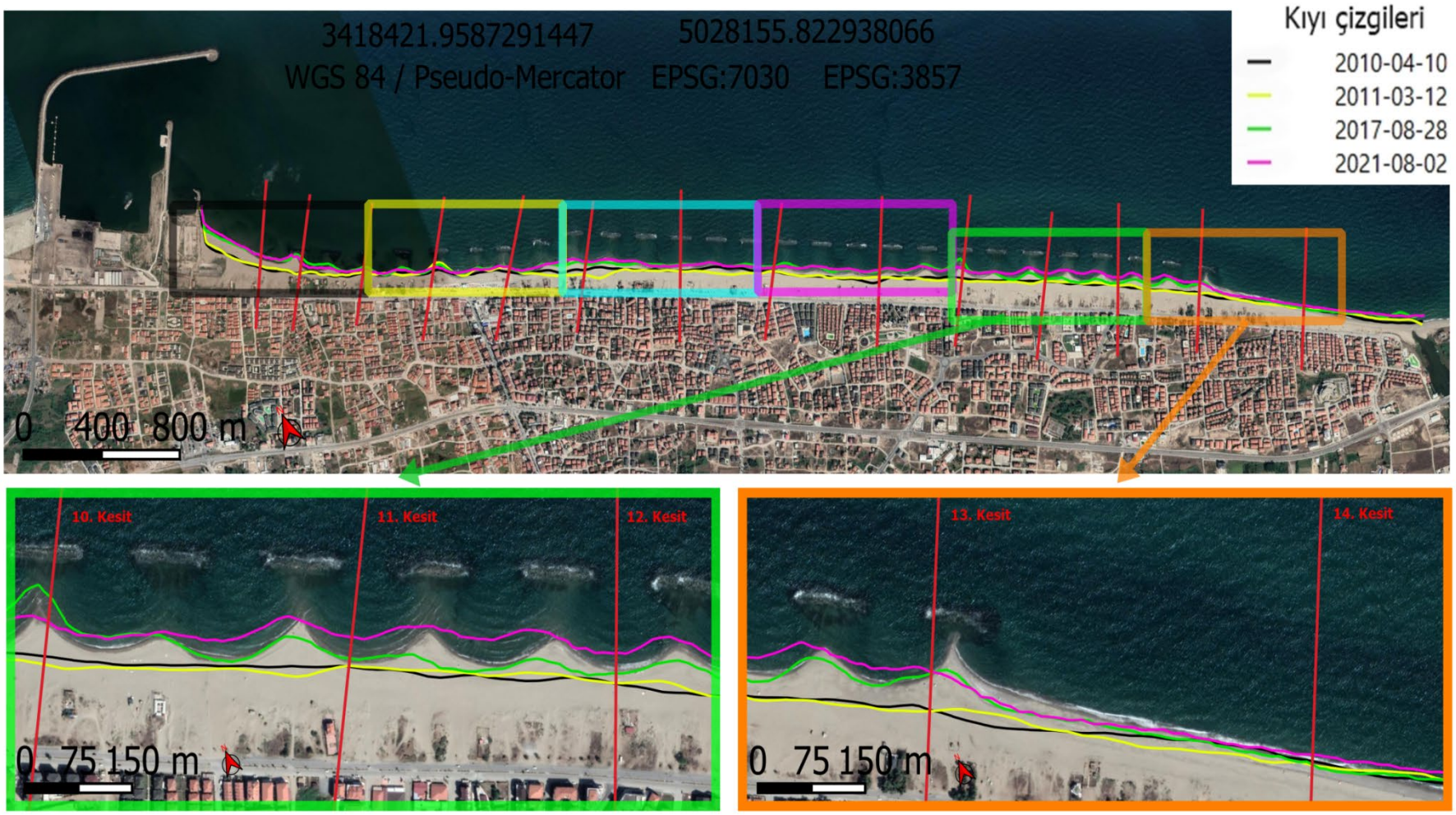
İnşa edilen bu ayrık dalgakıranların kıyı üzerindeki etkilerini daha iyi anlayabilmek ve kıyı çizgisi değişimini çalışma alanının tamamında inceleyebilmek için Coastsat' tan elde edilen .geojson çıktıları, ücretsiz açık kaynaklı bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımı olan QGIS uygulamasında 2021 yılına ait uydu görüntüsü üzerinde 2010, 2011, 2017 ve 2021 yılları için açılarak görselleştirilmiştir. Belirlenen bu kıyı çizgisi görünümleri ilk olarak küçük ölçekli olarak eklenmiş daha sonra kıyı çizgilerinin 2021 yılına ait uydu görüntüsü üzerinde daha net incelebilmesi için farklı kesitler halinde daha büyük ölçeklerde eklenmiştir (Şekil 4.12)



