



Received: 24 April 2026 | Accepted: 18 June 2026

RUMELİFENERİ-KUMKÖY (İSTANBUL) ARASINDAKİ KOYLARIN VE PLAJLARIN MORFOMETRİK ANALİZİ VE DEĞİŞİMLERİ

Morphometric Analysis and Changes of the Bays and Beaches Between Rumeli Feneri and Kumköy (Istanbul)

S. Murat UZUN¹ 

Marmara Üniversitesi
İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi
Coğrafya Bölümü
İstanbul-Türkiye
murat.uzun@marmara.edu.tr

Fatih OCAK 

Marmara Üniversitesi
İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi
Coğrafya Bölümü
İstanbul-Türkiye
fatih.ocak@marmara.edu.tr

Abstract

Coasts comprise various geomorphological units, a factor that influences their morphodynamic development processes. Inlets that penetrate inland and the beaches within them are characterised by variations in wave-current hydrodynamics, particularly depending on the morphometry of the inlet. Within the scope of this study, morphometric analyses were conducted on 17 bays and beaches located between Rumelifeneri and Kumköy on the north of Istanbul Province; spatial and linear changes over a 55-year period were identified, and the relationship between the morphometric results and beach change was examined. In the study, the bays' boundaries were identified using satellite imagery and GIS, and seven basic morphometric parameters of the bays and their beaches were determined. Subsequently, the following indices were calculated for the coves using these variables: Planform Index (Ip), Embayment Morphometric Parameter (ye), Bay Sinuosity Ratio (Si), Bay Circularity Ratio (Rc), Bay Filling Index (Bfi) and Bay Beach Morphometric Parameter (Bye). Beach changes were identified using a 1970 orthophoto and a 2025 satellite image; changes in total beach area, annual beach area, and maximum beach shoreline were analyzed. According to the findings, the bays, with an average indentation of 168 m, possess different geometric structures and beach areas. The findings indicate that the bays located in the eastern section have higher indentation ratios and sinuosity values relative to their mouth widths; this suggests that wave energy is dissipated to a greater extent in these areas and that morphodynamic processes occur within more closed systems. The higher spatial and linear values of beach change in the western section are a consequence of this situation. The results revealed a high correlation between annual changes in beach area and shoreline length and the ye and Bfi indices, as well as the basic morphometric parameter of bay area.

Keywords: Bay morphometry, beach change, coastal geomorphology, GIS, Istanbul.

Öz

Kıyılar farklı jeomorfolojik birimleri barındırmakta ve bu durum kıyıların morfolojik gelişim süreçlerini etkilemektedir. Kara içine doğru girinti oluşturan koylar ve buradaki plajlar özellikle koy morfolojisine bağlı olarak dalga-akıntı hidrodinamiğinin değişmesiyle karakterize edilir. Belirtilen kapsamda bu çalışmada, İstanbul ilinin kuzeyinde yer alan Rumelifeneri-Kumköy arasındaki 17 koy ve plajın morfolojik analizi yapılmış, plajlardaki 55 yıllık alansal, çizgisel değişimler saptanmış ve morfolojik sonuçlar ile plaj değişiminin ilişkisi incelenmiştir. Çalışmada uydu görüntüleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile koyların sınırları tespit edilmiş, koyların içerisindeki plajların 7 temel morfolojik parametresi belirlenmiştir. Daha sonra bu değişkenler üzerinden koyların Planform İndisi (Ip), Koy Morfolojik Parametresi (ye-EMP), Koy Sinüzite Oranı (Si), Koy Dairesellik Oranı (Rc), Koy Dolum İndisi (Bfi) ve Koy Plajı Morfolojik Parametresi (Bye) indisleri hesaplanmıştır. Plaj değişimleri 1970 yılı ortofotosu ve 2025 yılı uydu görüntüsünden saptanmış, plaj toplam alanı, yıllık plaj alanı ve maksimum plaj kıyı çizgisi değişimleri analiz edilmiştir. Çalışmadaki bulgulara göre ortalama girintisi 168 m olan koylar farklı geometrik yapılar ve plaj alanlarına sahiptir. Bulgulara göre doğu kesimde yer alan koyların ağız genişliğine göre daha yüksek girinti oranına ve sinüzite değerlerine sahip olması, bu alanlarda dalga enerjisinin daha fazla sönmüldüğünü ve morfolojik süreçlerin daha kapalı sistemler içerisinde gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Plaj değişiminin alansal ve çizgisel olarak daha yüksek değerlerde batı kesimde yoğunlaşması bu durumun sonuçlarındandır. Elde edilen bulgular yıllık plaj alanı ve plaj kıyı çizgisi değişiminin ye, Bfi indisleri ve koy alanı temel morfolojik parametresi ile yüksek korelasyona sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Koy morfolojisi, plaj değişimi, kıyı jeomorfolojisi, CBS, İstanbul.

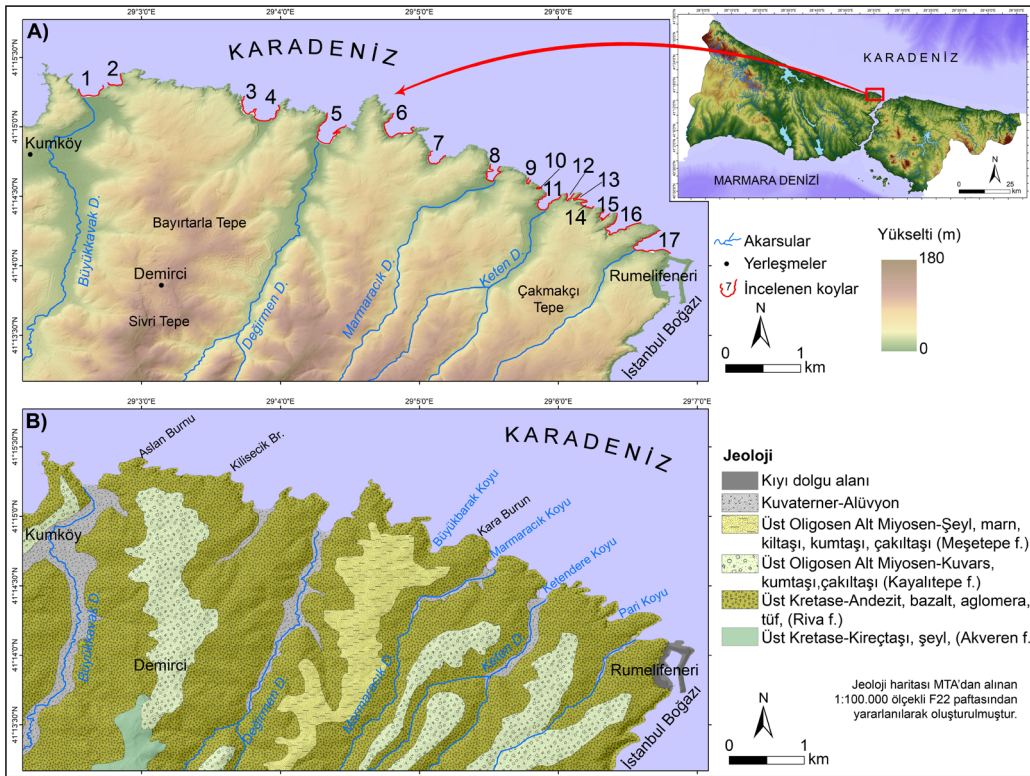
¹ Sorumlu Yazar/ Corresponding author

vd., 2017; Horta vd 2018; Fellowes vd., 2019; Gallop vd., 2020). Koyların morfometrik özelliklerine dayalı sınıflandırma yaklaşımlarının kıyı morfodinamiğinin anlaşılmasında önemli bir potansiyele sahip olduğu değerlendirilmektedir (Gallop vd., 2020). Bu tür yaklaşımlar plaj evrim süreçlerinin daha sistematik biçimde öngörülmesine imkân sağlarken, farklı koy tiplerinin hidrodinamik ve morfolojik tepkilerinin karşılaştırılabilir bir çerçevede değerlendirilmesine de olanak tanımaktadır. Ayrıca morfometrik temelli sınıflandırmalar, kıyı sistemlerinin mekânsal organizasyonunun nicel olarak ortaya konulmasına katkı sağlayarak koy içi plaj dinamiklerinin daha bütüncül bir yaklaşımla analiz edilmesine imkân sunmaktadır.

Bu çalışmada, İstanbul ilinin kuzeyinde yer alan Rumelifeneri–Kumköy arasındaki kıyılarda bulunan koyların ve plajların temel morfometrik parametrelerinin incelenmesi, morfometrik indislerle analizlerinin yapılması ve plaj kıyı değişimlerinin ortaya konularak morfometrik bulgularla ilişkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda çalışma sahasında plajı bulunan 17 koyun temel morfometrik özellikleri incelenmiştir. Bu inceleme verileri ile koy morfometri analizleri yapılmış ve sınıflandırmaların ortaya konulması planlanmıştır. Daha sonra 1970-2025 yılları verilerine dayanarak koydaki plajların alansal ve çizgisel değişimleri hesaplanmış ve koy morfometrik verileri ile korelasyonları üzerinden sonuçların değerlendirmesi amaçlanmıştır. Çalışma, açık erişimli uydu görüntüleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri kullanılarak yürütülmüş olup, elde edilen bulguların Türkiye kıyılarındaki farklı koylu plajların anlaşılmasına ve karşılaştırmalı analizlere katkı sağlaması beklenmektedir.

1.1. Çalışma sahası

Çalışma sahası Türkiye'nin, Marmara Bölgesi'nde İstanbul ilinin kuzeyinde Karadeniz kıyısında yer alan Rumelifeneri-Kumköy arasındaki kıyı şeridinden oluşmaktadır (Şekil 1A). Çalışma sahasının doğusunda İstanbul Boğazı'nın Karadeniz'e açılan kısmı, batısında Kumköy'den itibaren başlayan alçak kıyı ve plaj alanı, güneyinde ise yerleşim yoğunluğunun nispeten az olduğu ve flüvyal kökenli depresyonlardan oluşan saha bulunur. Araştırma sahası olarak bu alanın seçilmesinde, koylu kıyı tipi varlığı, koyların plaj mevcudiyeti, Karadeniz dalga-akıntı sistemi ile boğazların akıntı sisteminin geçiş alanına yakın olması ve plajlardaki değişim durumu etkili olmuştur.

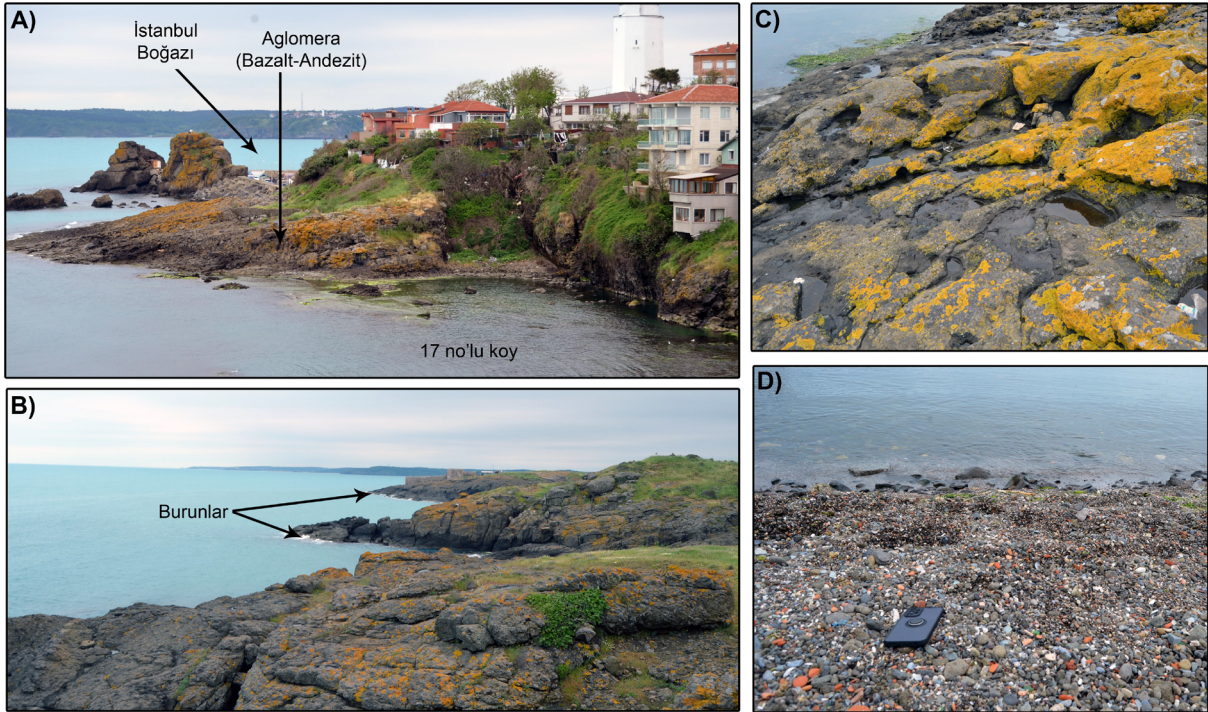


Şekil 1- A) Çalışma sahasının lokasyon haritası ve incelenen koylar, B) Çalışma sahasının jeoloji haritası

