



## Vulnerability assessment of Southwestern Black Sea

Tahsin Görmüş<sup>1</sup>, Berna Ayat<sup>2</sup>

Department of Civil Engineering, Yıldız Technical University, Istanbul, 34220, Turkey

### Highlights:

- Coastal vulnerability analysis and mapping of South-western Black Sea
- A study which carried out along a densely populated coastal zone around Istanbul in Turkey
- Exclusively obtained parameters: beach characteristics and shoreline change along the coast

### Keywords:

- Coastal vulnerability index (CVI)
- Black Sea
- Climate change
- Geographic information systems
- Shoreline change

### Article Info:

Research Article  
Received: 29.12.2018  
Accepted: 13.02.2019

### DOI:

10.17341/gazimmfd.504954

### Acknowledgement:

This research was funded by the TUBITAK under the Grant Number 116M061 (Changes in storminess and coastal erosion induced variability along the Black Sea coasts: Management and Adaptation, BS-STEMA).

### Correspondence:

Author: Tahsin Görmüş  
e-mail:  
tahsingormus@gmail.com  
phone: +90 212 383 51 74

### Graphical/Tabular Abstract

Southwestern Black Sea coast is a unique environment consisting of different types of geomorphological characteristics such as cliffs, river mouths, sandy and gravel beaches. The study area covers coastal zones of densely populated city (Istanbul), a considerably high-discharge river mouth (Sakarya River), numerous sandy beaches (e.g. Terkos, Riva, Agva, Sile), and floodplain forests (Ignea and Karasu). In this study, the characteristics of this coast defined and categorized with the properties determined as geomorphology, coastal slope, shoreline change, wave height, mean beach width, sea level rise, population density and land use. These characteristics used to compute a coastal vulnerability index.

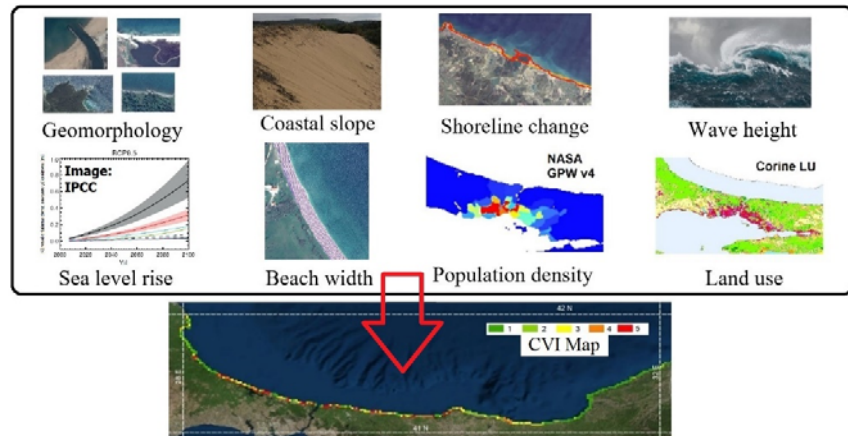


Figure A. Vulnerability assessment process of Southwestern Black Sea

**Purpose:** Variation in storminess and sea level rise induced by climate change are affecting coastal areas directly. In this study, coastal vulnerability of Southwestern Black Sea coastline is investigated.

### Theory and Methods:

Physical and social properties of the area have been revealed. Variables effecting the vulnerability determined as geomorphology, coastal slope, shoreline change, wave height, mean beach width, sea level rise, population density and land use. Data about physical and social condition of Southwestern Black Sea has been collected for the purpose of implementing an index-based vulnerability assessment. Coastal Vulnerability Index (CVI) which is widely used in previous studies is chosen to conduct analysis. Each parameter classified into 5 classes (from least vulnerable - 1 to highly vulnerable - 5). Every segment of the coast assigned to a class with regard to each parameter; afterwards an index which representing the vulnerability for each of the 362 predefined coastline sector is calculated to combine the impact of all variables.

### Results:

A vulnerability map is acquired for Southwestern Black Sea as the result of the analysis. Results revealed that highly vulnerable areas are Kiyikoy, Yalılıkoy, Karaburun, Kilyos, Riva, Sahilkoy, Sile, Agva and Kefken. The least vulnerable areas are located on the coasts extending between Ereğli and Zonguldak.

### Conclusion:

Southwestern Black Sea is a climate change sensitive location mainly because of its natural geomorphological condition. Results of this study are expected to be useful for the coastal managers and planners which are aiming at the sustainable use coastal areas inside the study area.



## Güneybatı Karadeniz kıyılarının kırılgnalık analizi

Tahsin Görmüş\*<sup>ID</sup>, Berna Ayat<sup>ID</sup>

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı, Esenler, İstanbul, 34220,Türkiye

### Ö N E Ç I K A N L A R

- Mikro Güneybatı Karadeniz kıyılarının kırılgnalık analizi ve haritalanması
- Türkiye'nin yüksek nüfus yoğunluğuna sahip İstanbul ve civarında yapılmış bir risk analizi çalışması
- Plaj karakteristiklerinin ve kıyı çizgisindeki değişimin dikkate alınması

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 29.12.2018  
Kabul: 13.02.2019

### DOI:

10.17341/gazimmfd.504954

### Anahtar Kelimeler:

Kıyısız kırılgnalık indeksi,  
Karadeniz,  
iklim değişikliği,  
coğrafi bilgi sistemleri,  
uzaktan algılama