Şekil 4.12. 2010, 2011, 2017 ve 2021 yıllarına ait kıyı çizgisi görünümleri



Şekil 4.12. 2010, 2011, 2017 ve 2021 yıllarına ait kıyı çizgisi görünümleri (devam)



Şekil 4.12. 2010, 2011, 2017 ve 2021 yıllarına ait kıyı çizgisi görünümleri (devam)

Ayrık dalgakıranların kıyı çizgisi değişimine etkisinin sayısal olarak ifade edilebilmesi için belirlenen 14 kesit üzerindeki belirlenen yıllara ait kıyı çizgileri arasındaki farklar kıyı çizgilerinin koordinatları kullanılarak tablo haline getirilmiştir (Çizelge 4.5). Tablo oluşturulurken 2010 yılı kıyı çizgisi referans alınmış ve 2011, 2017 ve 2021 yıllarına ait kıyı çizgileri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucu oluşan farklar incelendiğinde, kıyıdaki erozyonun zamanla azaldığı ve kesitlerde kum biriktiği görülmektedir. Özellikle ayrık dalgakıranların inşaatının tamamlanmasından sonraki zamanlarda, 2017 ve 2021 yıllarında 2010 yılına göre kesitlerdeki kum birikimleri artmıştır.

Çizelge 4.5. Her bir kesit için 2011, 2017 ve 2021 yıllarına ait kıyı çizgilerinin 2010 yılı kıyı çizgisi ile karşılaştırılması sonucu oluşan farklar (m)

	Transect-1	**Transect-2**	**Transect-3**	**Transect-4**	**Transect-5**	**Transect-6**	**Transect-7**	**Transect-8**	**Transect-9**	**Transect-10**	**Transect-11**	**Transect-12**	**Transect-13**	**Transect-14**
Fark (10.04.2010-8.02.2011) (m)	9	11	16	35	6	-6	-6	13	26	1	-10	8	2	9
Fark (10.04.2010-28.08.2017) (m)	55	66	30	19	18	31	28	23	48	72	10	13	42	-3
Fark (10.04.2010-2.08.2021) (m)	58	48	15	17	20	40	25	20	52	43	37	38	47	8

Şekil 4.13'de ki grafikler incelendiğinde, ilk 6 kesitte 2010 yılından sonra kıyıda kum birikimleri olduğu, 6.kesitten sonraki kesitler için ise özellikle 2016 yılından sonra ayrık dalgakıranların yapılmasıyla beraber zaman içerisinde kıyıda kum birikimleri olduğu görülmektedir. Öte yandan, 2018 ve 2020 yılında yaşanan fırtınaların kıyıda bazı kesitlerde erozyonlara sebep olmasına rağmen genel anlamda kıyıda kum birikimini engelleyemediği görülmektedir. Bu bağlamda, yapılan ayrık dalgakıranların kıyıda kum biriktirme açısından yararlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.13'de ki grafikler incelendiğinde özellikle ilk 8 kesit ve 14. kesit için kıyı çizgisinin hala 1990 yılındaki seviyesini yakalayamadığı, kıyı çizgisinin çekildiği fakat 9., 10., 11., 12. ve 13. kesit

için 1990 yılındaki seviyesini geçtiği ve kıyı çizgisinin eski tarihlere göre kıyaslandığında bu kesitlerde denize doğru ilerlediği görülmektedir.

Öte yandan, Çizelge 4.6 incelendiğinde açık deniz mendirek inşaatının başladığı yıl olan 2010 yılındaki kıyı durumu ile açık deniz mendireklerinin tamamlandığı 2016 yılından sonraki yıllar için kıyıda önemli miktarlarda kum birikimi olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6. 2010 yılı kıyı çizgisi ile 2011, 2017 ve 2021 yılı kıyı çizgileri arasındaki alanlar (m2)

Kıyı çizgileri arasındaki alan	m2
(10.04.2010)-(12.03.2011)	-8316
(10.04.2010)-(28.08.2017)	170402
(10.04.2010)-(02.08.2021)	200936