Figure 1- A) The map of the study area's location and the bays under investigation, B) Geological map of the study area

Çalışma sahasının en eski jeolojik birimlerini Üst Kretase yaşlı Riva ve Akveren formasyonları oluşturur. Kıyıların büyük bir kısmı Riva Formasyonu'na ait volkanik sedimentler meydana getirir (Şekil 1B). Özellikle andezit, bazalt ve aglomera çalışma sahasının temeli litolojik birimleridir (Fotoğraf 1A). Bazı yerlerde volkanoklastik sedimentlerin tabaka kalınlığı 50 m'yi aşan kaba kırıntılılar ile de gözlemlenir (Gedik vd., 2005). Bunlar genellikle blok-kül akıntıları, volkanik breş, akma breşi, hyaloklastitler, volkanojenik kumtaşı görünümündedir. Kıyıda iç kesimde özellikle sırtlarda Üst Oligosen'e ait Kayalitepe ve Meşetepe formasyonları gözlemlenmektedir. Bu formasyonlar özellikle kumtaşı, çakıltaşı, kiltası, marn litolojisinden oluşmaktadır. Vadi tabanlarında ve kıyıda kesimlerinde alüvyonlar diğer litolojik birimi meydana getirmektedir.

Jeomorfolojik açıdan çalışma sahası, kıyıda koylu, girintili çıkıntılı yapısı, koy içerisindeki plajlar, aşınım arttığı kayalar ve kıyı gerisindeki flüvyal depresyonlardan oluşmaktadır (Ertek, 2010) (Fotoğraf 1). Bazalt, andezit ve aglomeralardan oluşan jeolojik yapının özellikle kıyıda farklı doğrultularda dikalazlar ya da faylar parçalandığı, bazı alanlarda kıyı mağaraları, abrazyon platformlarının olduğu gözlemlenmiştir. Sahanın batı kesiminde flüvyal taşınımına bağlı olarak kumlu plajlar doğuda ise çakıllı plajlar bulunmaktadır (Fotoğraf 1). Batıdan doğuya doğru Büyükkavak Dere, Değirmen Dere, Marmaracık Dere ve Ketten Dere çalışma sahasına nispeten daha yüksek malzeme taşıyan ve flüvyal depresyonlar oluşturmuş akarsulardır.



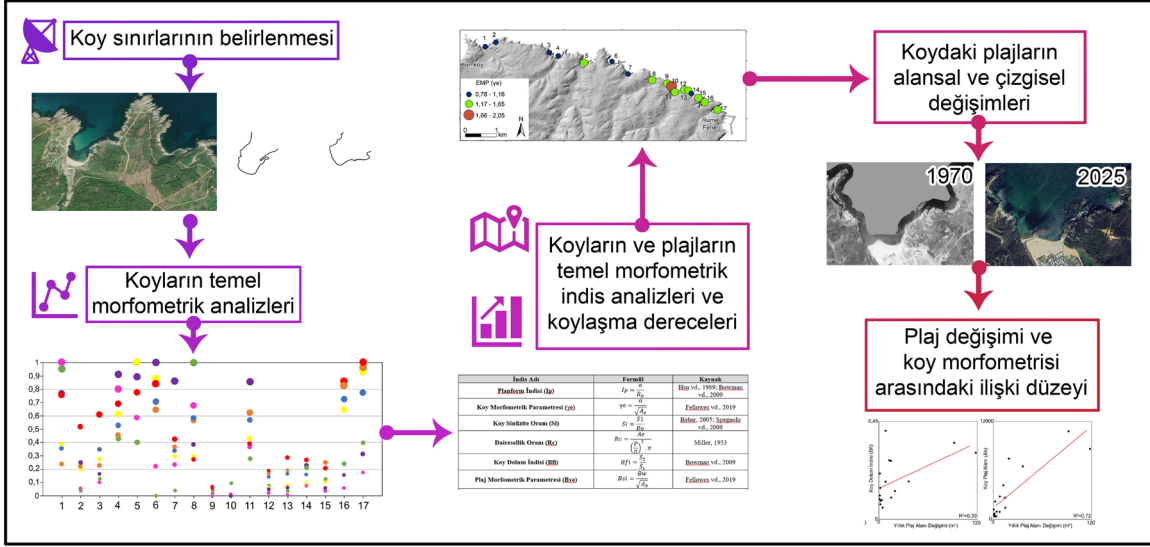
Fotoğraf 1- A) Rumelifeneri yakınlarındaki koyun strüktral yapısı ve jeolojik malzemeler, B) Çalışma sahasındaki koyların sınırını oluşturan burun örnekleri, C) Koyda bazaltlar üzerindeki kıyı aşınım çukurları, C) 17 no'lu koydaki çakıllı plaj.

Photograph 1- A) The structural features and geological materials of the bay near Rumelifeneri, B) Samples of headlands forming the boundaries of the bays in the study area, C) Coastal erosion depressions on basalts in the bay, D) The pebble beach in bay number 17.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın temel veri setlerini farklı yıllara ait olarak Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM) alınan 1:25 000 ölçekli topografya paftaları, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden (İBB) alınan LİDAR tabanlı olarak üretilmiş (üretim yılı 2013, revize edilmesi 2018) 1 m çözünürlüklü sayısal arazi modeli, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden (MTA) alınan 1:100.000 ölçekli F22 jeoloji paftası, Avrupa Uzay Ajansının finanse ettiği Copernicus üzerinden temin edilen 20.07.2025 tarihli Sentinel 2 MSI uydu görüntüsü (10 m çözünürlüklü), İBB'den alınan 1970 yılına ait ortofotolar, Google Earth Pro'dan (GEP) alınan (1 m çözünürlüklü) uydu görüntüleri oluşturmaktadır.

Bu araştırma temel olarak (i) koyların sınırları ve günümüz kıyı çizgisinin belirlenmesi, (ii) koylara ve koydaki plajlara ait temel morfometrik parametreler ile indis analizlerinin hesaplanması, (iii) koydaki plaj ve kıyı çizgisi değişimi ile morfometrik parametrelerin korelasyon analizi basamaklarından oluşmaktadır (Şekil 2). Bu kapsamda ilk olarak Rumelifeneri–Kumköy arasındaki kıyı sahasının ve gerisindeki alanın 1 m çözünürlüklü DEM-SYM (Sayısal Yükselti Modeli) verisi üzerinden yükselti ve drenaj üretilmiştir. Daha sonra araştırma sahasının jeolojisi haritası yapılmıştır.



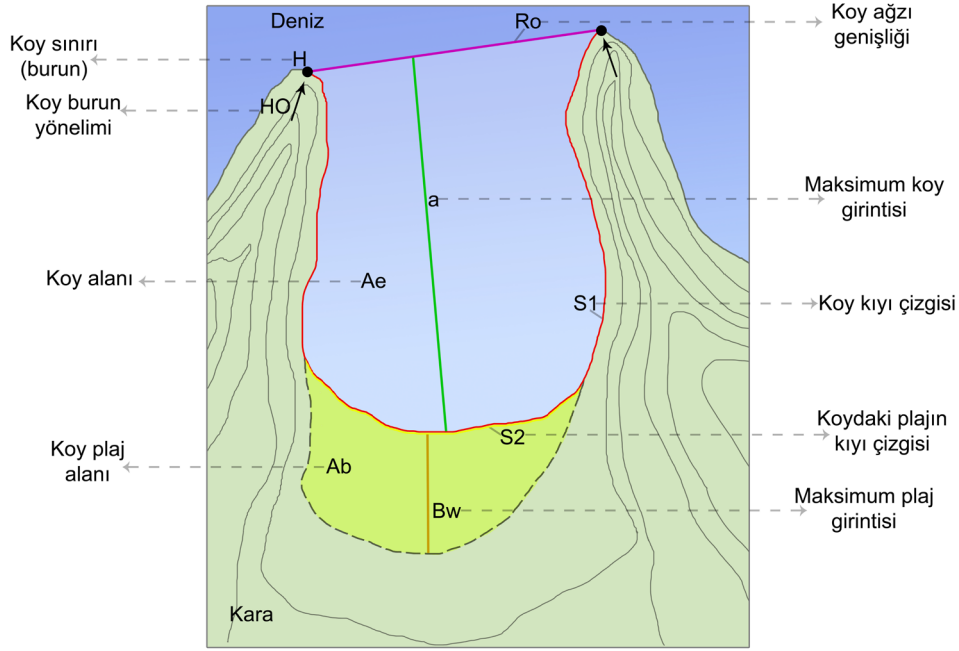
Şekil 2- Çalışmanın iş-akış şeması ve sistematığı
Figure 2- Workflow diagram and systematic approach of the study.

Deniz ya da okyanus sularının kara kütlelerinin içerisine doğru farklı morfolojik görünümde sokulmasıyla gözlemlenen ve farklı oluşum dinamiklerine sahip olan jeomorfolojik birimlere koy ya da körfez denilmektedir (Hsu vd., 1989b). Girinti ve büyüklük açısından temel bir sınıflandırma olmamasına rağmen daha geniş alanlı ve daha fazla girinti sağlayan morfolojik birimler körfez, deniz tarafındaki girintisi ve alanı daha dar olanlar ise koy olarak adlandırılır. Bu çalışmada daha dar alanlı bir koy inceleme amaçlanmıştır ve koyların mutlak suretle plaja sahip olması temel kriter olarak belirlenmiştir. Araştırmanın ilk basamağında koy sınırları ilk olarak 1:25.000 ölçekli topografya paftalarından incelenmiş, ancak çözünürlüğün yeterli olmamasından dolayı farklı bir yol seçilmiştir. Daha sonra Sentinel uydu görüntüsü incelenmiş, ancak bu verideki kıyı çizgisinin çözünürlüğü (10 m) ve morfometrik parametrelerdeki analizler için yeterli olmamıştır (Gao vd., 2024; Evagorou vd., 2025). Bu bakımdan açık olarak erişim sağlanan Google Earth Pro platformu üzerinden (1 m çözünürlüklü) çalışma sahasının kıyı çizgileri yazılım içerisinde üretilmiş, daha sonra Kmz. formatında ArcGIS yazılımına aktarılmış ve gerekli projeksiyon dönüşümleri sağlanarak çalışma kapsamında kullanıma uygun hale getirilmiştir.

Koyların temel morfometrik özellikleri farklı disiplinler açısından birçok çalışmada ortaya konmuştur (Hsu vd., 1989a; Klein & Menezes, 2001; Håkanson & Eklund, 2007; Spagnolo vd., 2008; Bowman vd., 2009; Hsu vd., 2010; Bowman vd., 2014; Swirad & Rees, 2015; Fellowes vd., 2019; Castelle vd., 2020; Finkl & Makowski, 2021; Usai vd., 2025). Daha önce yapılmış çalışmaların birçoğunun koy morfometrisi ile koy içerisinde yer alan plajların morfometrik özelliklerini ele aldığı saptanmıştır (Short & Masselink, 1999; Bowman vd., 2009; Fellowes vd., 2019; Usai vd., 2025). Aynı zamanda koy morfometrisi açısından özellikle dalga geliş yönü ve koyda oluşturduğu gölge alanı ile bunun plaja etkisi de morfometrik olarak bazı çalışmalarda incelenmiştir (Bowman vd., 2009; Fellowes vd., 2019).

Bu çalışmada plajı olan 17 farklı koy yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden tespit edilmiş, daha sonra ArcGIS yazılımı kullanılarak temel morfometrik hesaplamalar yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan temel koy morfometrisi parametreleri şunlardır; R_o burunlar arasındaki koy genişliği-mesafesi (m), a koyun kara içine doğru maksimum girintisi (m), S_l koyun toplam kıyı çizgisi uzunluğu (m), A_e sınırları belirlenen koyun deniz tarafındaki

toplam alanı (m²), S2 koyda oluşmuş plajın kıyı çizgisi uzunluğu (m), Bw koydaki plajın kara yönüne doğru maksimum girintisi (m) ve Ab koydaki plajın toplam alanıdır (m²) (Şekil 3).