### ÖZET

İklim değişikliğinin sebep olduğu fırtına karakteristiklerinde değişim, deniz seviyesi yükselmesi gibi süreçler kıyı alanlarını doğrudan etkilemektedir. Kıyıların bu etkilere olan kırılgnalığının belirlenmesi, bu etkiler doğrultusunda planlama yapılması açısından büyük bir önem taşımaktadır. Bu çalışmada Güneybatı Karadeniz kıyı alanlarının iklim değişikliğinin etkisi altında kırılgnalığı incelenmiştir. Bu maksatla kıyı alanındaki kırılgnalığı belirleyecek fiziksel ve sosyal özellikler incelenerek uzamsal bir kırılgnalık analizi gerçekleştirilmiştir. Kırılgnalığı belirleyen değişkenler; jeomorfoloji, kıyı eğimi, kıyı çizgisindeki zamansal değişim, dalga yüksekliği, ortalama plaj genişliği, deniz seviyesi yükselmesi, nüfus yoğunluğu ve arazi kullanımı olarak belirlenmiştir. Analiz metodu olarak kıyısız kırılgnalık indeksi (KKİ) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar çalışma alanı içerisinde Kıyıköy, Yalıköy, Karaburun, Kilyos, Riva, Sahilköy, Şile, Ağva ve Kefken kıyılarının en yüksek seviyede kırılgnalığa ve Ereğli ile Zonguldak arasında uzanan kıyı şeridinin ise en düşük seviyede kırılgnalığa sahip olduğunu göstermektedir.

## Vulnerability assesment of Southwestern Black Sea

### H I G H L I G H T S

- Coastal vulnerability analysis and mapping of South-western Black Sea
- A study which carried out in a highly populated area around İstanbul in Turkey
- Exclusively obtained parameters: beach characteristics and shoreline change along the coast

### Article Info

Research Article  
Received: 29.12.2018  
Accepted: 13.02.2019

### DOI:

10.17341/gazimmfd.504954

### Keywords:

Coastal vulnerability index,  
Black Sea,  
climate change,  
geographic information  
systems,  
remote sensing

### ABSTRACT

Climate change-driven impacts such as variation in storminess and sea level rise are affecting coastal areas directly. Determination of coastal vulnerability regarding these effects is very important for planning purposes. In this study, coastal vulnerability of South-Western Black Sea is examined. Physical and social properties of the area have been considered for this purpose. Variables effecting the vulnerability determined as: geomorphology, coastal slope, shoreline change, wave height, mean beach width, sea level rise, population density and land use. Coastal Vulnerability Index (CVI) is used to produce vulnerability map of the study area. Results revealed that highly vulnerable areas are Kıyıköy, Yalıköy, Karaburun, Kilyos, Riva, Sahilköy, Şile, Ağva and Kefken. The least vulnerable areas are located on the coasts lying between Ereğli-Zonguldak.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kıyı alanları, denizle karanın buluştuğu, nüfusun büyük bir çoğunluğunu barındıran ve ekonomik faaliyetlerin yoğun olarak yürütüldüğü alanlardır. Bu nedenle kıyı alanlarının verimli bir şekilde kullanılması ve risklerden korunması büyük bir önem teşkil etmektedir. Kıyı alanlarında mevcut riskler göz önüne alındığında, iklim değişikliğinin kıyıları etkileyen en önemli hadiselerden birisi olduğu görülmektedir. Kıyıları fırtınalar gibi ekstrem olaylara karşı son derece kırılgandırlar ve iklim değişikliğinin etkisiyle önümüzdeki on yıllarda kıyı erozyonu gibi risklerin artmasına maruz kalabileceklerdir [1]. Yapılan çalışmalar 2100 yılında küresel deniz seviyesinin çeşitli senaryolar dikkate alındığında 1986-2005 yılları arasındakine oranla 0,25-1 m daha yüksek olacağını göstermektedir [2]. Bu yükselmeden kıyı alanlarında yaşayan toplumlar doğrudan ya da dolaylı olarak etkileneceklerdir. Deniz seviyesindeki en küçük değişiklikler dahi kıyılarda erozyon, su baskını, taşkın, fırtına hasarları ve yeraltı sularının tuzlanması gibi doğrudan veya dolaylı etkilerle sonuçlanabilmektedir. Bu etkilerin altyapı, yaşam kalitesi ve sağlık üzerinde ikincil etkileri olacaktır [3]. İklim değişikliğinin gerçekleşen veya olası etkileri, farklı disiplinlerden bilim insanlarını konu hakkında çalışmaya teşvik etmektedir [4]. Bu çalışmalarla risk altında kalacak alanların ve bu alanların kırılganlık derecelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu etkilere ne kadar açık olduğuyula ilgili yürütülecek çalışmalar, uyum faaliyetleri açısından da bir başlangıç noktası teşkil edecektir. Literatürde kapsamlı kıyısız kırılganlık çalışmalarından elde edilen sonuçlar, yerel koşullara en uygun şekilde uyum faaliyetlerinin planlanmasında sıklıkla kullanılmıştır [5].

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) kırılganlığı, "bir sistemin hassas olduğu ve üstesinden gelemediği iklimsel değişkenlik ve ekstrem olayları da içeren iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin derecesi" olarak tanımlanmaktadır [6]. Kırılganlık çalışmaları literatüre 1970'li yıllarda girmiş ve 1990'lı yıllardan bu yana da veri tabanlarının, uzamsal analiz araçlarının ve hesaplama tekniklerinin gelişmesi ile dünyanın farklı kıyılarına uygulanagelmıştır [5]. Kıyı alanlarının iklim değişikliklerine karşı kırılganlıklarının belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemlerden başlıcaları Kıyısız Kırılganlık İndeksi (KKİ) ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) tabanlı yaklaşımlardır. KKİ yöntemi yaygın olarak kabul görmüş bir yöntemdir. Diğer indeks tabanlı yöntemlerde olduğu gibi, farklı kırılganlık değerlerine sahip bölümlerin, kırılganlığa sebep olan değişkenlerle birlikte tespit edilmesini sağlamaktadır. KKİ yönteminin öncül ve yaygın kabul görmüş örneklerinden birisi Gornitz vd. [7]'nin yapmış olduğu çalışmadır. Çalışmada Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nin Atlantik ve Meksika Körfezi kıyılarının kırılganlığını değerlendirmek için bu bölgelerin fiziksel koşullarını ele alan parametreler kullanılmıştır. Kullanılan değişkenler; yükselti, jeoloji, jeomorfoloji, göreceli deniz seviyesi değişimi, kıyı erozyonu, ortalama