4.5. Kıyı Çizgisi Değişiminin Dalgalar İle İlişkisi

Coastsat ile analiz yapılırken belirlenen 14 kesit için 1990-2021 yılları arasındaki elde edilen bütün uydu görüntüleri kullanılarak kıyı çizgisi konumlarının yıllara göre değişimi grafik haline getirilmiştir. Ayrıca, 1990-2020 yılları arasında bölgede meydana gelen dalga yüksekliklerinin yıllık ortalamaları belirlenmiş ve elde edilen bu grafikler üzerine eklenmiştir (Şekil 4.13). Böylelikle, kıyı çizgisi konumlarının yıllara göre değişiminin ve bölgede meydana gelen dalgaların yüksekliklerinin ortalamasının yıllara göre değişiminin birlikte görülebildiği çizelgeler elde edilmiştir. Bu çizelgelerden kıyının yıllar içinde nasıl değiştiği ve bu değişimde yaşanan fırtınaların ne kadar etkili olduğu araştırılmıştır.

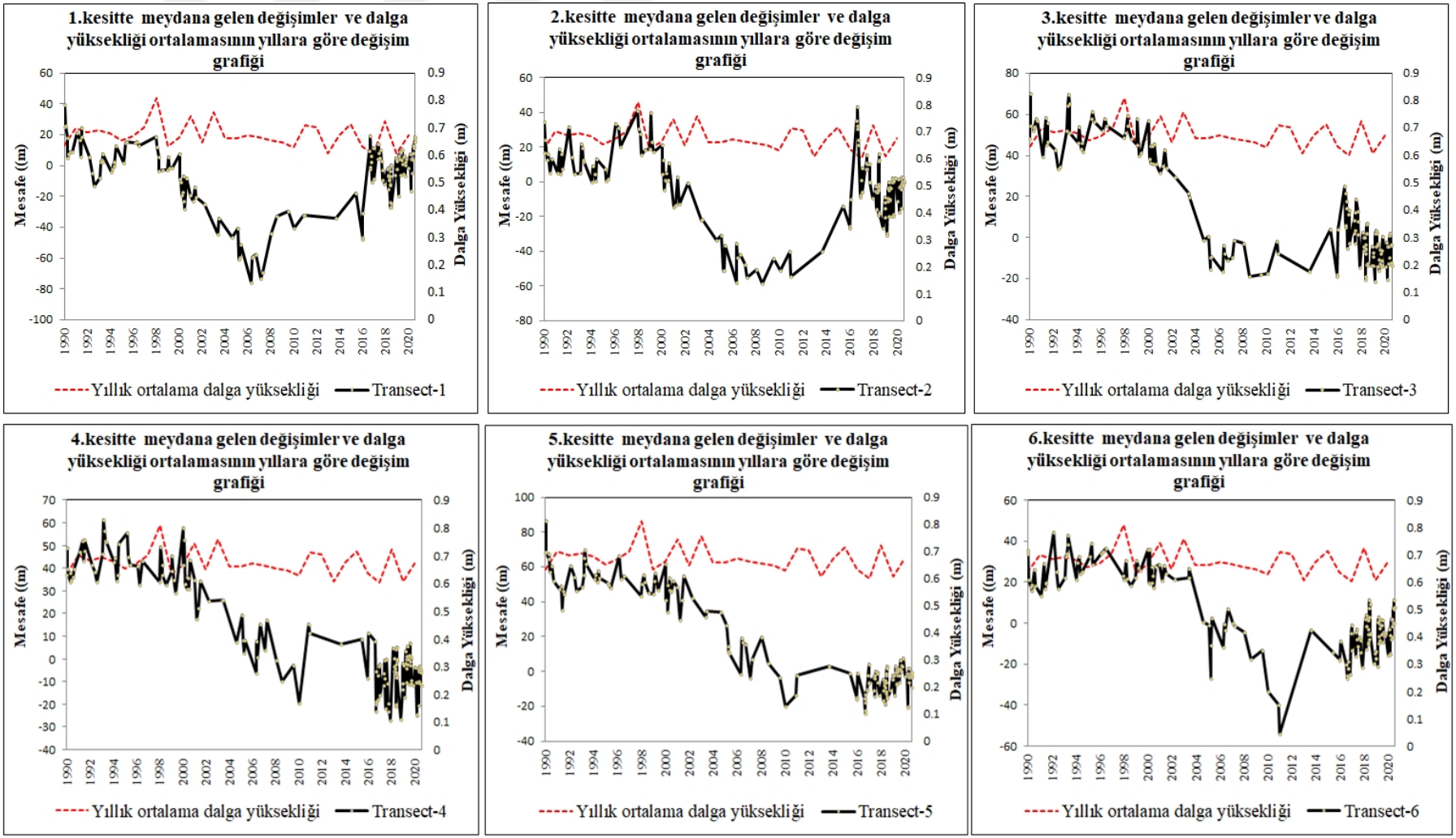
Şekil 4.13 incelendiğinde, limanın ilk uzantısının belirginleştiği tarih olan 1999 yılından liman inşaatının tamamlanma zamanı olan 2008 yılına doğru özellikle ilk 6 kesitte olmak üzere zaman içerisinde erozyonlar meydana geldiği görülmektedir. Bu grafikler incelendiğinde, en yüksek erozyon miktarı 2006 yılında 75 metre ile 1. kesitte meydana gelmiştir. Ayrıca, 1998, 2001 ve 2003 yıllarında dalga yüksekliklerinin arttığı ve artan bu dalga yüksekliklerine karşılık olarak kıyıda oyulmalar olduğu da görülmektedir. Öte yandan, Çizelge 4.2'de 1993 yılı kıyı çizgisi referans alınarak 1999 ve 2008 yılları kıyı çizgileri için yapılan kum alanı hesabında kum birikimi olduğu görülmektedir. Bu kum