Şekil 3- Koyların temel morfometrik parametreleri (Bowman vd. 2009; Fellowes vd. 2019; Usai vd., 2025'ten yararlanılarak çizilmiştir.)

Figure 3- Basic morphometric parameters of the bays.
(based on Bowman et al., 2009; Fellowes et al., 2019; Usai et al., 2025)

Çalışmada tespit edilen temel koy morfometrik özellikleri kullanılarak koy ve plajların morfometrik indis analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda koy morfometrisi için birçok çalışma incelenmiş, literatürden 6 indis belirlenmiş ve 17 farklı koy için ArcGIS yazılımı üzerinden analizler yapılmıştır (Miller, 1953; Hsu vd., 1989a; Seth vd., 1998; Short & Masselink, 1999; Klein & Menezes, 2001; Babar, 2005; Migoń & Szczepanik, 2005; Håkanson & Eklund, 2007; Spagnolo vd., 2008; Bowman vd., 2009; Swirad & Rees, 2015; Fellowes vd., 2019; Castelle vd., 2020; Usai vd., 2025). Araştırmada kullanılan koy morfometrik indisleri şunlardır: Platform İndisi (Ip), Koy Morfometrik Parametresi (γ_e), Koy Sinüzite Oranı (Si), Koy Dairesellik Oranı (Rc), Koy Dolu İndisi (Bfi) ve Koy Plajı Morfometrik Parametresi (B γ_e). Belirtilen indislerin formülleri ve açıklamaları Tablo 1'de gösterilmiştir (Tablo 1).

Analizler sonucu her farklı koy morfometrik indisin sınıflandırılmasında natural breaks yöntemi kullanılmıştır. Belirtilen sınıflandırma yöntemi sayısal değerlerin kendi içerisindeki maksimum ve minimum verilerini dikkate alarak istenilen sayıda kategorik doğal sınıflandırma yapmaktadır. Koyların temel morfometrik parametreleri ile morfometrik indislerin daha güvenilir ve belirgin şekilde karşılaştırılması için bu çalışmada ayrıca normalleştirme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem aşağıdaki denklem 1 üzerinden uygulanmaktadır.

$$No = \frac{1}{n} \sum_i^n = 1 \left(\frac{Bi - Bi_{min}}{Bi_{max} - Bi_{min}} \right)$$

Denklem 1

Formülde, No normalleştirme işlemi sonucu, Bi normalleştirilmesi istenen koy indis değeri, Bi_{min} indis içerisindeki minimum değeri, Bi_{max} indis içerisindeki maksimum değeri ifade eder. Normalleştirme sonucu 0-1 arasında değer almaktadır.

Koyların sınırlarını belirleyen kıyı burunları litolojik, morfolojik, strüktür ve yönelim açısından farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle çalışma sahasındaki koylar aynı zamanda sınırlarını teşkil eden burunların morfolojik yönelimi açısından da incelenmiştir. Koyların burun yönelim analizi için Fellowes vd. (2019)'nin yaptığı ve 6 farklı tipi içeren koy burnu sınıflandırması kullanılmıştır.

Çalışma sahasındaki koyların plaj alanı ve plaj kıyı çizgisi değişimi 1970 yılına ait ortofoto verisi ile 2025 yılına ait GEP görüntülerinden elde edilen bulgularla analiz edilmiştir (Uzun, 2023). Alansal değişim hesaplamaları için ArcGIS yazılımındaki geoprocessing-union aracı kullanılmıştır. Çizgisel hesaplamalar ise iki farklı yıla ait kıyı çizgisinin maksimum ilerleme-gerileme noktası arasındaki mesafe üzerinden yapılmıştır. Elde edilen değişim verileri ile koyların morfometrik analiz sonuçları arasındaki ilişkisi Pearson korelasyon verileri ile hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

Tablo 1- Çalışmada kullanılan koy morfometrik indisleri ve formülleri
Table 1-Bay morphometric indices and formulas used in the study

İndis Adı	Formül	Kaynak
Planform İndisi (Ip)	$Ip = \frac{a}{R_o}$	Hsu vd., 1989a; Bowman vd., 2009
Koy Morfometrik Parametresi (�e)	$\gamma e = \frac{a}{\sqrt{A_e}}$	Fellowes vd., 2019
Koy Sinüzite Oranı (Si)	$Si = \frac{S1}{R_o}$	Babar, 2005; Spagnolo vd., 2008
Dairesellik Oranı (Rc)	$Rc = \frac{Ae}{\left(\frac{P}{\pi}\right)^2 \cdot \pi}$	Miller, 1953
Koy Dolum İndisi (Bfi)	$Bfi = \frac{S_2}{S_1}$	Bowman vd., 2009
Plaj Morfometrik Parametresi (Bye)	$Bsi = \frac{Bw}{\sqrt{A_b}}$	Fellowes vd., 2019

Ro: Burunlar arası koy genişliği (m), *a*: Maksimum koy girintisi (m), *S1*: Koyun toplam kıyı çizgisi uzunluğu (m) *S2*: Koydaki plajın kıyı çizgisi uzunluğu (m), *Bw*: Koydaki plajın maksimum girintisi (m), *Ae*: Koyun deniz yönündeki alanı (m²), *Ab*: Koydaki plajın alanı (m²)

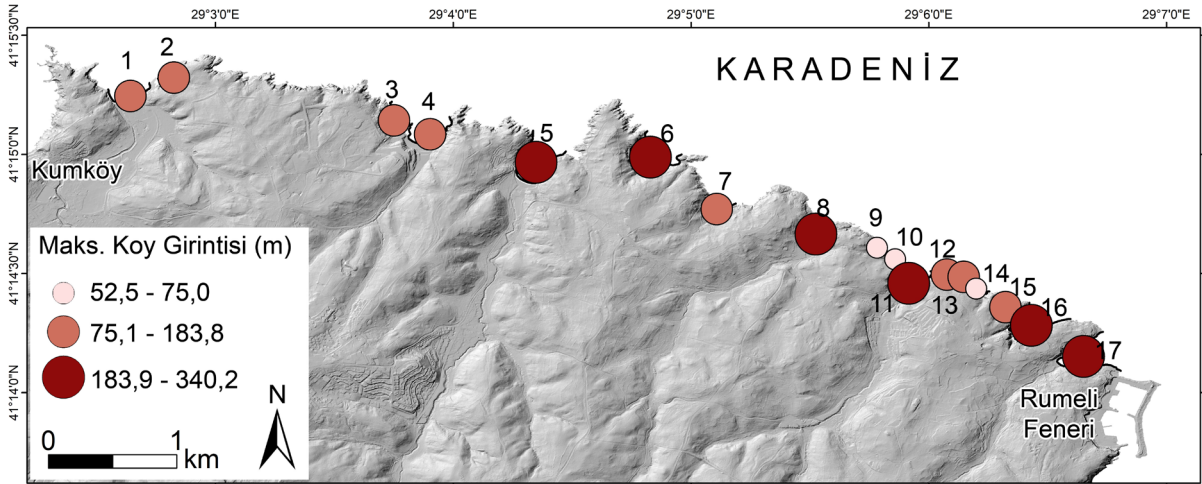
3. BULGULAR

3.1. Çalışma sahasının koy ve plaj morfometrik analizleri

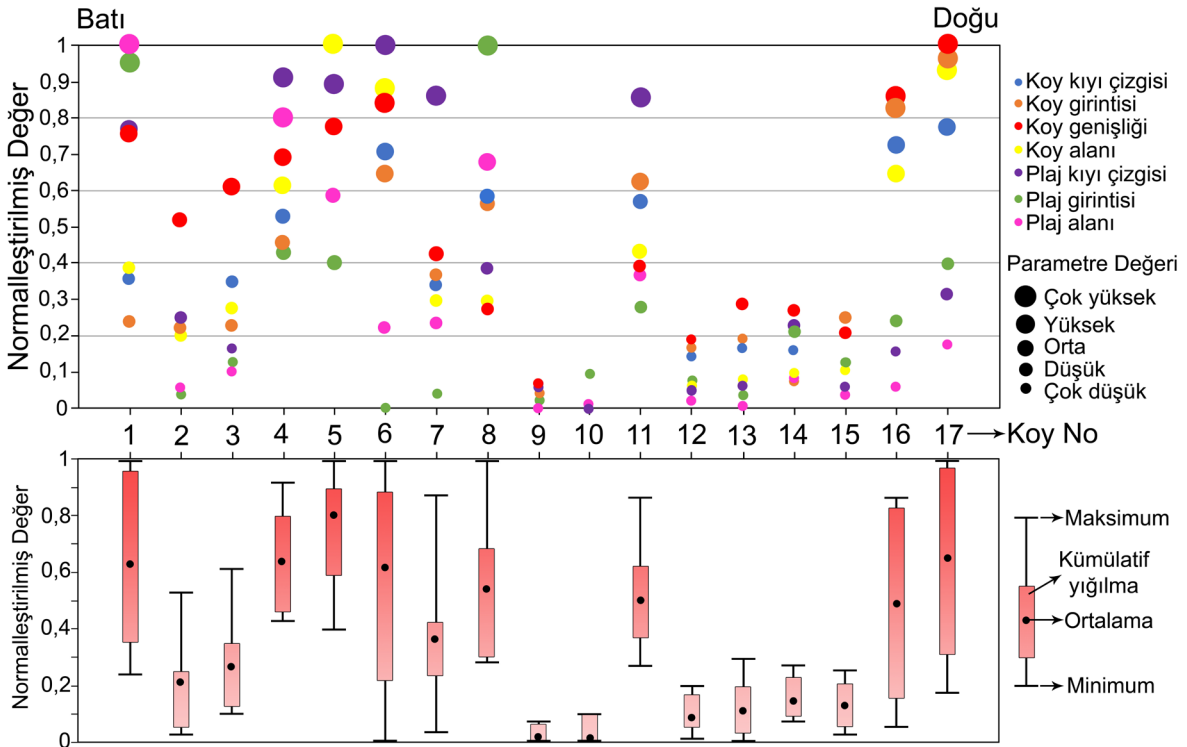
Araştırma sahasında incelenen 17 koyun ortalama kıyı çizgisi uzunluğu 509,7 m iken maksimum kıyı çizgisi 1071,8 m (5 no'lu koy) ve minimum kıyı çizgisi 123,7 m'dir (10 no'lu koy). Koyların deniz tarafındaki ortalama alanı 22740 m², ortalama girintisi 168,4 m ve ortalama genişliği 160,1 m'dir. Maksimum koy girintisinin 5, 6, 8, 11, 16 ve 17 no'lu koylarda olması dikkat çekmektedir (Şekil 4 ve 5). Belirtilen verilerin tamamında minimum değerler 10 numaralı koya ait iken koy alanı ve girintisi en fazla olan 6 no'lu koy, genişliği en fazla olan 17 no'lu koydur. Koyların ortalama plaj kıyı çizgisi uzunluğu 93,3 m, ortalama plaj alanı 3053,3 m² ve ortalama plaj girintisi 40,2 m'dir. Maksimum ve minimum plaj morfometrisi değerine sahip koylar değişkenlik göstermektedir. Bu durum özellikle koy morfometrisi ile plajların jeomorfolojik ve hidrodinamik oluşum gelişiminde farklılaşmaların ve etkileşimlerin olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışma sahasındaki koy ve plajların temel morfometrik analiz sonuçlarının dağılımları her bir koy için normalize edilerek incelenmiştir (Şekil 5). Elde edilen bulgular, bazı koyların ekstrem değerler açısından morfometrik özellikler gösterdiğini, bazı koyların ise daha dar ve küçük morfolojik görünüme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca koyların temel morfometrik değerlerinin kümülatif yığılmaları ve ortalama değerleri de önemli veriler sunmaktadır (Şekil 5). Belirtilen verilere göre 1, 6, 7, 16 ve 17 no'lu koyların morfometrik parametrelerinin değişkenlikleri yüksek ve kümülatif yığılmaları daha geniş değer aralığındadır. Ancak 9, 10, 12, 13, 14 ve 15 no'lu koyların değişkenlik ve kümülatif yığılmaları oldukça dar bir değer aralığında olup bu koylar morfometrik açıdan dar alanlı ve küçük boyutlu koylar sınıfına girmektedir. Morfometrik sonuç değerinin yüksek olduğu koyların 1 ve 8 arasındaki koylar ile 16 ve 17 no'lu koylar olduğu, bu koyların daha geniş alanlı

ve orta-büyük koylar sınıfına girdiği bulgusuna ulaşılmıştır. Bütün temel morfometrik parametrelerin ortalaması dikkate alındığında 1, 4, 5, 6, 8, 16 ve 17 no'lu koyların yüksek ortalamaya sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4- Çalışma sahasındaki koyların maksimum koy girintisine göre sınıflandırılması
Figure 4- Classification of bays in the study area based on maximum bay depth