gelgit aralığı, maksimum dalga yüksekliği, yıllık tropik fırtına olasılığı, kasırga frekans-yoğunluk indeksi, ortalama tropik siklon hızı, yıllık ortalama ekstra tropik siklon sayısı, ortalama kasırga kabarması şeklindedir. Bölümlere ayrılmış kıyı çizgisi üzerinde değişkenlerin niceliksel dağılımlarının belirlenmesi yoluyla analiz gerçekleştirilmiştir. Değişkenlere bağlı kırılganlık derecelerini içeren bir indeksin kıyı çizgisi bölümlerine uygulanması yoluyla sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada ortaya konulan yöntem, Birleşik Devletler Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) tarafından ABD kıyılarının kırılganlığını değerlendirmekte kullanılmıştır. Thieler ve Hammar Klose [8] tarafından yapılan çalışma ve kullanılan değişkenler, yaygın kabul görmüş ve dünya genelindeki birçok çalışmada kullanılmıştır. Bu değişkenler; kıyı eğimi, jeomorfoloji, kıyı çizgisi değişimi, göreceli deniz seviyesi yükselmesi, ortalama dalga yüksekliği ve ortalama gelgit aralığıdır. Yöntemin ihtiyaç duyduğu güvenilir ve bütün kıyıyı kapsayacak verilerin, ulusal ölçekteki devlet kurumları tarafından rahatlıkla sağlanabiliyor olması, USGS'in metodu bütün ABD kıyılarına uygulayabilmesine olanak vermiştir. Bu açıdan bakıldığında kıyı alanı hakkında güvenilir bilgiye erişim olması, iklim değişikliğinin sonuçlarına uyum faaliyetlerinin planlanması için hayati öneme sahiptir.

Tragaki vd. [9] Güney Yunanistan'ın kıyısız kırılganlığını belirlemek için altı ayrı fiziksel, altı ayrı sosyal değişken kullanarak fiziksel ve sosyal kırılganlığı ifade eden iki ayrı indeks değerininin kıyı çizgisi boyunca dağılımını araştırmışlardır. Sunulan haritalar, kullanılan değişkenlerin katkısını ayrı ayrı incelemeye de olanak vermektedir. Fiziksel ve sosyal değişkenlerin uzamsal dağılımında farklılıklar olduğu belirtilmiştir [9]. Bu nedenle fiziksel ve sosyal değişkenlerin birlikte kullanılmasında kırılganlığın daha geniş bir bakış açısıyla incelenmesine olanak verebilir. Kantamaneni vd. [10], Birleşik Krallık'ta yer alan 11 ayrı bölge için analiz gerçekleştirmişlerdir. Ele alınan 11 bölge arasında kıyı alanındaki süreçleri etkileyen fiziksel değişkenlerin farklı olabileceği belirtilmiştir. Dolayısıyla bölgelerin bu değişkenliğini analize yansıtabilmek için plaj gerisindeki yapılaşmaya olan mesafe ve kıyı koruması ismiyle iki değişken analize dâhil edilmiştir. Kantamaneni vd. [10]'nin bu araştırmasında olduğu gibi çalışma sahasının özelliklerine göre kullanılan değişkenler farklılık gösterebilmektedir.

KKİ yönteminin kıyı alanının iklim değişikliği karşısındaki kırılganlığını daha iyi ifade edebilmesi ve kullanılan değişkenlerin birbirlerine kıyasla önem derecelerine göre ağırlıklandırılması amacıyla Analitik Hiyerarşi yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu yöntemin kullanılmasıyla her değişken, indeks sonucuna farklı bir oranda etkide bulunmaktadır. Mani Murali vd. [11] Hindistan'da yer alan Puducherry kıyılarında Analitik Hiyerarşi yöntemiyle geliştirilmiş KKİ indeksini uygulamışlardır. Aynı yaklaşımla bir diğer çalışma Chang vd. [12] tarafından Tayvan'da gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkların belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılabilir [11], bununla birlikte en yaygın şekliyle

Chang vd. [12] örneğinde olduğu gibi bir grup uzman bir araya gelerek öznel değerlendirmelerde bulunmaktadır. Uzmanlar değişkenlerin belirlenmesi konusunda karar vermekte ve doldurdıkları bir anket yardımıyla değişken ağırlıkları belirlenmektedir. Bu durum subjektif yargılar dolayısıyla sonuçlarda belirsiz bir etki yaratmaktadır.

KKİ yöntemi dünya genelinde birçok alanda uygulanmıştır (Gornitz vd. [7], Thieler ve Hammar Klose [8], Tragaki vd. [9], Kantamaneni vd. [10], Mani Murali vd. [11], Chang vd. [12], Özyurt vd. [13]). Karadeniz kıyıları için yapılmış kırılabilirlik çalışmaları ise oldukça yeni ve sayıca kısıtlıdır. Trifonova ve Efimova [14] Varna kıyılarında fırtınaların plaj bölgesindeki etkileri üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Araştırmacılar kıyı bölgesindeki batimetrisinin deformasyonunu sayısal bir model yardımıyla incelemişlerdir. Valchev vd. [15] yine Varna kıyıları için fırtınalara bağlı taşkın durumunda bölgede etkili olan göstergeleri belirleyerek bir kıyasal kırılabilirlik analizi gerçekleştirmişlerdir. Allenbach vd. [16] deniz seviyesi yükselmesi durumunda Karadeniz kıyısında yer alan plajların ne kadarının kaybedileceğini belirleyerek, bu doğal varlıkların iklim değişikliği karşısındaki kırılabilirliğini çeşitli senaryolar altında incelemiştir. Binita vd. [17] yalnızca kıyı alanlarını değil bütün Gürcistan'ı kapsayan ve iklim değişikliğine karşı kırılabilirliği incelendiği bir çalışma yayımlamışlardır. Vlasceanu vd. [18] Romanya kıyılarının fırtına kaynaklı erozyona karşı kırılabilirliğini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar kırılabilirliğin belirlenmesinde hidrolojik ve jeomorfolojik süreçleri dikkate alarak bu süreçlerin erozyona olan etkileri incelemişlerdir. Örnek olarak verilen araştırmalardan anlaşılacağı gibi, Karadeniz'de yapılan çalışmaların farklı odak noktalarına sahip olduğu görülmektedir. Kıyının jeomorfolojik yapısı ve eğimi, dalga iklimi, erozyon karakteri gibi temel fiziksel özelliklerini inceleyen kırılabilirlik çalışmalarına halen ihtiyaç duyulmaktadır.