birikimlerinin sebebi olarak 1999 ve 2008 yıllarında yıllık ortalama dalga yüksekliklerinin diğer yıllara kıyasla daha düşük olması verilebilir. Şekil 4.13'de 1999 ve 2008 yılı dalga yüksekliklerine bakıldığında dalga yüksekliklerinin önceki yıllara göre daha düşük olduğu ve kıyı çizgisi konumlarında bu yıllarda ilerlemeler olduğu görülmektedir. Bu bağlamda dalga yüksekliklerinin düşük olduğu dönemlerde meydana gelen kum birikimleri, liman inşaatının etkisinden ve sonraki dönemlerde yaşanan fırtınalardan dolayı kalıcı olamamıştır. Liman inşaatıyla beraber başlayan erozyonun bir sebebinin de dönem dönem yaşanan şiddetli fırtınalar olduğu görülmektedir.

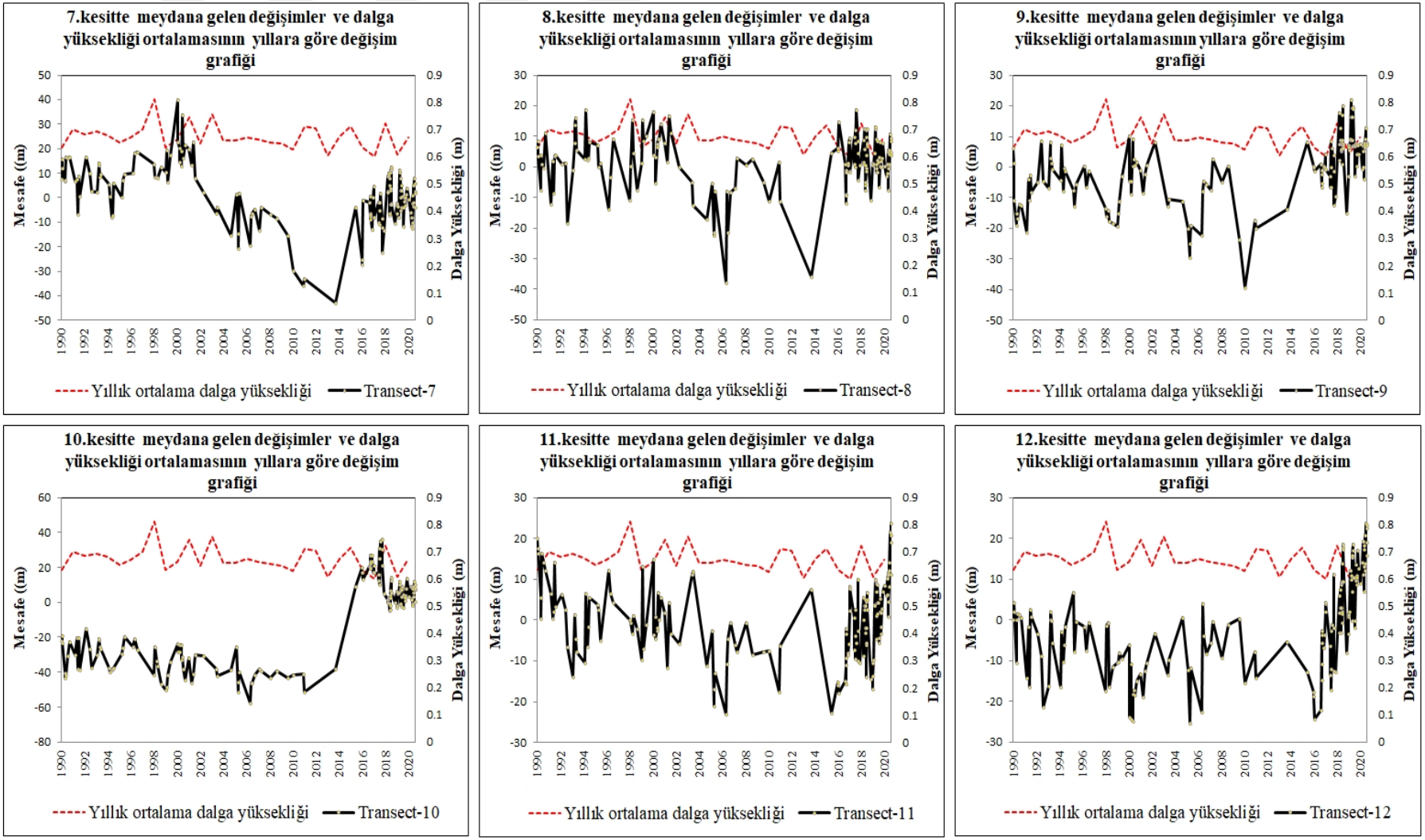
Çizelge 4.6'da 2010 yılı kıyı çizgisi ile 2011 yılı kıyı çizgisi arasındaki kum alanı farkına bakıldığında bir miktar erozyon olduğu görülmektedir. Bu erozyonun sebebi olarak 2011 yılında dalga yüksekliklerinin artması verilebilir. Şekil 4.13'de 2011 yılına ait veriler incelendiğinde ortalama dalga yüksekliğinin arttığı ve buna karşılık kıyı çizgisi konumlarında gerilemeler olduğu görülmektedir. Ayrıca, Çizelge 4.7'de açık deniz mendireklerinin tamamlanmasından sonraki bazı yıllarda özellikle 2018 ve 2020 yıllarında kıyıda meydana gelen dönemsel erozyonların sebebi olarak, 2018 ve 2020 yıllarında ortalama dalga yüksekliklerinin artması verilebilir. Şekil 4.13 incelendiğinde, 2018 ve 2020 yıllarında dalga yüksekliği ortalamasının arttığı buna karşılık kıyı çizgisi konumlarında gerilemeler olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.7. 1993 yılı kıyı çizgisi ile 2017, 2018, 2019, 2020 ve 2021 yılı kıyı çizgileri arasındaki alanlar (m2)