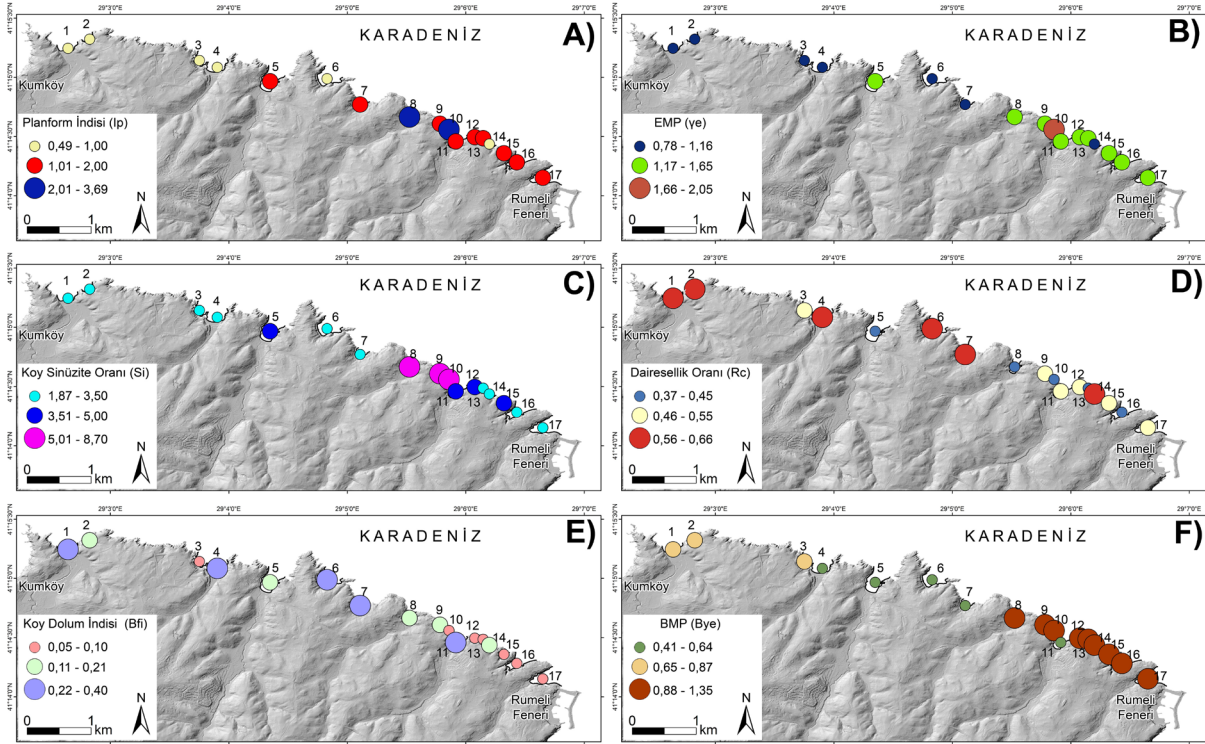
Şekil 5- Çalışma sahasındaki koyların normalleştirilmiş temel morfometrik verileri ile kümülatif yığılma durumları
Figure 5- Normalized basic morphometric data and cumulative sedimentation patterns of the bays in the study area

Koyların temel morfometrik özelliklerinin daha anlamlı bir analiz ortaya koyabilmesi için 6 farklı morfometrik indis analizi yapılmıştır (Tablo 2, Şekil 6). Planform İndis (Ip) sonuçlarının yüksek çıkması, genişliğe göre koyun kara içine doğru daha fazla sokulabildiğini göstermektedir (Fellowes vd. 2019; Usai vd., 2025). Çalışmada incelenen koyların Ip ortalaması 1,31 olarak hesaplanmıştır. En yüksek Ip değerine 10 no'lu koy (3,70), en düşük değere 1 no'lu koy (0,49) sahiptir. Koy ağız genişliğine göre girintisi fazla olan koyların daha çok çalışma sahasının doğu kıyılarında yoğunlaştığı tespit edilmiştir (Tablo 2, Şekil 6A).

Koy morfometrik parametresi (γ e-EMP), koy girintisi ile koy alanının karekökü arasındaki orantıya bağlı olarak hesaplanır. İndis sonuçlarının yüksek değerde olması koyların girintisinin daha fazla olduğunu ve belirgin bir koylaşmanın varlığını göstermektedir (Fellowes vd. 2019; Usai vd., 2025). Çalışmada incelenen koyların γ e değeri 1,31 olarak hesaplanmıştır. En yüksek γ e değerine sahip 10 no'lu koy (2,05) iken, en düşük γ e değerine sahip 1 no'lu koy (0,79) olmuştur. İndis sonuçları özellikle çalışma sahasının doğu kesiminde koylaşmanın daha iyi ve belirgin olduğunu göstermektedir (Tablo 2, Şekil 6B).

Tablo 2-Çalışma sahasındaki koyların morfometrik indis sonuçları
Table 2-Morphometric index results for the bays in the study area

No	I_p	γ e (EMP)	S_i	R_c	B_{fi}	$B_{\gamma e}$
1	0,49	0,79	1,88	0,58	0,35	0,87
2	0,67	1,03	2,08	0,56	0,17	0,80
3	0,59	0,91	2,27	0,50	0,10	0,81
4	0,83	0,95	2,80	0,65	0,30	0,57
5	1,35	1,38	4,25	0,43	0,17	0,62
6	0,88	1,03	2,92	0,59	0,27	0,41
7	1,10	1,17	3,10	0,66	0,41	0,46
8	2,17	1,60	6,78	0,38	0,13	1,09
9	1,97	1,65	5,23	0,46	0,14	1,17
10	3,70	2,05	8,70	0,43	0,11	1,35
11	1,73	1,42	4,99	0,52	0,27	0,64
12	1,41	1,59	3,57	0,47	0,09	1,12
13	1,06	1,53	2,75	0,43	0,09	1,21
14	0,79	0,97	2,85	0,57	0,21	1,07
15	1,60	1,49	4,64	0,46	0,07	1,13
16	1,06	1,46	2,95	0,42	0,05	1,26
17	1,03	1,39	2,69	0,51	0,09	1,08



Şekil 6- Çalışma sahasındaki koyların morfometrik indislere göre sınıflandırılması
A) I_p , B) γ e-EMP, C) S_i , D) R_c , E) B_{fi} , F) $B_{\gamma e}$

Figure 6- Classification of bays in the study area based on morphometric indices:
A) I_p , B) γ e-EMP, C) S_i , D) R_c , E) B_{fi} , F) $B_{\gamma e}$

Koy sinüzite oranı (Si), koyun kıyı çizgisi uzunluğu ile genişliğinin oranlanması ile hesaplanmaktadır (Babar, 2005; Spagnolo vd., 2008). Sonuçların 1'e yakın çıkması koyun girintisinin az olduğunu, 1'den görece yüksek sonuçlar ise koyun denizden karaya doğru fazla girinti oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmada incelenen koyların Si ortalaması 3,79 iken, en yüksek değer 8,70 (10 no'lu koy) ve en düşük değer 1,88'dir (1 no'lu koy). Özellikle 8, 9 ve 10 no'lu koyların sinüzite oranının daha yüksek olduğu saptanmıştır (Tablo 2, Şekil 6C).

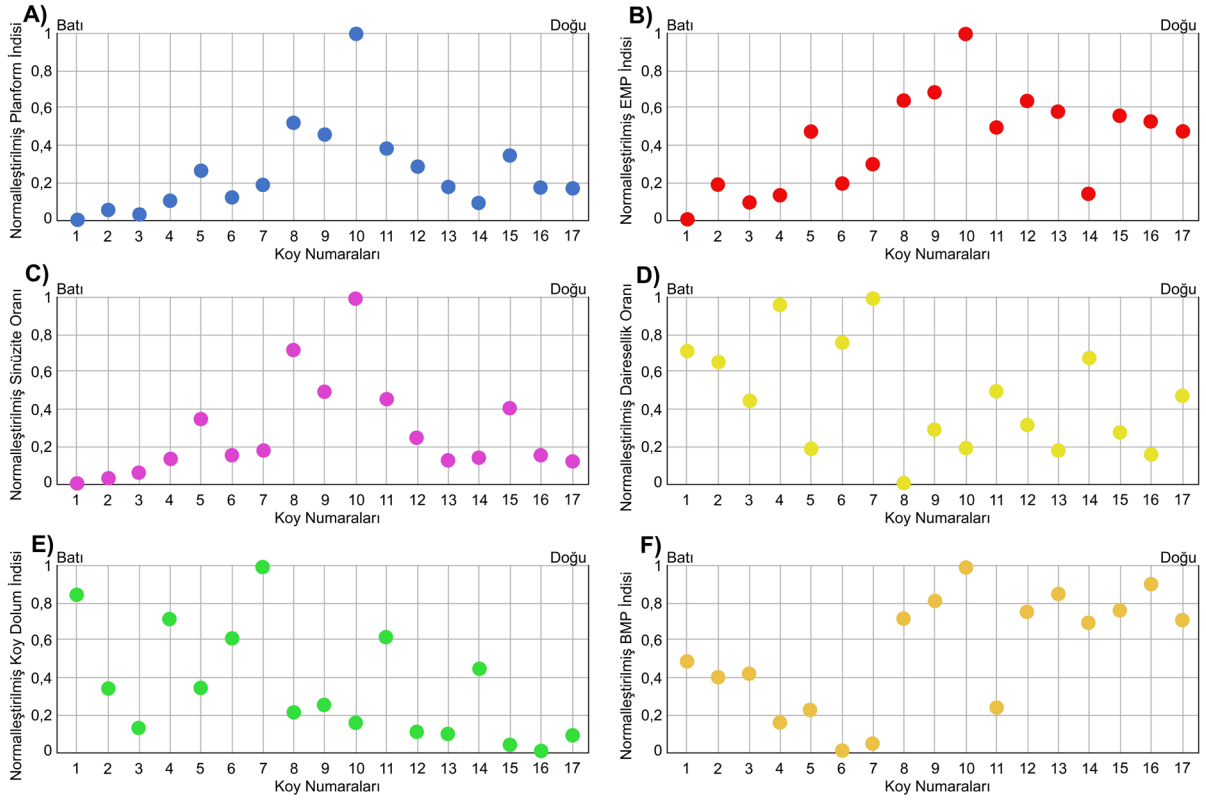
Dairesellik Oranı (Rc), koy alanı ile koy alanının çevre uzunluğunun aynı değerine sahip daireye oranlanmasıyla hesaplanmaktadır (Miller, 1953; Swirad & Rees, 2015). Rc sonuçlarının 0'a yakın olması koyun daha köşeli ve eksantrik geometrisinin olduğunu, görece 0'dan yüksek değerler ise koyun daireselliğinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmada incelenen koyların dairesellik oranı ortalaması 0,50 olarak tespit edilmiştir. En yüksek daireselliğe 7 no'lu koy (0,66) en düşük dairesellik oranına ise 8 no'lu koy (0,38) sahiptir. Özellikle 1, 2, 4, 6 ve 7 no'lu koyların daha dairesel olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2, Şekil 6D).

Koy dolum indisi (Bfi), plaj kıyı çizgisinin koyun toplam kıyı çizgisine oranı ile hesaplanmaktadır. İndis sonuçları koyların özellikle plaj yapısı ve kıyı jeomorfoloji açısından birikim durumu hakkında bilgi vermektedir (Fellowes vd. 2019; Usai vd., 2025). Bfi sonuçlarının 0 olması koyda plaj olmadığını, 1'e yakın olması ise koyun büyük bölümünde plaj olduğunu göstermektedir. Çalışma sahasındaki koyların Bfi ortalaması 0,17 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, Rumelifeneri-Kumköy arasındaki koylarda plaj oluşumunun sınırlı olduğunu göstermektedir. En yüksek Bfi değeri 0,41 ile 7 no'lu koya, en düşük değer ise 0,05 ile 16 no'lu koya aittir. Bfi verilerin daha yüksek olduğu koylar görece çalışma sahasının batısında yoğunlaşmaktadır (Tablo 2, Şekil 6E).