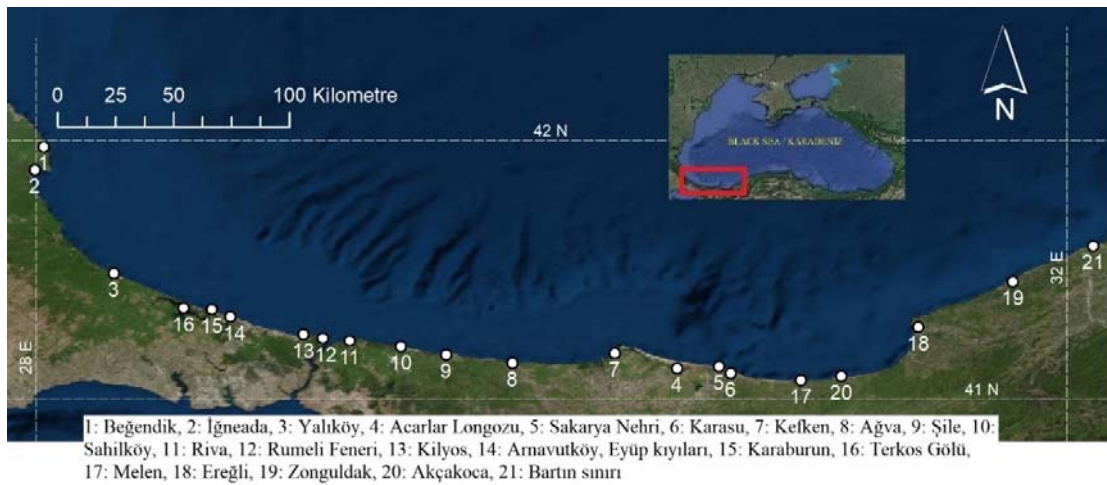
Bildiğimiz kadarıyla, Türkiye'nin Güneybatı Karadeniz kıyılarının iklim değişikliği karşısındaki kırılabilirliğini

belirlemeyi amaçlayan bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Çalışma alanındaki Karasu kıyılarında bölgede yaşayan insanların hayatlarını etkileyecek boyutlara varan erozyon görülmüştür [19]. Karasu kıyılarında gerçekleşen erozyonun kontrolsüz kum alımı ve inşa edilen barajlar ve liman sebebiyle gerçekleştiği belirtilse de, kıyıların böyle bir geçişinin olması, iklim değişikliğinin deniz seviyesi yükselmesi ve artan fırtınalar gibi etkilerine karşı hassas olacağını işaret etmektedir. Yine bölgede yer alan Terkos kıyılarında İstanbul'un içme suyu kaynaklarını da tehdit eden önemli boyutta kıyı erozyonu rapor edilmiştir [20]. Güneybatı Karadeniz kıyılarında Karadeniz'in diğer kıyılarına kıyasla daha enerjik bir dalga iklimi mevcuttur [21]. Bütün bu koşullar bu kıyıların iklim değişikliği bağlamında özellikle dikkat edilmesi gereken bir kıyı alanı olduğu konusunda belirtiler sunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Güneybatı Karadeniz'in iklim değişikliği kaynaklı etkilere karşı olan kırılabilirliğini belirlemektir. Bu amaçla literatürde yaygın olarak kullanılan KKİ yöntemi kullanılmıştır. Yöntemde kırılabilirliğin bir ölçütü olarak elde edilen indeks değeri, kıyı alanında etkin olan fiziksel ve sosyal değişkenlerin bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Bu maksatla bölgedeki jeomorfolojik özellikler sınıflandırılmış, kıyı eğimi ve dalga yüksekliği verileri ve deniz seviyesi yükselmesinin dağılımı incelenmiştir. Kıyı boyunca kıyı çizgisindeki değişim ve ortalama plaj genişliğinin değişkenleri kapsamlı bir çalışma sonucunda analize dâhil edilmiştir. Sosyal değişken olarak nüfus yoğunluğu ve arazi kullanımı indekse dâhil edilmiştir. Çalışma, bölgede yapılan ilk kırılabilirlik indeksi çalışması olma özelliğini taşımaktadır. Çalışma alanı içerisindeki kıyı şeridinin kırılabilirlik haritasının üretilmesi ile kıyı alanlarındaki karar alıcı ve planlayıcıları da kapsayan tüm paydaşlara bilimsel bir altlık sunulması amaçlanmıştır.