Kıyı çizgileri arasındaki alan	m2
(27.04.1993)-(28.08.2017)	17532
(27.04.1993)-(28.08.2018)	-55073
(27.04.1993)-(09.07.2019)	35775
(27.04.1993)-(27.08.2020)	3110
(27.04.1993)-(02.08.2021)	48066



Şekil 4.13. Her bir kesitte meydana gelen değişimler ve dalga yüksekliği ortalamasının yıllara göre değişim grafiği



Şekil 4.13. Her bir kesitte meydana gelen değişimler ve dalga yüksekliği ortalamasının yıllara göre değişim grafiği (devam)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez kapsamında, Karasu Limanının doğusundaki yaklaşık 6,3 km'lik sahil bölgesinin kıyı çizgisi değişiminin incelenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

i. Karasu sahilinde zaman geçtikçe meydana gelen erozyonlar ve kum birikimleri burada inşa edilen yapılarla ve dönem dönem meydana gelen fırtınalar ile ilişkilendirilebilir. İnşa edilen bu yapılar kıyıya giren ve kıyıdan çıkan madde dengesini bozmuştur. Kıyıdaki bu dengenin bozulması erozyon ya da kum birikmesi durumunu ortaya çıkarmaktadır.
ii. Karasuda inşa edilen yapılardan limanın kıyıda erozyonu başlattığı daha sonra kıyıyı korumak için inşa edilen kıyıya dik mahmuzların şiddetli fırtınalarında etkisiyle kıyıdaki erozyonları daha da arttırdığı görülmüştür. Bu erozyon durumunu engellemek için inşa edilen 27 adet ayrık dalgakıranın kıyıda kum biriktirme ve kıyıyı koruma açısından yararlı olduğu görülmüştür.