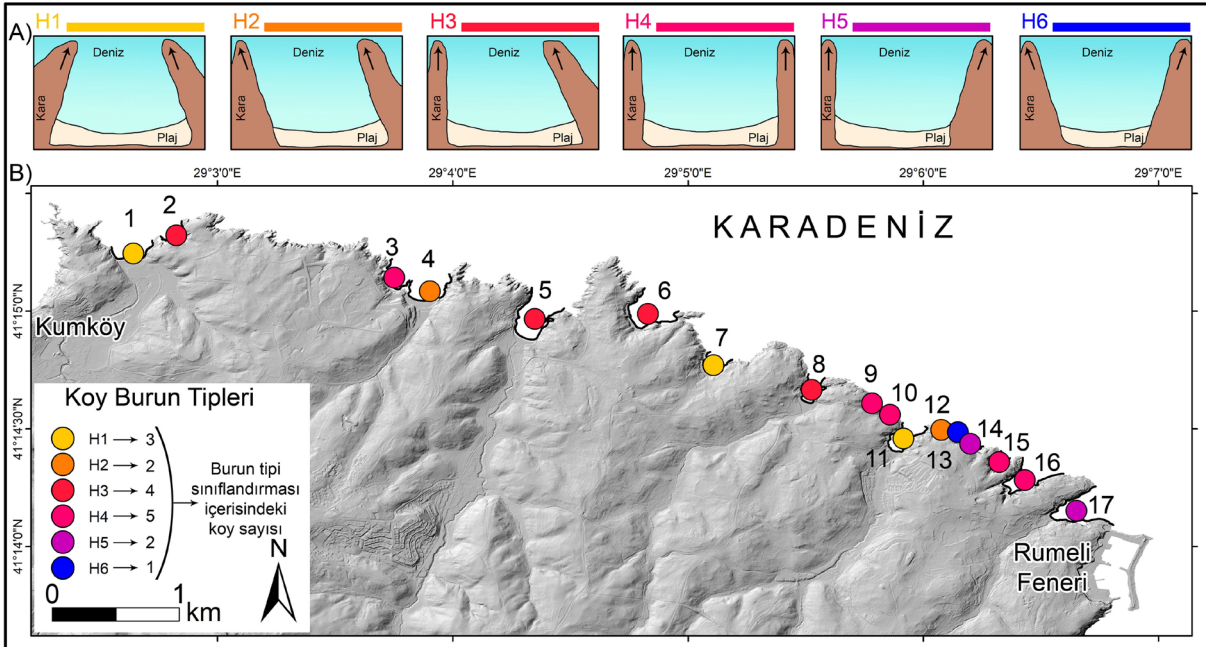
Plaj morfometrik parametresi (B γ e), plaj alanının karekök değerinin plaj girintisi ile oranlanması sonucu elde edilir. Ortaya çıkan değerler özellikle koydaki plaj girintisinin ne ölçüde materyal ile dolduğunu göstermektedir. B γ e sonuç değerlerinin ortalaması 0,92 olarak hesaplanmıştır. En yüksek değere 10 no'lu koy (1,35), en düşük değere ise 6 no'lu koy (0,41) sahiptir (Tablo 2, Şekil 6F). Elde edilen bulgular özellikle çalışma sahasının batısındaki dar alanlı koyların plaj girintisini çok fazla oluşturamadığını, ancak plaj oluşumunun buna rağmen belli boyutlarda olduğunu göstermektedir.

Koyların morfometrik indis değerlerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi için normalleştirme işlemi uygulanmıştır (Şekil 7). Normalleştirilmiş değerler 0-1 arasında yer almaktadır. Analiz sonuçlarına göre 17 koy ortalaması alındığında en yüksek morfometrik değer 0,54 ile B γ e indisine ait olduğu saptanmıştır. Bu indis sırasıyla Rc (0,45), γ e (0,41), Bfi (0,35), Si (0,28) ve Ip (0,25) izlemektedir. Her bir koyun normalleştirilmiş morfometrik indis değerinin ortalaması alındığında, en yüksek değere 0,72 ile 10 no'lu koy sahiptir. Bu durum 10 no'lu koyun genişlik-girinti oranında koylaşmasının yüksek olduğunu ve plaj girintisinin fazla olduğunu ortaya koymaktadır. Bu koyu sırasıyla 9, 8, 7 ve 11 no'lu koy izlemektedir. Dairesellik yapısı ve koy dolum indis verileri ise daha çok batıdaki koylarda yüksek değer göstermektedir. Bu durum belirtilen koyların dairesel olmasının plaj oluşumunda enkaz göçünü tetiklediğini ve daha dairesel ve geniş plajların oluştuğunu göstermektedir.

Araştırma sahasındaki koylar Fellowes vd. (2019)'nin yaptığı koy burun yönelimine göre sınıflandırılmıştır (Şekil 8). Bu sınıflandırmaya göre koyların sınırını belirleyen her iki taraftaki burunların yönüne göre 6 farklı tip sınıflandırılmaktadır. Burun tiplerinden H1, H2 ve H3 genel olarak kapalı ağza sahip koylar, H4, H5 ve H6 ise açık ağza sahip koylar olarak değerlendirilmektedir. Koyların burun tipi yönelimi özellikle plaj oluşumu, gelişimi ve koy içerisinde dalga enerjisi ile yönelimi açısından oldukça önemlidir. Çalışmada H1 tipinde 3 koy, H2'ye ait 2 koy, H3'te 4 koy, H4 tipinde 5 koy, H5 tipinde 2 koy ve H6'da 1 koy yer almaktadır. Çalışma sahasındaki burun sınıflandırmasına göre koyların %53'ü kapalı, %47'si ise açık koy ağzına sahiptir (Şekil 8 ve Fotoğraf 2).



Şekil 7-Koy morfometrik indislerinin normalize edilmiş değerler grafiği A) Ip, B)  -EMP, C) Si, D) Rc, E) Bfi, F) B e
Figure 7-Graph of normalized values of Koy morphometric indices: A) Ip, B)  -EMP, C) Si, D) Rc, E) Bfi, F) B e



Şekil 8-A) Fellowes vd. (2019)'nin yaptığı koy burun sınıflandırmasına
B)  alışma sahasındaki koyların burun tipi sınıflandırması
Figure 8-A) The bay headland classification by Fellowes et al. (2019),
B) Classification of bay headland types in the study area

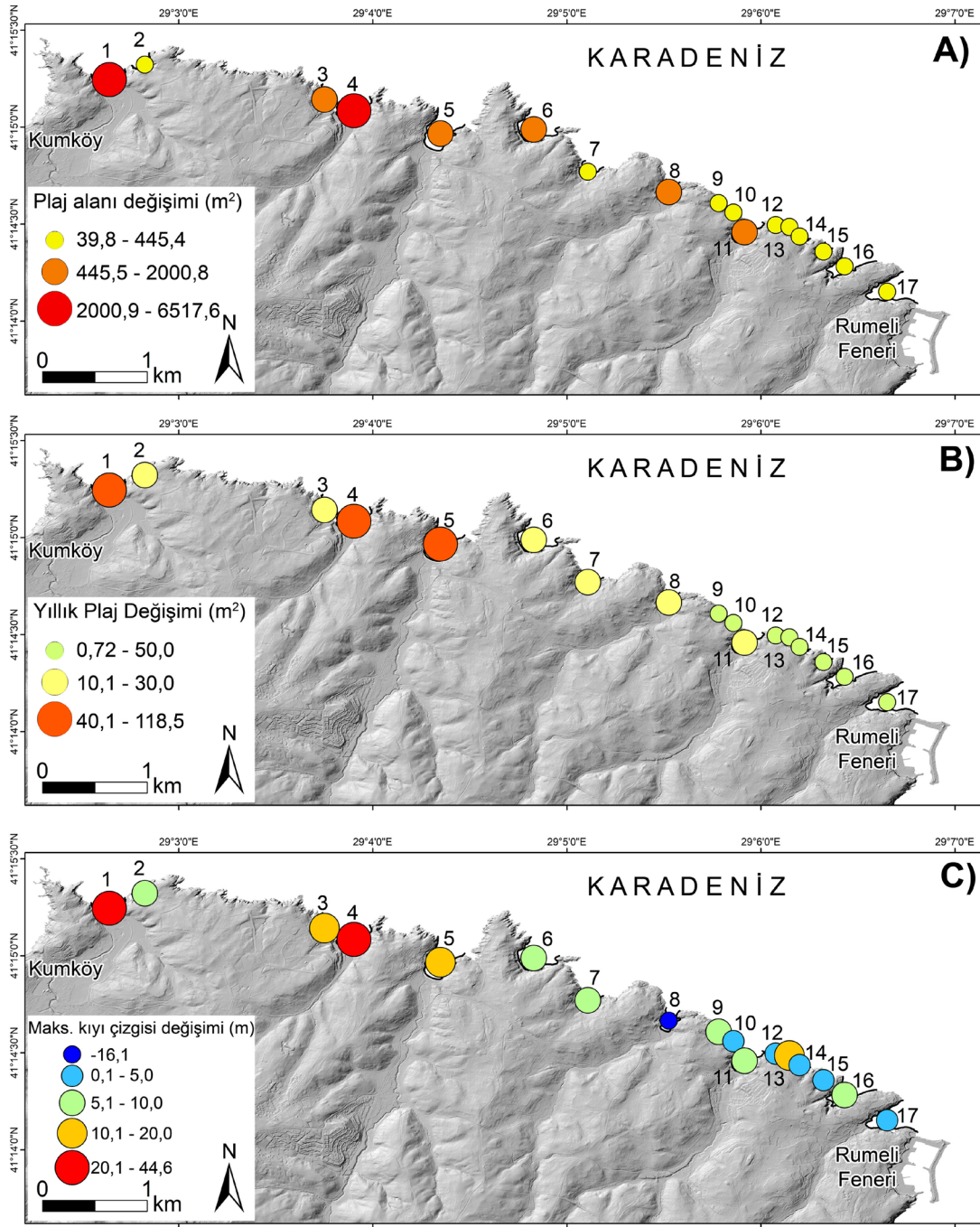


Fotoğraf 2-Çalışma sahasının doğusundaki koylar A) 17, B) 16, C) 11, D) 13 ve 14 no'lu koylar
E) 14 no'lu koy ve plaj durumu

*Photograph 2- Bays to the east of the study area: A) Bays No. 17, B) Bay No. 16, C) Bay No. 11,
D) Bay No. 13 and 14, E) Bay No. 14 and its beach situation.*

3.2. Çalışma sahasındaki plajların zamansal ve mekânsal değişimi

Araştırmada incelenen koylardaki plaj değişimi 1970 ve 2025 yılları arasında 55 yıllık dönem temel alınarak incelenmiştir. Bu zaman dilimi içerisinde tüm koylardaki plajlarda toplam 18720 m²'lik alan değişmiştir. 17 koydaki plaj ortalama alansal değişim miktarı ise 1101,1 m² olarak hesaplanmıştır. Sadece 8 no'lu koyda alansal olarak kıyı gerilemesi yaşanırken, diğer tüm koylarda plaj alanının genişlediği ve kıyı ilerlemesinin olduğu saptanmıştır (Şekil 10 ve 11).