## 2. ÇALIŞMA ALANI (STUDY AREA)

Çalışma alanı, Şekil 1'de gösterilen Karadeniz'in Güneybatı kıyılarında yer alan, Türkiye'nin batısında Bulgaristan



Şekil 1. Çalışma alanı (Study area)

sınırdan Bartın iline kadar uzanan 517 km'lik kıyı çizgisidir. Kıyı çizgisi yedi adet ili içermektedir: Kırklareli, Tekirdağ, İstanbul, Kocaeli, Sakarya, Düzce ve Bartın. Çalışma alanı İstanbul gibi hem nüfus anlamında hem de ekonomik değeri bakımından büyük bir şehri kapsamı itibarıyla önem taşımaktadır. Ayrıca kıyı çizgisinde İğneada Longoz Ormanları, Terkos Gölü, Riva, Şile, Ağva cep plajları, Sakarya Nehri Havzası gibi ekolojik açıdan da öneme sahip çeşitli hassas doğal yapılar ve turistik bölgeler yer almaktadır. Yine Ereğli ve Zonguldak yerleşimlerinde gelişmiş sanayi tesislerinin bulunduğu ve şehir merkezi konumundaki kıyıları bulunmaktadır. Çalışma alanının batı kıyısı genellikle hassas doğal yapılar, milli parklar ve İstanbul'un en önemli tatlı su havzalarına sahip olması, doğu kıyıları ise nüfusun daha yoğun olduğu yerleşimleri içermesi ve ekonomik değere sahip endüstriyel faaliyetlere ev sahipliği yapması açısından önem arz etmektedir [22].

Kıyı çizgisi Sakarya, Filyos ve Melen gibi büyük akarsuların Karadeniz'e deşarj olduğu bir kıyı çizgisi olma özelliğini taşımaktadır. Sakarya Nehri'nin 2002-2010 yılları arasında ölçülmüş ortalama debisi 137,47 m<sup>3</sup>/sn, nehrin taşıdığı sediment miktarı 10662,5 t/gündür. Bu rakamlar Filyos için 94,128 m<sup>3</sup>/sn ve 50113 t/gün, Melen için ise 30,34 m<sup>3</sup>/sn ve 5605,4 t/gün şeklindedir [23]. Çalışma alanının jeolojik yapısı değerlendirildiğinde, doğuda genellikle yükseltinin fazla olduğu falezler hâkim olsa da kıyı çizgisi boyunca Şekil 2'de örnek olarak gösterilen plajlara benzer şekilde düşük yükseltili kumsal plajlar yaygın olarak görülmektedir.

En geniş plajlar Terkos gölü kıyıları boyunca ve Sakarya Nehri etrafında oluşmuştur. Yerel olarak önemli ve bunlara nispetle küçük plajlar Şile, Ağva, Kefken, Riva, Yalıköy, İğneada ve Beğendik kıyılarında yer almaktadır. İklim değişikliklerinin etkileri karşısında en kırılğan doğal yapılardan biri de bu türden cep plajlardır.

### 3. METODOLOJİ (METHOD)

Bu çalışmada Güneybatı Karadeniz kıyılarının kırılğanlığının belirlenmesi amacıyla KKİ yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, basit, anlaşılır ve güvenilir olması nedeniyle tercih edilmiştir.

Kapsamlı kırılğanlık çalışmaları genellikle hem sosyal, hem de fiziksel kırılğanlığı birlikte inceleyerek, insan ve çevre arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamayı amaçlamaktadırlar [5]. Bu çalışmada da temel amaç, kıyıya ait fiziksel ve sosyal değişkenlerin kullanılmasıyla, kıyının iklim değişikliğine bağlı doğal afetler karşısında ne kadar etkilenebilir durumda olduğunu ortaya koymaktır. Bu maksatla Güneybatı Karadeniz kıyıları açısından önem arzeden altı adet fiziksel değişkenin yanısıra iki adet sosyal değişken de dikkate alınmıştır. Fiziksel değişkenler; jeomorfoloji, kıyı eğimi, kıyı çizgisindeki zamansal değişim, dalga yüksekliği, ortalama plaj genişliği ve deniz seviyesi yükselmesi; sosyal değişkenler ise nüfus yoğunluğu ve arazi kullanımınıdır. Bölgedeki maksimum gelgit aralığı Medvedev [24] ve Aydoğan vd. [25] tarafından yapılmış olan çalışmalara göre yaklaşık olarak 6-10 cm arasında değişmektedir. Çalışma alanındaki değerlerin hem düşük olması, hem de değişkenliğin az olması sebebiyle bu değişken analizde göz önüne alınmamıştır. Dolayısıyla Thieler ve Hammar-Klose [8] tarafından kullanılmış standart altı değişken (kıyı eğimi, jeomorfoloji, kıyı çizgisi değişimi, göreceli deniz seviyesi yükselmesi, ortalama dalga yüksekliği ve ortalama gelgit aralığı) içerisinde gelgit aralığı göz ardı edilerek plaj genişliği, nüfus yoğunluğu ve arazi kullanımı değişkenleri analize dâhil edilmiştir.

Çalışmada kullanılan değişkenler, veri kaynakları, verilerin uzamsal çözünürlükleri ve her bir değişken için kırılğanlık sınıfları Tablo 1'de verilmektedir. Kırılğanlık sınıfları, bir



Şekil 2. Kefken kumsal plajları (Kefken beaches) [22]

**Tablo 1.** Güneybatı Karadeniz kıyılarının kırılganlığının belirlenmesinde kullanılan analiz değişkenleri, veri setlerinin kaynakları, uzamsal çözünürlükleri ve kırılganlık sınıfları  
(Vulnerability factors, resources, spatial resolutions and vulnerability classes)