Karadeniz'in 1949'dan 1990'lı yıllara kadar deniz seviyesi değişimi 3,5-4,5 mm/yıl olarak verilmektedir (Shuisky, 2000; Alpar, 2009). European Environment Agency'nin raporuna göre, Karadeniz için 1996-2007 yılları arasında uydu altimetrisi verilerinden elde edilen yıllık değişim miktarı 7,5 mm'dir (URL 1). Bu kapsamda, bölgede meydana gelen erozyonların deniz seviyesi yükselmesinden kaynaklanmadığı sonucuna varılabilmektedir. Işık ve ark. (2006), Aşağı Sakarya Nehri'nde baraj yapılmadan önceki ve sonraki akım değişimlerine bakıldığında, yıllık ortalama akımlarda % 30-40 arasında bir azalma olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, aynı çalışmada, askı maddesi taşınma miktarının baraj yapımından sonra % 40-65 oranında azaldığı da tespit edilmiştir.

Şu anki çalışmada, hem kesitsel hem de kıyı çizgileri arasındaki yüzey alanı belirlenerek yapılan analizlerde liman inşaatının özellikle limanın hemen doğusundaki bölgelerde önemli erozyonlara sebep olduğu tespit edilmiştir. Hem Sakarya nehrinden taşınan katı madde miktarlarının azalması hem de limanın ana dalgakıran uzantısının uydu fotoğraflarından görüldüğü üzere 1999 ve 2000 yıllarında iyice belirginleşmesiyle

limanın ana uzantısının bir bariyer gibi davranarak limanın batısındaki Sakarya Nehrinden gelen katı maddeleri engellenmesi nedeniyle özellikle limanın hemen doğusundaki bölgede 1990 yılından 2008 yılına gidildikçe kesitlere göre değişmekle birlikte erozyonlar tespit edilmiştir.

Kutoglu ve ark. (2011), Karasu kıyı bölgesinde, kıyı akıntılarının geçmişte, Sakarya nehrinden taşınan katı maddeleri doğuya doğru taşıdığını, mevcut durumda inşa edilen limanın kıyı akıntılarını kestiğini, katı maddelerin bir kısmının limanın batı kısmında yığıldığını ve oluşan türbülanslar nedeniyle, akıntıyla taşınan katı maddelerin açığa doğru sürüklendiğini belirtmişlerdir. Öte yandan, Sakarya nehrinden gelen katı maddelerin engellenmesi ile birlikte bölgede meydana gelen dalgaların yüksekliklerinin 1998, 2001 ve 2003 yıllarında artmasıyla birlikte kıyıda bu yıllarda oyulmaların daha fazla arttığı görülmektedir. Bu bağlamda, bölgede meydana gelen fırtınaların da erozyonda önemli etkisinin olduğu söylenebilir.

Yaşanan bu erozyonları önlemek amacıyla 2009 yılında yapılan ayrık dalgakıranların etkisi incelendiğinde, 2009 ve 2010 yıllarında kıyıdaki kum alanının daha da azaldığı, bu yıllarda ilk ve orta kesitlerde erozyonun daha da arttığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda, yeterince planlama yapılmadan kısa sürede inşa edilen bu kıyıya dik mahmuzların şiddetli fırtınalar ve liman etkisiyle beraber kıyıda erozyonu daha da arttırdığı görülmektedir.

2010 yılında, artan bu erozyonları önlemek için yapımına başlanan ayrık dalgakıranların 2016 yılında tamamlandığı, 2010 ve 2017 yıllarındaki kum alanlarına bakıldığında, sahilde önemli miktarlarda kum biriktiği tespit edilmiştir. Ayrıca, yapılan kesitsel incelemelerde, sahilin 2010 yılından sonra kum tutmaya başladığı tespit edilmiştir. Uysal ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, tez konusu olan bölgesi için limanın doğusunda belirledikleri üç farklı kesit için 1987 yılını referans alarak 2011, 2013, 2016 yılları için karşılaştırmalar yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde zaman içerisinde kıyıda kum birikimi olduğunu ve inşa edilen ayrık dalgakıranların erozyonun önlenmesinde olumlu etki yarattığını belirlemişlerdir. Ayrıca, yapılan kesitsel incelemeye ve bunların bölgede meydana gelen dalgalarla ilişkisine bakıldığında, 2018 ve 2020 yıllarında yaşanan fırtınaların sahilde erozyonlara sebep olduğu anlaşılmıştır.