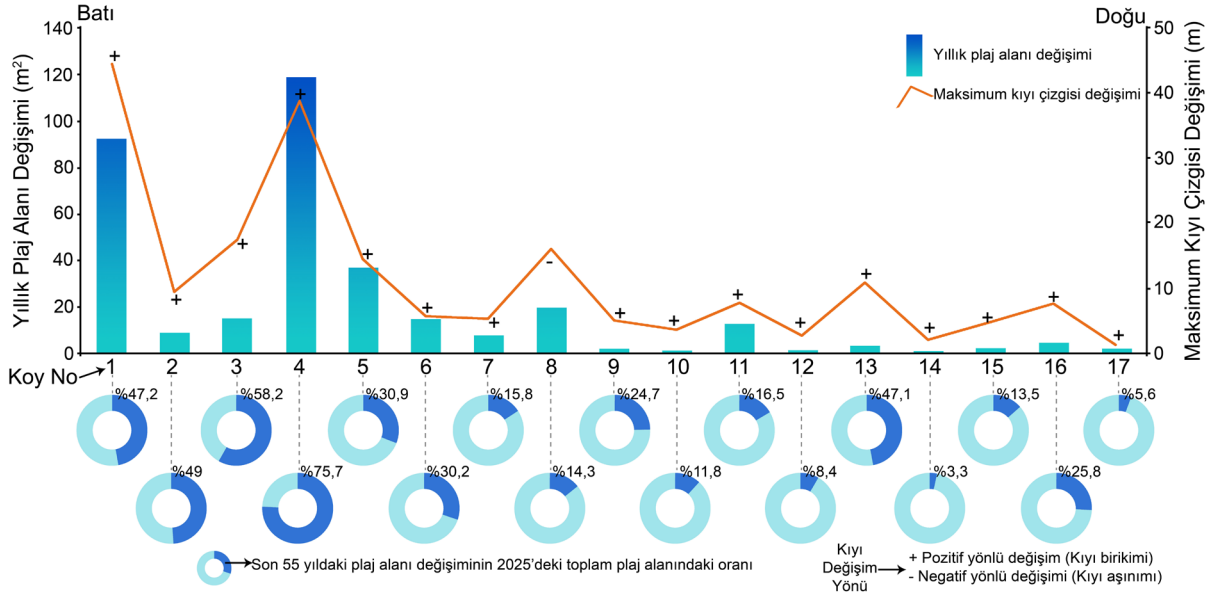


Şekil 10- Çalışma sahasındaki plajların 1970-2025 yılları arasındaki A) Plaj alanı değişimi, B) Yıllık plaj alanı değişimi C) Maksimum kıyı çizgisi değişimi verilerine göre sınıflandırılması

Figure 10- Classification of beaches in the study area based on data for A) Beach area change, B) Annual beach area change, and C) Maximum coastline change between 1970 and 2025

Plaj alanında en fazla değişimin yaşandığı koylar sırasıyla 4, 1, 8, 3, 6 ve 11 no'lu koylardır (Şekil 10). 1970-2025 yılları arasındaki plaj alanı değişim miktarı yıllık olarak hesaplandığında, tüm koyların ortalama değişiminin 20,02 m² olduğu tespit edilmiştir. Bu veri aynı zamanda her yıl tüm koylarda toplam yaklaşık 340 m²'lik plaj alanında değişim yaşandığını göstermektedir. 4 no'lu koy (118,5 m²) ve 1 no'lu (92,1 m²) koyda meydana gelen yıllık plaj alanı değişim miktarı diğer koylardan oldukça fazladır (Şekil 10). Bir diğer dikkat çeken durum ise çalışma sahasının batısında 1-8 arasındaki koylarda yer alan plajların yıllık değişimi (ortalama 38,9 m²), doğu kesimde yer alan 9-17 arasındaki koylardaki plaj değişiminden (ortalama 3,1 m²) 10 kat daha fazladır.

Çalışma sahasındaki plaj alanı değişimleri 2025 yılındaki plaj alanı referans alınarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama göre 8 no'lu koydaki plaj hariç, mevcut olan plaj sahalarının %28'inin son 55 yılda meydana geldiği saptanmıştır. Özellikle 4 no'lu koydaki plajın %75'inin bu zaman diliminde olduğu dikkat çekmektedir. 3, 2, 1, 13, 5 ve 6 no'lu koylardaki plajların %30'dan fazlası ise 1970'ten 2025 yılına kadar oluşmuş plajlardır (Şekil 11). Çalışma sahasının batısındaki koylarda (1-8 no'lu koylar) gerçekleştirilen analize göre 2025 yılındaki plajların %40,1'i meydana gelmişken, bu oran doğudaki (9-17 no'lu koylar) plajlarda %17,4'tür.



Şekil 11- Çalışma sahası koylarındaki plajların alansal ve çizgisel değişimleri

Figure 11- Areal and linear changes in the beaches of the study area's bays

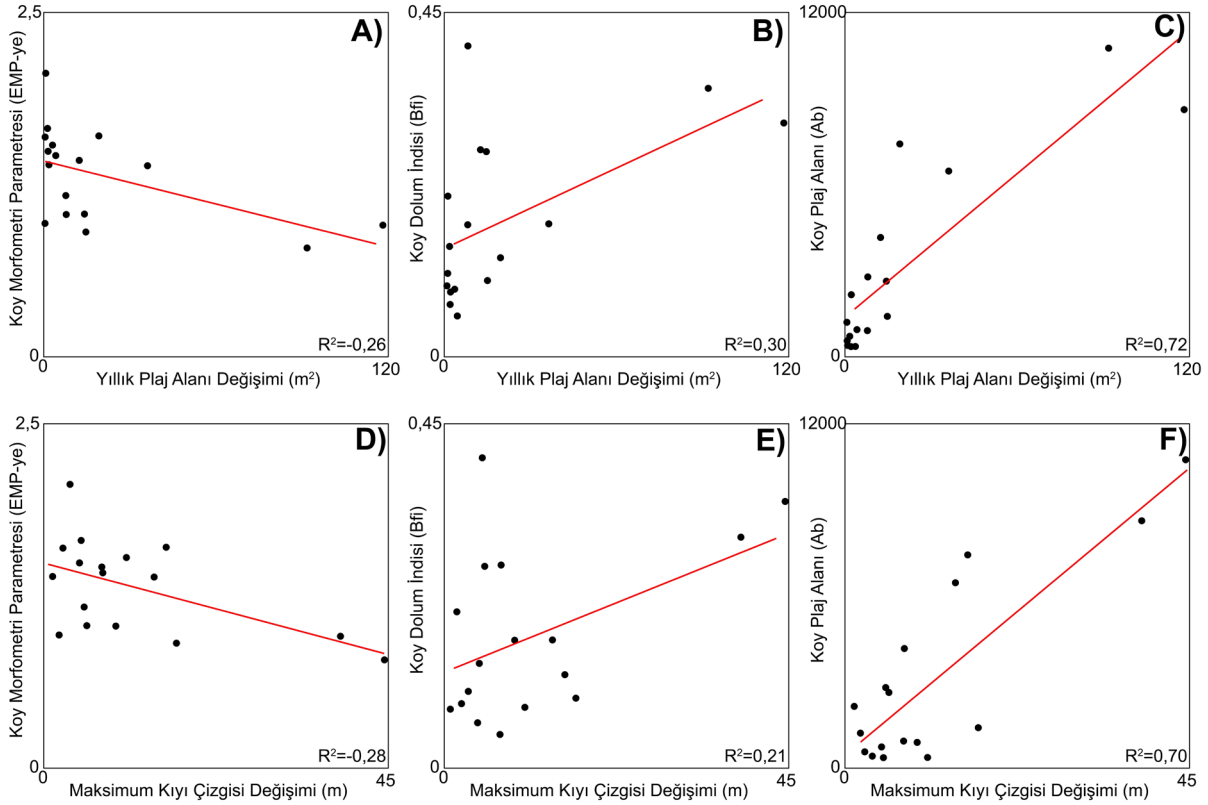
Çalışma sahasında yer alan koyların plaj değişimi çizgisel olarak da analiz edilmiştir. Bu kapsamda plajın kıyı çizgisinin maksimum değişimi ele alınmıştır. Maksimum kıyı çizgisi değişiminin tüm koylardaki plaj ortalaması 11,6 m olarak hesaplanmıştır. Kıyı çizgisi değişiminin en yüksek olduğu koylar 1 (44,6 m), 4 (38,9 m) ve 3 (17,5 m) no'lu koylardaki plajlar oluşturur. 8 no'lu koydaki plajda diğer tüm koylardaki değişimin aksine 16,1 m'lik maksimum kıyı çizgisi gerilemesi tespit edilmiştir (Şekil 11). Çalışma sahasının batısındaki koylarda (1-8 arası) maksimum kıyı çizgisi değişiminin ortalaması 19 m iken, doğudaki (9-17 arası) plajlarda ortalama değer 5,1 m olarak hesaplanmıştır.

3.3. Koy morfometrisi ve plaj değişiminin korelasyonu

Çalışmanın temel amaçlarından birini oluşturan koyların morfometrik parametresi ile plaj değişimi arasındaki ilişkinin tespit edilmesi aşaması iki şekilde ele alınmıştır. Bu kapsamda ilk olarak yıllık plaj alanı değişimi (m²) ile maksimum plaj kıyı çizgisi değişimi (m) hem temel morfometrik parametrelerle hem de morfometrik indis sonuçları ile korelasyona tabi tutulmuştur. Yıllık plaj alanı değişimi ile temel morfometrik parametrelerden girinti (a), koy kıyı çizgisi (S1), koy alanı (Ae) arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Yıllık plaj alanı değişimi ile koy ağız genişliği (Ro) arasında 0,14 değerinde, plaj girintisi (Bw) ile 0,31, plaj kıyı çizgisi (S2) ile 0,32 ve plaj alanı (Ab) ile 0,72 değerinde pozitif yönlü anlamlı korelasyonlar tespit edilmiştir (Şekil 12). Temel morfometrik parametreler ile maksimum kıyı çizgisi değişimi arasındaki ilişki incelendiğinde, a, S1, Ae ve Bw arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı; en yüksek korelasyonun ise plaj alanı (Ab) ile 0,7 değerinde pozitif yönlü olduğu saptanmıştır.

Yıllık plaj alanı değişimi ile koy morfometrik indisleri arasındaki ilişki incelendiğinde; Sinüzite oranı (Sİ) ile anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Yıllık plaj alanı değişimi ile Planform indisi (Ip) arasında -0,10, plaj morfometrik parametresi arasında -0,17, dairesellik indisi (Rc) arasında 0,20, koy morfometrik parametresi (EMP) arasında -0,26 ve koy dolun indisi ile arasında 0,30 değerinde korelasyon tespit edilmiştir. Yıllık kıyı çizgisi

değişimi ile en yüksek ilişki düzeyi koy morfometrik parametresi (-0,28) ve koy dolum indisi (0,22) arasında saptanmıştır (Şekil 12).



Şekil 12- Koyların yıllık plaj alanı değişimi ile A) koy morfometrik parametresi, B) koy dolum indisi, C) koy plaj alanı arasındaki korelasyonu ve maksimum plaj kıyı çizgisi değişimi ile A) koy morfometrik parametresi, B) koy dolum indisi, C) koy plaj alanı arasındaki korelasyonu

Figure 12- Correlation between annual changes in bay beach area and A) bay morphometric parameters, B) bay sedimentation index, and C) bay beach area; and correlation between changes in the maximum beach coastline and A) bay morphometric parameters, B) bay sedimentation index, and C) bay beach area

4. TARTIŐMA VE SONUÇ

Dünyada farklı lokasyonlar özeline koyların morfometrik parametreleri ile plajların jeomorfolojik gelişimi arasındaki ilişki incelenmiştir (Fellowes vd., 2019; Usai vd., 2025; Fiorini vd., 2026). Belirtilen çalışmalarda özellikle koy genişliği, girinti ve koyun bazı indis değerlerinin plaj oluşumu, gelişimi ve morfolojik değişimi üzerinde rol oynadığı açıklanmaktadır. Bu çalışmada elde edilen bulgular, koy morfometrisinin kıyı morfodinamiği üzerindeki belirleyici rolünü açık biçimde ortaya koymaktadır. Koyların planform  zellikleri (Ip), girinti ve koy alanı özeline morfometrik parametresi (ye) ve sinüzite oranı (Si) gibi değişkenler, literatürde de vurgulandığı üzere (Hsu vd., 1989a; Bowman vd., 2009), dalga enerjisinin koy içindeki dağılımını ve buna bağlı tortu taşınım süreçlerini doğrudan kontrol etmektedir. Ayrıca Bowman vd., (2014), Marco-Pereto vd. (2024)  alışmalarında planform indis değerlerinin 1'den fazla olmasının yüksek girinti morfolojisine sahip olduğunu belirtmektedir. Bu sınıflandırmaya göre çalışma sahasının doğu kesiminde daha yüksek girintili koylar bulunmaktadır. Özellikle doğu kesimde yer alan koyların ağız genişliğine göre daha yüksek girinti oranına ve sinüzite değerlerine sahip olması, bu alanlarda dalga enerjisinin daha fazla sönümlendiğini ve morfodinamik süreçlerin daha kapalı sistemler içerisinde gerçekleştiğini göstermektedir (Şekil 13). Buna karşılık daha düşük girinti değerine sahip koylarda kıyı çizgisi boyunca daha aktif bir yeniden düzenlenme süreci söz konusudur.

Koy morfometrisi ile plaj gelişimi arasındaki ilişki, özellikle koy dolum indisi (Bfi) ve plaj morfometrik parametresi (B e)  zerinden değerlendirildiğinde daha belirgin hale gelmektedir. Çalışma sahasında Bfi değerlerinin genel olarak düşük olması, koyların önemli bir kısmında plaj oluşumunun sınırlı olduğunu ortaya

koymaktadır. Bu durum, koy ağız açıklığı, burun yönelimi ve dalga gölge alanı gibi morfometrik unsurların tortu birikimini kısıtladığını desteklemektedir. Nitekim Short & Masselink (1999) ve Fellowes vd. (2019) tarafından ortaya konulan çalışmalar da koy morfometrisinin plaj genişliği ve alanı üzerinde doğrudan etkili olduğunu vurgulamaktadır. Bu çalışmada da daha dairesel (yüksek Rc) ve kısmen kapalı koylarda plaj gelişiminin daha belirgin olması, morfometrik kontrolün plaj oluşumuna olan etkisini doğrulamaktadır.