Değişken	Kaynak	Çözünürlük	Kırılganlık sınıfları
Jeomorfoloji / kıyı tipi	Bu çalışma	-	1. Yüksek falez (> 20 m) 2. Ortalama yükseklikli falez (10-20 m) 3. Düşük yükseklikli falez (< 10 m) 4. Çakıl plaj, akarsu ağzı, yapay (dalgakıran, kaplama vb.) 5. Kumsal plaj, delta, koy, bariyer plajı, longoz
Kıyı eğimi (%)	ASTER [27]	1 arc saniye	1. > 30 2. 20 - 30 3. 12,5 - 20 4. 7,5 - 12,5 5. < 7,5
Kıyı çizgisindeki zamansal değişim (m/yıl)	Bu çalışma	20 m	1. > +2 (yığılma) 2. +2 - +1 3. +1 - -1 4. -1 - -2 5. < -2 (erozyon)
Dalga yüksekliği (%95 aşılma, m)	Aydoğan ve Ayat [28]	0.05°	1. < 1,25 2. 2,25 - 1,45 3. 1,45 - 1,55 4. 1,55 - 1,70 5. > 1,70
Ortalama plaj genişliği (m)	Bu çalışma	5 m	1. Plaj yok 2. > 150 3. 100 - 150 4. 50 - 100 5. < 50
Deniz seviyesi yükselmesi (mm/yıl)	Copernicus [29]	0.25°	1. < 2,45 2. 2,45 - 2,55 3. 2,55 - 2,65 4. 2,65 - 2,75 5. > 2,75
Nüfus yoğunluğu (kişi/km <sup>2</sup> )	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye İstatistik Kurumu [30]	1 km	1. < 5 2. 5 - 15 3. 15 - 50 4. 50 - 200 5. > 200
Arazi kullanımı	Corine Land Cover 2012 [31]	100 m	1. Su kütleleri, su yatakları 2. Bitkisel alan, orman 3. Yeşil şehir alanları, bataklık 4. Tarım alanları, meyve bahçeleri, madencilik/inşaat 5. Şehirleşme, endüstri, ticaret ve ulaşım birimleri, sportif ve kültürel tesisler, plaj, kumul, tuz bataklığı, lagün

değişkenin kıyının kırılganlığı üzerindeki etkisine dair 1 ile 5 arasında değişen bir sınıflandırma ile belirlenmiştir. Kırılganlık sınıflarında '1' en düşük, '5' ise en yüksek kırılganlığı ifade etmektedir.

Kıyasal kırılganlık değişkenleri arasındaki bu sınıflandırmada kullanılacak sınır değerlerinin analiz sonuçları üzerinde etkisi bulunmaktadır. Sınıflandırmaların

yapılması aşamasında çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılan sınıf değerleri incelenmiştir. Jeomorfoloji ve kıyı çizgisindeki değişim değişkenleri için sınıf aralıkları Thieler ve Hammar-Klose [8] tarafından verildiği şekilde kullanılmıştır. Bu sınıf aralıkları çalışma alanına uygundur. Diğer değişkenler için ise verilerin kendi içlerindeki dağılımları esas alınarak sınıflar belirlenmiştir. Bu durum, sınıf değerlerinin sadece çalışma bölgesi için anlamlı olduğu

ve küresel olarak kullanılamayacağını göstermektedir. Dolayısıyla literatürde yer alan çok sayıda araştırmada olduğu gibi (Aboudha ve Woodroffe [26]), bu çalışmada da yalnızca Güneybatı Karadeniz’de yer alan kırılğan bölgelerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen kırılğanlık değerlerinin başka coğrafik lokasyonların kırılğanlık dereceleri ile karşılaştırılması bu çalışmanın kapsamı dışındadır.

Tablo 1 ile verilerin uzamsal çözünürlüklerini incelemek mümkündür. Belirtilen çözünürlükler yine aynı tabloda verilen veri kaynaklarına ait çözünürlüklerdir. Jeomorfolojik veriler falezlerin yüksekliği ve kumsal/çakıl plaj gibi çeşitli doğal varlıklar açısından bir sınıflandırma içermektedir. Bu veriler her bir hücre için hücrenin içerdiği jeomorfolojik kıyı tiplerini içermektedir. Bu nedenle değişken için bir çözünürlük değeri verilmemiştir. Ayrıca kıyı çizgisindeki zamansal değişim verileri, 30 ve 60 m çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri işlenerek elde edilmiştir. Nihai sonuçlar, 20 m aralıklı kıyıya dik çizgiler boyunca değişim değerlerinin hücre içindeki ortalamalarına eşittir. Tablo 1’de verilen çözünürlük değeri bu mesafeyi ifade etmektedir.

Kırılğanlık analizi çalışmalarında, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tekniği yoğun olarak kullanılmaktadır. CBS programları içerdikleri çok sayıda araçlarla birlikte, bilgilerin coğrafi konumları kullanılarak depolanabilmesinin yanında kıyı alanında etkin olan çeşitli değişkenlerin ve sonuçların uzamsal olarak incelenmesinde büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Kıyısız kırılğanlık analizi için seçilen değişkenlere ait veriler CBS ortamında konum referanslı olarak kıyı çizgisi boyunca devam eden hücrelerden veya bölümlerden oluşan dosyaya işlenmektedir.

Hücre sistemi, sonuçların görsel olarak, açık bir biçimde ifade edilmesinde iyi bir yöntemdir ve kıyı planlamacıları ve yöneticileri için en çok ve en az kırılğan bölgeler arasındaki farklılığın anlaşılması konusunda kolaylık sağlamaktadır [26]. Bu çalışmada kullanılan değişkenlerle ilgili verilerin istatistiksel özelliklerinin belirlenmesinde ve analiz sonuçlarının görsel olarak ifade edilmesinde hücre esaslı sistemden yararlanılmıştır. Söz konusu sistem, Güneybatı Karadeniz kıyı çizgisi boyunca devam eden, 1,5 km x 1,5 km boyutlu 362 adet hücreden oluşan bir ağ sistemidir (Şekil 3). Bu hücre sisteminin çözünürlüğünün belirlenmesi, analizin doğru sonuç vermesi açısından önem arz etmektedir [7]. Hücre boyutunun seçimi analizde kullanılan verilerin çözünürlükleri ile yakından ilişkilidir. En küçük veri setinin sahip olduğu çözünürlüğü hücre sisteminin çözünürlüğü olarak almak, düşük çözünürlüklü verilerin birbirini takip eden hücreler boyunca anlamsız hale gelmesi durumunu ortaya çıkarmaktadır. Jeomorfolojik veriler, kıyı çizgisinin değişimi ve plaj genişlikleri raster türünde veriler değillerdir ve bu veriler için hücre boyutu kadar bir alandaki istatistiksel özellikler kullanılmıştır. Ancak kıyı eğimi, dalga yüksekliği, deniz seviyesi yükselmesi, nüfus yoğunluğu ve arazi kullanımı verileri raster türünde ve hücresel yapıdaki çözünürlüğe sahip verilerden oluşmaktadır. Kıyı eğimi verileri için çözünürlük 1 arc saniye (~30 m), dalga