Fırtınalar etkisiyle oluşan bu erozyonlar geçici olarak kalmış ve sonraki yıllarda sahilde kum birikmeye devam etmiştir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda, inşa edilen bu ayrık dalgakıranların gerçekten de sahilde kum biriktirme açısından faydalı olduğu tespit edilmiştir.

Karasu Sahilinde meydana gelen bu değişimlerin tehlike yaratmaması için Karasu kıyısı düzenli aralıklarla kontrol edilmeli ve erozyon durumları incelenmeli gerekirse kıyıyı korumak için farklı önlemler alınmalıdır. Ayrıca, bir uzaktan algılama yöntemi olan Coastsat, uzman olmayan kullanıcıların Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8 ve Sentinel-2 görüntülerinden kıyı şeridi çıkarmasını sağlamaktadır. Öte yandan, uydu uzaktan algılama ve yerinde saha ölçümlerinin mevcut olmadığı yerlerde kıyı bilim adamlarının ve mühendislerin ilgisini çeken zamansal ölçekleri çözebilen düşük maliyetli uzun vadeli kıyı şeridi verileri sağlayabilmektedir.

KAYNAKLAR

Akpınar, A., Bingölbali, B., & Van Vledder, G. P. (2016). Wind and wave characteristics in the Black Sea based on the SWAN wave model forced with the CFSR winds. *Ocean Engineering*, 126, 276-298.

Akyol, N., Tüfekçi, M., Seyhan, K., & Demir, O. (1997). Türkiye'de kıyıların kullanımı ve kamu yararı ilişkileri: Trabzon ili kıyı kullanımı ve sonuçları. *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları 1. Ulusal Konferansı.*

Alpar, B. (2009). Vulnerability of Turkish coasts to accelerated sea-level rise. *Geomorphology*, 107(1-2), 58-63.

Anonim, (2012). Karasu Kıyı Alanı Kıyı Daralması Raporu, TMMOB, Ankara.

Aydın, M., & Uysal, M. (2013). Kıyı Çizgisi Değişiminin Uydu Görüntüleri Yardımıyla İzlenmesi: Sakarya-Karasu. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(3), 24-32.

Aydın, M. (2013). Kıyı Çizgisi Değişiminin İzlenmesi ve Risk Analizi: Sakarya Karasu Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar

Azevedo, L. Z. (2022). O uso de geotecnologias para análise da variabilidade temporal da linha de costa do arco praial Pântano do Sul-Açores, ilha de Santa Catarina, SC.

Brown, S., Long, J. W., Himmelstoss, E., & Farris, A. S. (2020, December). Using satellite data and data assimilation to improve analysis of historical shoreline trends from 1984 to the present and future projections along the US Atlantic coast. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (Vol. 2020, pp. OS038-05).

Carpenter, S., Toquica, M., & Sams, C. (2020). Using optical satellite shoreline detection to measure historic and forecast future sandy shorline changes in North Africa.

Castelle, B., Masselink, G., Scott, T., Stokes, C., Konstantinou, A., Marieu, V., & Bujan, S. (2021). Satellite-derived shoreline detection at a high-energy meso-macrotidal beach. *Geomorphology*, 383, 107707. doi:10.1016/j.geomorph.2021.107707

Curoy, J., Ward, R., Barlow, J., Moses, C., & Nakhapakorn, K. (2022). *Coastal evolution in Southern Thailand between 1990 and 2018: an application of the CoastSat toolkit* (No. EGU22-6215). Copernicus Meetings. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-6215, 2022.

Fenwick, F. (2021). *Detecting coastal change along the North Sea coast from open-source satellite images* (Master's thesis).

Görmüş, K. S., Kutoğlu, Ş. H., Şeker, D. Z., Özölçer, İ. H., Oruç, M., & Aksoy, B. (2014). Temporal analysis of coastal erosion in Turkey: a case study Karasu coastal region. *Journal of coastal conservation*, 18(4), 399-414.

Işık, S., Şaşal, M., & Doğan, E. (2006). Sakarya Nehrinde Barajların mansap etkisinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(3), 401-408.

İkiel, C., & Ustaoğlu, B. (2011). Sakarya Deltasının doğu kesiminde kıyı çizgisi değişiminin coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama yöntemleriyle analizi. *Fiziki Coğrafya Araştırmaları*, 483-492.