Şekil 13-Çalışma sahasındaki koyların uydu görüntüleri
Figure 13- Satellite images of the bays in the study area.

Zamansal plaj değişimi ile koy morfometrisi arasındaki ilişki incelendiğinde ise, özellikle plaj alanı (Ab) ile yıllık değişim arasındaki yüksek korelasyon ($r=0,72$) dikkat çekmektedir. Bu durum, plajın mevcut büyüklüğünün, gelecekteki morfodinamik tepkilerin önemli bir göstergesi olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak koyun genel morfometrik parametreleri (a, Ae, S1) ile plaj değişimi arasında anlamlı bir ilişki bulunmaması, plaj değişiminin yalnızca koy geometrisiyle değil, aynı zamanda flüvyal beslenme, hidrodinamik süreçler ve tortu bütçesi gibi dışsal faktörlerle de kontrol edildiğini göstermektedir. Bu bulgu, Marco-Peretó vd. (2024)'ün morfometri ile dış kuvvetler arasındaki etkileşimin plaj evriminde birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulayan yaklaşımıyla uyumludur. Bu durum çalışma sahasının doğu ve batısındaki koyların plaj yapısı ve değişimi ile saptanmıştır.

Çalışmada dikkat çeken bir diğer önemli sonuç, batı kesimdeki koylarda plaj değişim hızının doğu kesime göre yaklaşık 10 kat daha fazla olmasıdır. Bu farklılık, koy morfometrisinin plaj değişimi üzerindeki mekânsal etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Batıdaki koyların daha açık ağızlı ve düşük girintili olması, dalga enerjisinin daha etkin bir şekilde kıyıya ulaşmasına ve kıyı çizgisi rotasyonu gibi süreçlerin daha belirgin olmasına neden olmaktadır. Belirtilen durum, Harley vd. (2014) ve George vd. (2015)'in çalışmalarında vurgulanan plaj rotasyonu ve dalga yönü değişimlerinin koy morfometrisi ile ilişkili olduğu görüşünü desteklemektedir. Dolayısıyla koy geometrisi, sadece mevcut plaj formunu değil, aynı zamanda zamansal değişim dinamiklerini de belirleyen temel bir kontrol mekanizmasıdır. Ayrıca plaj değişiminin daha büyük ve çizgisel olarak daha maksimum boyutlarda olduğu batı kesimdeki (1-8 arası koylar) koyların özellikle belirgin bir akarsu vadisi ağız kısmında olması dikkat

çeken diğer durumdur. Bu değişimi etkileyen dış faktör özellikle Karadeniz kıyılarında seviye değişimleri sonucu akarsu vadilerinin deniz suyu basması, zamanla flüvyal tabanlı beslenmenin dalga ile işlenmesi ve plajın alanını genişletmesi ile açıklanabilmektedir. Bu noktada en önemli etken flüvyal açıdan bazı koyların beslenme durumudur. Dolayısıyla çalışma sahasının batısındaki koyların daha yüksek malzeme ile beslenmesi ve hemen batısındaki kumlu plajların enkaz göçü (Uzun, 2025) ve taşınımla buradaki koylara taşınması, koyun granülometrik yapısının değişmesine sebep olmuştur. Özellikle koylu plajlarda kıyıya taşınan malzeme bütçesi ile koyun morfometrik yapısı plajlarda meydana gelen değişimin boyutunu etkilemiştir. Ayrıca deniz seviyesi değişimleri çalışma sahasının Ria tipi kıyı özelliğinde olmasına yol açmış hem de mevcut plaj bütçelerinin meydana gelmesini etkilemiştir. Belirtilen durumlar çalışma sahasında özellikle 1, 4, 5, 8, 11 ve 17 no'lu koylarda olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak çalışmada yapılan analizler 8 no'lu koydaki değişimin antropojenik etkenlerle olduğu ve bu koyda kıyı ilerlemesi yerine kıyı gerilemesinin gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Son durum yapay kıyıların ya da antropojenik etkenlerin kıyının morfodinamik yapısını nasıl etkilediğini de göstermektedir (Turoğlu, 2019, Uzun, 2023, Uzun, 2025).

Bu çalışmada kıyı jeomorfolojisinin unsurları olan koyların temel morfometrik parametreleri ve morfometrik indislerle kantitatif özellikleri incelenmiştir. Ayrıca bu çalışma koy morfometrisi ile plaj değişimi arasında çok boyutlu ve karşılıklı bir etkileşim olduğunu ortaya koymaktadır. Koyların morfometrik özellikleri, plajların hem oluşumunu hem de zamansal evrimini belirleyen temel faktörlerden biri olup, bu ilişkinin anlaşılması kıyı yönetimi açısından kritik öneme sahiptir. Literatürdeki koy morfometrisi çalışmalarının (Hsu vd., 1989a; Erol, 1997; Bowman vd., 2009; Turoğlu, 2017; Fellowes vd., 2019; Usai vd., 2025) ortaya koyduğu teorik çerçeve ile bu çalışmanın bulguları büyük ölçüde örtüşmekte ve koy-plaj sistemlerinin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini göstermektedir. Bu bağlamda, gelecekte yapılacak çalışmalarda morfometrik parametrelerin hidrodinamik modellemelerle birlikte değerlendirilmesi, plaj değişimlerinin daha doğru öngörülmesine katkı sağlayacaktır.

5. SINIRLILIKLAR VE GELİŞTİRİLEBİLİRLİK

Bu çalışma İstanbul'un kuzeyinde Karadeniz kıyısında yer alan lokal bir kıyı sahasındaki koyların morfometrik özelliklerini ve zamansal plaj değişimi arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Araştırma koy morfometrisi açısından Türkiye kıyıları özelinde yapılmış özgün bir çalışma olması, bulgular ve sonucunda belli bir ilişkiyi ortaya koymasına rağmen belli sınırlılıkları barındırmaktadır. Bu bakımdan özellikle Bowman vd., 2009, Fellowes vd., 2019, Usai vd., 2025 çalışmalarında koy gölge bölgesinin (shadow zone) koy morfometrisi, dalga etkisi ve plaj gelişimi açısından oldukça önemli olduğunu belirtmektedir. Ancak araştırma sahası kapsamında her koy için en 10 yıllık dalga yönelimi açısından verinin olduğu bir kayıt mevcut değildir. Ayrıca çalışma kapsamında seygar şamandıra kurulum imkânı bulunamamıştır. Bu bakımdan çalışmada koyların morfometrik parametreleri açısından gölge zonu üzerinden analizler yapılamamıştır. Karadeniz kıyıları ve özellikle çalışma sahasında akıntı yöneliminin yıllık ortalama açısından kuzeybatıdan daha yüksek frekansa sahip olduğu ve bu durumun özellikle batı kesimdeki koyların enkaz göçü dağılımında etkili olduğu düşünülmektedir. Ancak çalışmanın geliştirilebilirliği açısından her koy özelinde yıllık ortalama hatta mevsimsel dalga yöneliminin saptanması koyların morfometrik ve hidrodinamik gelişimlerinin açıklanmasında önceli rol oynayacaktır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan koy morfometrisi analizlerinin ülkemizin farklı kıyılarına uygulanması ve karşılaştırılması önemli gelişimsel özellik olacağı düşünülmektedir. Kıyıların gelişimi, yönetimi ve sürdürülebilirliği kapsamında koy ve plajların jeomorfolojik ve hidrolojik dinamik süreçlerinin kantitatif olarak ele alınması ve CBS-UA entegrasyonunun sağlanması bu çalışmanın ortaya koyduğu geliştirilebilir özelliklerdendir.

Çıkar Çatışması / Conflict of Interest	Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir. <i>The authors declared no conflict of interest</i>
Finansal Destek / Funding conditions	Yazar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir. <i>The author declared that no financial support was received for this study.</i>
Yazar Katkıları / Author Contributions	Yazarlar / Authors
Çalışmanın içeriği ve tasarımı/Conception/Design of Study	S. M. Uzun
Metodoloji / Methodology	S. M. Uzun
Veri toplama-oluşturma-iyileştirme / Data Curation	S. M. Uzun
Analiz/Analysis and interpretation of data	S. M. Uzun
Görselleştirme / Visualization	S. M. Uzun
Yazı taslağı / Writing - Original Draft	S. M. Uzun – F. Ocak
Yazma - İnceleme ve Düzenleme / Writing - Review & Editing	S. M. Uzun – F. Ocak
Proje yönetimi / Project administration	S. M. Uzun – F. Ocak

**Yapay Zekâ Kullanım Beyanı /
Declaration of Artificial Intelligence Use**

Yazar, bu çalışmanın hazırlanması, yazımı, analizi, veri işleme süreci, tablo/şekil üretimi ve kaynakların değerlendirilmesi dâhil olmak üzere hiçbir aşamada üretken yapay zekâ veya yapay zekâ destekli araçlardan yararlanılmadığını beyan etmiştir.

Çalışmanın tüm bilimsel içeriği, analizleri, yorumları ve sonuçları tamamen yazar tarafından oluşturulmuştur.

The author declared that no generative artificial intelligence or AI-assisted tools were used at any stage of the preparation, writing, analysis, data processing, table/figure production, or source evaluation of this study.

The entire scientific content, analyses, interpretations, and conclusions of the study were produced solely by the author.

REFERANSLAR

- Babar, M. (2005). *Hydrogeomorphology fundamentals, applications and techniques*. New Delhi: New India Publishing Agency.
- Bird, E. (2008). *Coastal geomorphology: An introduction second edition*. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.
- Bishop, P., & Cowell, P.J. (1997). Lithological and drainage network determinants of the character of drowned, embayed coastlines. *Journal. Geology*, 105, 685–700. <https://doi.org/10.1086/515974>
- Bowman, D., Guill'en, J., L'opez, L., & Pellegrino, V. (2009). Planview geometry and morphological characteristics of pocket beaches on the Catalan coast (Spain). *Geomorphology*, 108, 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.01.005>.
- Bowman, D., Rosas, V., & Pranzini, E. (2014). Pocket beaches of Elba Island (Italy) - Planview geometry, depth of closure and sediment dispersal. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 138, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.12.005>.
- Bowman, D., Klein, A. H. F., & Pranzini, E. (2019). Embayed beaches: Classification, processes and management implications. *Coastal Engineering*, 150, 1–15.
- Bryan, K. R., Foster, R., & MacDonald, I. (2013). Beach rotation at two adjacent headland-Enclosed beaches. *Journal of Coastal Research*, 165, 2095-2100. <https://doi.org/10.2112/SI65-354.1>
- Calkoen, F. R., Luijendijk, A. P., Hanson, S., Nicholls, R. J., Moreno-Rodenas, A., De Heer, H., & Baart, F. (2025). Mapping the world's coast: A global 100-m coastal typology derived from satellite data using deep learning. *Earth System Science Data Discussions*, 2025, 1-37. <https://doi.org/10.5194/essd-2025-388>
- Cao, C., Cai, F., Qi, H., Zheng, Y., & Lu, H. (2021). Characteristics of Underwater Topography, Geomorphology and Sediment Source in Qinzhou Bay. *Water*, 13(10), 1392. <https://doi.org/10.3390/w13101392>
- Castelle, B., & Coco, G. (2012). The morphodynamics of rip channels on embayed beaches. *Cont. Shelf Res.* 43, 10–23. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.04.010>.
- Castelle, B., Scott, T., Brander, R. W., & McCarroll, R. J. (2016). Rip current types, circulation and hazard. *Earth-Science Reviews*, 163, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.09.008>
- Castelle, B., Robinet, A., Idier, D., & D'Anna, M. (2020). Modelling of embayed beach equilibrium planform and rotation signal. *Geomorphology*, 369, 107367. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107367>.
- Daly, C.J., Bryan, K.R., & Winter, C. (2014). Wave energy distribution and morphological development in and around the shadow zone of an embayed beach. *Coast. Eng.* 93, 40–54. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2014.08.003>.
- De Muro, S., Ibba, A., & Kalb, C., (2016). Morpho-sedimentology of a Mediterranean microtidal embayed wave dominated beach system and related inner shelf with *Posidonia oceanica* meadows: the SE Sardinian coast. *J. Maps*, 12 (3), 558–572. <https://doi.org/10.1080/17445647.2015.1051599>.
- Davidson-Arnott, R. (2010). *Introduction to coastal processes and geomorphology*. Cambridge University Press. New York.
- Erginal, A. E., Kiyak, N. G., Selim, H. H., Bozcu, M., Öztürk, M. Z., Ekinci, Y. L., ... & Karabıyıkoglu, M. (2017). Eolianite and coquinite as evidence of MIS 6 and 5, NW Black Sea coast, Turkey. *Aeolian Research*, 25, 1-9.
- Erinç, S., (1986). Kıyılardan Yararlanmada Hukuki Düzenlemelere Jeomorfolojinin Katkısı, *Jeomorfolojisi Dergisi*, 14:1-5.
- Erol, O., (1989). Türkiye'de Kıyıların Doğal Niteliği, Kıyı ve Kıyı Varlıklarının Korunmasına İlişkin Kıyı Kanunu ve Uygulamaları Konusunda Jeomorfolojik Yaklaşım, İstanbul Üniv. Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Bülten, 6: 15-46.
- Erol, O., (1997). Türkiye'deki Kıyı Kullanımı Sorunlarına Jeomorfolojik Yaklaşım, Ankara Üniv. Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Türkiye Coğrafya Dergisi, 6: 93-122.
- Ertek T. A. (2010). İstanbul'un Jeomorfolojisi. TMMOB Jeoloji Mühendisleri İstanbul'un Jeolojisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı (Editörler: Örgün, Y., Şahin, S. Y.), (21-48) İstanbul.
- Evagorou, E., Hasiotis, T., Petsimeris, I. T., Monioudi, I. N., Andreadis, O. P., Chatzipavlis, A., Christofi, D., Kountouri, J., Stylianou, N., Mettas, C., Velegrakis, A., & Hadjimitsis, D. (2025). A Holistic High-Resolution Remote Sensing Approach for Mapping Coastal Geomorphology and Marine Habitats. *Remote Sensing*, 17(8), 1437. <https://doi.org/10.3390/rs17081437>