yüksekliği verileri için 0.05° (~4-6 km), deniz seviyesi yükselmesi için 0.25° (~25 km), nüfus yoğunluğu için 1 km ve arazi kullanımı için 100 m’dir. Kırılğanlık analizi çalışmalarında, verileri en iyi şekilde ifade edecek ve en doğru analiz sonucunu verecek optimum bir hücre boyutu seçilmektedir. Gornitz vd. [7]’nin kırılğan bölgelerin haritalanmasında 7.5°’lik hücreler, Aboudha ve Woodroffe [26] ise 1’(1/60°: 1,5 km) boyutlarında 105 adet hücre kullanmıştır. Literatürdeki çalışmalarda hücre boyutu açısından çok farklı seçimlerde bulunduğu görülmektedir. Bu çalışmada veri çözünürlükleri ve literatürdeki çalışmalar göz önüne alınmış, optimum bir boyut olarak 1,5 km’lik hücrelerin kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan hücre sistemi (Grid system used in the study)

Oluşturulan ağ sistemindeki her bir hücrede, ilgili değişkenin o hücre için belirlenmiş değeri ve Tablo 1’de verilen kırılğanlık sınıfları esas alındığında ait olduğu kırılğanlık sınıfı bilgisi yer almaktadır. Değişkenlere ait verilerin hücrelere işlenmesi aşamasında, çözünürlüğü hücre çözünürlüğünden daha düşük olan veriler için hücre içindeki ortalama değerler kullanılmıştır. Ortalama değerlerin, maksimum değerlere kıyasla hücrenin kapsadığı bütün alan açısından daha belirleyici olacağı düşünülmüştür. Jeomorfoloji ve arazi kullanımı verileri rakamsal veriler olmadıklarından, bu veriler için maksimum kırılğanlığa sahip sınıflar hücreler için belirleyici olarak kabul edilmiştir. Elde edilen ağ sistemindeki her hücre, değişkenlerin her biri açısından bir kırılğanlık seviyesine sahip olmaktadır. Hücreler için nihai kırılğanlık düzeyini ifade eden KKI indeksi, değişken kırılğanlıklarının çarpımının değişken sayısına bölümünün karekökü şeklinde ifade edilmiştir [8].

$$KKI = \sqrt{\frac{(a \times b \times c \times d \times e \times f \times g \times h)}{8}} \quad (1)$$

Bu denklemde (Eş. 1); a jeomorfolojik kırılğanlık sınıfını ( $CVI_{\text{jeomorfoloji}}$ ), b kıyı eğimi kırılğanlık sınıfını ( $CVI_{\text{kıyı eğimi}}$ ), c kıyı çizgisindeki zamansal değişim kırılğanlık sınıfını ( $CVI_{\text{kıyı çizgisinde değişim}}$ ), d dalga yüksekliği kırılğanlık sınıfını ( $CVI_{\text{dalga yüksekliği}}$ ), e ortalama plaj genişliği kırılğanlık sınıfını ( $CVI_{\text{plaj genişliği}}$ ), f deniz seviyesi yükselmesi kırılğanlık

sınıfını ( $CVI_{\text{deniz seviyesi}}$ ),  $g$  nüfus yoğunluğu kırılğanlık sınıfını ( $CVI_{\text{nüfus yoğunluğu}}$ ),  $h$  ise arazi kullanımı kırılğanlık sınıfını ( $CVI_{\text{arazi kullanımı}}$ ) ifade etmektedir. Analiz değişkenleri arasında bir ağırlıklandırma kullanılmamış, değişkenlerin kendi içlerindeki önem hiyerarşileri incelenmemiştir. Dolayısıyla her değişken indeks sonuçlarına eşit ölçüde katkı yapmaktadır.

Ayrıca Aboudha ve Woodroffe [26] tarafından da belirtildiği gibi, kırılğanlık analizinde daha fazla sayıda değişkenin kullanılması, kıyının kırılğanlık derecesinin daha ayrıntılı olarak elde edilmesini sağlamaktadır. Böylece kıyı şeridinin daha fazla özelliğinin dikkate alınması ile çalışma alanı içerisindeki kırılğanlık derecesi daha gerçekçi bir şekilde yansıtılabilmektedir. Bu çalışmada dikkate alınan kıyı şeridinin hemen hemen tüm önemli fiziksel ve sosyal özellikleri seçilen parametreler yardımıyla analize dâhil edilmiştir. Böylece belirlenen sekiz değişkenin çalışma alanı içerisindeki kıyı şeridinin kırılğanlığını mümkün olan en ayrıntılı şekilde yansıtması sağlamıştır. Yapılan birçok çalışmada elde edilen indeks değerleri normalleştirilmeden kullanılarak indeks değerlerinin kırılğanlığının sınıflandırılması bu değerlere göre yapılmıştır. Örneğin Mani Murali vd. [11]'nin çalışmasında indeks değerleri 211 ile 362 arasında değişirken, Aboudha ve Woodroffe [26]'un çalışmasında dokuz değişkenli indeks değerleri 13,9 ile 250 arasında değişmektedir. Bu çalışmada değerlerin görsel olarak ifade edilmesi ve değerlendirilmesi aşamasında kolaylık sağladığı için  $KKI$  değerleri Eş. 2 yardımıyla normalleştirilerek 0 ile 1 arasında değerler alacak hale getirilmiştir. Normalleştirme işlemini gerçekleştirmek için

her  $KKI$  değeri minimum değerden çıkartılarak maksimum ve minimum arasındaki farka bölünmüştür (Eş. 2), [32].