Kapdaşlı, S., Maktav, D., & Sunar, F. (1997). Kıyı Mühendisliğinde Ölçüm Teknikleri ve Uzaktan Algılama Teknolojisi Gereksinimi, 3. *Uzaktan Algılama ve Türkiye'deki Uygulamaları Semineri, Bursa.*

Kay, R. ve Alder, J. (1999). *Coastal Planning and Management*, E&FN Spon. New York.

Ketchum, B. H. (1972). *The Water's Edge: Critical Problems ofthe Coastal Zone*. The MIT Press, Cambridge, MA, USA.

Kozlowski, J., & Hill, G. J. (1993). *Towards planning for sustainable development: A guide for the Ultimate Environmental Threshold (UET) method*. University of the Sunshine Coast, Queensland.

Kutoglu, H., Oruc, M., Seker, D. Z., Gormus, K. S., Gazioglu, C., & Tutkun, N. (2010). Batı Karadeniz Bölgesi Karasu Sahil Kesiminde Kıyı Erozyonu'nun Zamansal Analizi. *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları VIII. Ulusal konferansı, Trabzon, 27.*

Kutoglu, S. H., Seker, D. Z., Ozolcer, I. H., Oruc, M., Aksoy, B., Gormus, K. S. (2011). Karasu Kıyılarında Erozyon ve Kıyı Yapılarının İncelenmesi. *7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 67-76.*

Marangoz, A. M., Görmüş, K. S., Oruç, M., Kutoğlu, Ş. H., & Alkış, Z. (2012). Verification of Temporal Analysis of Coastline Using Object-Based Image Classification Derived from Landsat-5 Images of Karasu, Sakarya–Turkey. *Proceedings of 4th GEOBIA2012*, 07-09.

Marangoz, A., Görmüş, S., Oruç, M., Kutoğlu, H., & Alkış, Z. (2013). Sakarya'nın Karasu İlçesindeki Kıyı Şeridinin Landsat Görüntülerinin Nesne Tabanlı Sınıflandırna Teknikleri Kullanılarak Zamansal Analizi". *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, *14*, 14-17.

Olgun, A. (2012). *Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yöntemiyle Göksu deltası kıyı çizgisi değişiminin izlenmesi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Sesli, F. A. (2006). Sayısal fotogrametri ile kıyı alanlarındaki değişimin izlenmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (95), 11-17.

Seker, D. Z., Kutoglu, S. S., Gormus, S., Tanik, A., Musaoglu, N., & Sertel, E. (2011, December). Investigation the reasons and results of the coastal erosion of Karasu Region (Turkey) using multi-temporal satellite sensor data. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (Vol. 2011, pp. EP33A-0885).

Shuisky, Y. D. (2000). Implications of Black Sea level rise in the Ukraine. *Proceeding of SURVAS ExpertWorkshop on European Vulnerability and Adaptation to Impacts of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR), Hamburg, Germany*, 19-21.

Şafak, A. O. (2005). *Sakarya ili Karasu ilçesi kıyı çizgisinin bir matematik modelle incelenmesi* (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).

Tan R. İ. (2013). *Risk Altındaki Kıyı Alanlarının Yönetimi ve Karasu Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

URL2, 2012. https://www.sakaryayenigun.com.tr/611-bakanliktan-aciklama-arkadasina-yolla.html

URL1, 2011. http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-level-rise/sea-level-rise-assessment-published.

Uysal, M., Polat, N., & Aydın, M. (2017, November). Monitoring of Coastal Erosion of Karasu Coast in Black Sea. In *Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration* (pp. 1623-1625). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70548-4_470

Varnas, L. (2020). Mapping shoreline changes along Catalonia's coastline using CoastSat.

Vos, K., Harley, M. D., Splinter, K. D., Simmons, J. A., & Turner, I. L. (2019). Sub-annual to multi-decadal shoreline variability from publicly available satellite imagery. *Coastal Engineering*, 150, 160-174.

Vos, K., Splinter, K. D., Harley, M. D., Simmons, J. A., & Turner, I. L. (2019). CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling & Software*, 122, 104528.

Yüksel, Y., Tan, R., Ayat, B., Güner, H., & Aydogan, B. (2013, June). A Coastal Management Case Study in Karasu at Black Sea Region. In *The Twenty-third International Offshore and Polar Engineering Conference*. OnePetro.

Yüksel, Y., Tan, İ., Ayat, B., Güner, H.A., Aydoğan, B., Şeker, D. (2014). "Karasu Kıyı Alanı Bütünleşik Modeli", *8. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, sayfa: 71-87*, İstanbul.