- Fellowes, T.E., Vila-Concejo, A., & Gallop, S.L. (2019). Morphometric classification of swell- dominated embayed beaches. *Mar. Geol.* 411, 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2019.02.004>
- Finkelstein, K., (1982). Morphological variations and sediment transport in crenulate-bay beaches, Kodiak Island, Alaska. *Mar. Geol.* 47, 261–281
- Finkl, C. W., & Makowski C. (2021). Alongshore Classification and Morphometric Analysis of Coastal Belts: The State of Oregon, USA. *Journal of Coastal Research.* 37(2): 238–271. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-21A-00001.1>
- Fiorini L.P., Mascagni M.L., & Klein A.H.F. (2026) Four decades of embayed coastline evolution assessed through the integration of remote sensing (CASSIE) and hybrid wave modeling (BinWaves) tools. *Front. Mar. Sci.* 13:1768972. doi: 10.3389/fmars.2026.1768972
- Gallop, S. L., Ranasinghe, R., & Nicholls, R. (2020). Headland-bay beach morphodynamics: Recent advances and future directions. *Earth-Science Reviews*, 210, 1–21.
- Gao, A., Ai, T., Yu, H., Xiao, T., Chen, Y., Li, J., & Huang, H. (2024). A vector-based coastline shape classification approach using sequential deep learning model. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 129, 103810. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103810>
- Gedik, İ., Duru, M., Pehlivan, Ş., & Timur, E. (2005). Türkiye Jeoloji Haritaları İstanbul F22c Paftası. No: 11-13, MTA Jeoloji Etüdüleri Dairesi
- George, D. A., Coco, G., & Black, K. P. (2015). Headland bypassing and shoreline rotation: Controls and interactions. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(1), 1–16.
- Guerrero, A. M., Otero, L., Ospino, S., & Cueto, J. (2024). Interactions between hydrodynamic forcing, suspended sediment transport, and morphology in a microtidal intermediate-dissipative beach. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(7), 1141. <https://doi.org/10.3390/jmse12071141>
- Håkanson L., & Eklund J. M. A. (2007). Dynamic mass balance model for phosphorus fluxes and concentrations in coastal areas. *Ecol Res.* 22(2): 296-20.
- Håkanson L, Kvarnäs H., & Karlsson B. (1986). Coastal morphometry as regulator of water exchange—a Swedish example. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 23: 873-87. <https://doi.org/10.1016/0272-7714%2886%2990078-8>
- Harley, M. D., Turner, I. L., Short, A. D., & Ranasinghe, R. (2014). Beach rotation and climate variability at embayed beaches. *Marine Geology*, 349, 1–15.
- Holman, R. A., Symonds, G., Thornton, E. B., & Ranasinghe, R. (2006). Rip spacing and persistence on an embayed beach. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111(C1). <https://doi.org/10.1029/2005JC002965>
- Horta, J., Oliveira, S., Moura, D., & Ferreira, Ó. (2018). Nearshore hydrodynamics at pocket beaches with contrasting wave exposure in southern Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 204, 40-55. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.02.018>
- Hsu, J. R. C., & Evans, C. (1989). Parabolic bay shapes and applications. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 87(4), 557-570. <https://doi.org/10.1680/iicep.1989.3778>
- Hsu, J.R.C., Silvester, R., Xia, Y.M. (1989a). Static Equilibrium Bays: New Relationships. *J. Waterway. Port Coast. Ocean Eng.* 115 (3), 285–298. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1989\)115:3\(285\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1989)115:3(285))
- Hsu, J.R.C., Silvester, R., & Xia, Y.M. (1989b). Generalities on Static Equilibrium Bays. *Coast. Eng.* 12, 353–369. [https://doi.org/10.1016/0378-3839\(89\)90012-4](https://doi.org/10.1016/0378-3839(89)90012-4).
- Hsu, J. R.-C., Yu, M.-J., Lee, F.-C., & Benedet, L. (2010). Static bay beach concept for scientists and engineers: A review. *Coastal Engineering*, 57(2), 76-91. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.09.004>
- Iglesias, G., López, I., Castro, A., & Carballo, R. (2009). Neural network modelling of planform geometry of headland-bay beaches. *Geomorphology*, 103, 577–587. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.08.002>
- Jackson, D. W. T., & Cooper, J. A. G. (2009). Morphological variability of headland-bay beaches, Ireland. *Journal of Coastal Research*, 25(1), 80–91.
- King, E. V., Conley, D. C., Masselink, G., Leonardi, N., McCarroll, R. J., Scott, T., & Valiente, N. G. (2021). Wave, tide and topographical controls on headland sand bypassing. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(8). <https://doi.org/10.1029/2020JC017053>

- Klein, A.H.F., & Menezes, J.T., (2001). Beach Morphodynamics and profile sequence for a headland bay coast. *J. Coast. Res.* 17(4), 812–835. <https://www.jstor.org/stable/4300242>
- Klein, A. H. F., Vieira da Silva, G., Taborda, R., da Silva, A. P., & Short, A. D. (2020). *Headland bypassing and overpassing: form, processes and applications*. In *Sandy Beach Morphodynamics* (ss. 557-591). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102927-5.00023-0>
- Lindgren, D., & Hakanson, L. (2011). Morphometric classification and GIS-Based data analysis in coastal modeling and management. *Open Environmental Sciences*, 5, 1-17.
- Loureiro, C., Ferreira, Ó., & Cooper, J. A. G. (2012a). Extreme erosion on high-energy embayed beaches: Influence of megarips and storm grouping. *Geomorphology*, 139-140, 155-171. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.10.013>
- Loureiro, C., Ferreira, Ó., & Cooper, J. A. G. (2012b). Geologically constrained morphological variability and boundary effects on embayed beaches. *Marine Geology*, 329-331, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2012.09.010>
- Loureiro, C., Ferreira, Ó., & Cooper, J. A. G. (2013). Applicability of parametric beach morphodynamic state classification on embayed beaches. *Marine Geology*, 346, 153-164. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.09.005>
- Marco-Peretó, C., Durán, R., Toomey, T., & Guillén, J. (2024). Controls on the morphological evolution of embayed beaches: Morphometry versus external forcing. *Earth Surface Processes and Landforms*, 49(4), 1289-1302. <https://doi.org/10.1002/esp.5766>
- Masselink, G., Castle, B., Scott, T., Dodet, G., Suanez, S., Jackson, D., & Floc'h, F. (2016). Extreme wave activity during 2013/2014 winter and morphological impacts along the Atlantic coast of Europe. *Geophysical Research Letters*, 43(5), 2135-2143. <https://doi.org/10.1002/2015GL067492>
- McCarroll, R. J., Brander, R. W., Turner, I. L., & Leeuwen, B. van. (2016). Shoreface storm morphodynamics and megarip evolution at an embayed beach: Bondi Beach, NSW, Australia. *Continental Shelf Research*, 116, 74-88. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2016.01.013>
- Migoń, P., & Szczepanik, M. (2005). Rock-cut amphitheatres of the north-eastern escarpment of the Stołowe Mountains. *Szczeliniec*, 9, 5–18.
- Miller, V. C (1953). *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee, Technical Report no 3*, Department of Geology, Columbia University, New York, USA.
- Ojeda, E. & Guillén, J. (2008). Shoreline dynamics and beach rotation of artificial embayed beaches. *Mar. Geol.* 253, 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.03.010>.
- Öztürk, M. Z., Yılmaz, B., & Soykan, A. (2025). A comprehensive analysis of Türkiye's beaches: spatial distribution, morphometry, and human impacts. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 34 (7): 854-874. <https://doi.org/10.55730/1300-0985.1998>
- Prodger, S., Russell, P., & Davidson, M. (2017). Grain-size distributions on high-energy sandy beaches and their relation to wave dissipation. *Sedimentology*, 64(5), 1289-1302. <https://doi.org/10.1111/sed.12353>
- Rodríguez-Padilla, I., Mariño-Tapia, I., & Ruiz de Alegría-Arzaburu, A. (2024). Daily timescale analysis of sediment transport and topographic changes on a mesotidal sandy beach under low to moderate wave conditions. *Marine Geology*, 474, 107323. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2024.107323>
- Seth, S. M., Ramasastri K. S., & Rao, V. N. (1998). *Representative basin studies: Morphometric analysis of Suddagedda Basin, Andhra Pradesh*, National Institute of Hydrology Jal Vigyan Bhawan, 1-28.
- Short, A. D. (1985). Rip-current type, spacing and persistence, Narrabeen Beach, Australia. *Marine Geology*, 65(1-2), 47-71. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(85\)90046-5](https://doi.org/10.1016/0025-3227(85)90046-5)
- Short, A.D., Masselink, G. (1999). *Embayed and structurally controlled beaches*. In: Short, A.D. (Ed.), *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. John Wiley and Sons Ltd, pp. 230–250.
- Spagnolo, M., Llopis, I.A., Pappalardo, M., & Federici, P.R. (2008). A new approach for the study of the coast indentation index. *Journal of Coastal Research*, 24, 1459–1468. Available from: <https://doi.org/10.2112/07-0880.1>
- Storlazzi, C.D., & Field, M.E. (2000). Sediment distribution and transport along a rocky embayed coast: Monterey Peninsula and Carmel Bay, California. *Mar. Geol.* 170, 289–316.
- Swirad, Z. M., & Rees, G. W. (2015). Geomorphometric analysis of a rocky coastline: an example from Hornsund, Svalbard. *International Journal of Geographical Information Science*, 29:9, 1694-1717, DOI: 10.1080/13658816.2015.1061131

- Turoğlu, H., (2009). 3621 Sayılı Kıyı Kanununun ve Onun Uygulama Problemleri, *Türk Coğrafya Dergisi*, 53: 31-40.
- Turoğlu, (2017). Deniz ve Gollerde 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. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2019-0015>
- Usai, A., Simeone, S., Trogu, D., Porta, M., & De Muro, S. (2025). A morphometric analysis of embayed beaches: Southern Sardinia Island. *Geomorphology*, 483, 109838. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2025.109838>
- Uzun, S.M. (2023) Riva (İstanbul) Kıyılarında Doğal ve Antropojenik Etkenlerle Değişen Kıyı Çizgisinin DSAS Aracı ile Analizi *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 2023 (11): 95-113. <https://doi.org/10.46453/jader.1335105>
- Uzun, S.M. (2025) Karaburun–Kumköy (İstanbul) Arası Kıyı Şeridinde Meydana Gelen Değişimlerin Dsas Aracı ile Antropo-Jeomorfolojik Analizi *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 2025 (14): 48-73. <https://doi.org/10.46453/jader.1621372>
- Yasso, W. E. (1965). Plan geometry of headland-bay beaches. *Journal of Geology*, 73(5), 702–714