$$KKI_{\text{norm}} = \frac{KKI - \min(KKI)}{\max(KKI) - \min(KKI)} \quad (2)$$

### 3.1. Jeomorfoloji (Geomorphology)

Kıyısız kırılğanlık çalışmalarında fiziksel coğrafya hakkında bilgi toplamak doğru bir sonuç elde etmek açısından bir gerekliliktir [5]. Jeomorfoloji değişkeni, kıyıda arazi yapısının ve erozyona karşı göreceli dayanıklılığın doğal durumunu yansıtmaktadır [8]. Kumsal plajlar, doğal süreçlere ve insan etkilerine karşı oldukça hassastırlar. Bunun sebebi konsolide olmamış kum tipi katı maddelerin direkt olarak açık deniz dalga ve soluğanlarına maruz kalmasıdır. Kumsal plajlara kıyasla sert kayalardan oluşan falezler ise daha dayanıklıdırlar, fırtınalar ve deniz seviyesi yükselmesi gibi kıyısız risklere karşı koyma kabiliyetine sahiptirler [26].

Şekil 4'te Google Earth Pro [33] uygulaması yardımıyla belirlenmiş kıyı çizgisi boyunca yer alan jeomorfolojik kıyı tipleri verilmektedir. Her bir hücrede yer alan jeomorfolojik yapılar listelenmiştir. Hücrenin kırılğanlık sınıfının belirlenmesinde ise o hücre içerisindeki en kırılğan jeomorfolojik yapı dikkate alınmıştır.

Çalışmada falezler yükseltilerine göre en düşük üç kırılğanlık sınıfını; çakıl plaj, akarsu ağız ve yapay yapılar 4. kırılğanlık sınıfını, en kırılğan durumu ifade eden kumsal



Şekil 4. Çalışma alanı içerisindeki jeomorfolojik kıyı tiplerine örnekler (Google Earth [33])  
(Examples of coastal geomorphological landforms in the study area) [22]



plaj, delta, koy, bariyer plajı, longozlar ise 5. kırılmalılık sınıfını oluşturmuşlardır.

### 3.2. Kıyı Eğimi (Coastal Slope)

Kıyı eğimi, genellikle kara alanında su baskınına uğrayacak alanla ilgili riskin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır [34]. Dik eğimler, düşük ve orta büyüklükteki eğimlere kıyasla deniz seviyesi yükselmesi durumunda daha az kara alanı kaybı yaşarlar [26]. Bu nedenle deniz seviyesi yükselmesi gibi iklim değişikliği kaynaklı etkiler karşısında kıyı eğimi değişkeni, kıyının yükselti değişimiyle ilgili bilgi veren önemli bir özellik olarak görülmektedir ve analize dâhil edilmiştir.

Kıyı eğimi değişkeni, NASA EOSDIS Land Processes DAAC kurumu tarafından sunulan ASTER Küresel Dijital Yükseklik Modeli (versiyon 2) [27] verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Model, dünya yüzeyinin 83° Kuzey ile 83° Güney enlemleri arasında kalan kısmını 1°x1° çözünürlükle 22702 hücrede taramaktadır. Her bir parça 1 arc-saniye (ekvator da yaklaşık olarak 30 m) çözünürlüğünde ve 1984 World Geodetic System (WGS84)/ 1996 Earth Gravitational Model (EGM96) coğrafi koordinat sistemlerinde sunulmaktadır.

Raster dosya türündeki yükselti verileri ilgili bölgedeki UTM 35-36° Kuzey WGS84 dik koordinat sistemine (m biriminde) dönüştürülmüştür. Daha sonra yükselti verilerini içeren her bir piksel için komşu piksellerle olan maksimum yükselti değişimi miktarı hesaplanarak eğim bilgisi elde edilmiştir. Çalışma alanındaki iki UTM bölgesi (35° Kuzey ve 36° Kuzey) için eğim haritaları yüzde biriminde elde edilmiştir. Kırılmalılık sınıflandırılmasında %30'dan yüksek eğimler 1. sınıfı, %20-30 aralığındaki eğimler 2. sınıfı, %12,5-20 aralığındaki eğimler 3. sınıfı, %7,5-12,5 aralığındaki eğimler 4. sınıfı, %7,5'den düşük eğimler ise 5. sınıfı oluşturmuşlardır.

### 3.3. Kıyı Çizgisindeki Zamansal Değişim (Shoreline Change)

Kıyı çizgisindeki değişim, karaya ya da denize doğru ilerleme şeklinde olabilmektedir. Kırılmalılık çalışmalarında

kıyı çizgisindeki gerileme erozyon, ilerleme ise yığılma olarak tariflenmektedir [8]. Kıyı çizgisinin konumundaki değişim, kıyının hâlihazırda ne derece erozyona maruz kaldığını ve/veya iklim değişikliğine bağlı deniz seviyesi yükselmesinin etkilerini göstermektedir. Bu çalışmada, literatürde (Gornitz vd. [7], Thieler ve Hammar-Klose [8]) yaygın olarak kullanıldığı şekliyle kıyı çizgisindeki değişim bir değişken olarak göz önüne alınmıştır.

Analizi gerçekleştirmek amacıyla, kıyı alanındaki farklı tarihlere ait kıyı çizgileri uzaktan algılama yöntemleriyle elde edilmiştir. Değişim analizinde kullanılan uydu görüntülerinin listesi Tablo 2'de verilmektedir. Bu çalışmada bilimsel literatürde yaygın olarak kabul görmüş olması ve güvenilirliği nedeniyle LANDSAT uydu görüntüleri kullanılmıştır. Görüntüler USGS Earth Explorer veri tabanından [35] sağlanmıştır. Tablo 2'de verilen uydu görüntüleri incelendiğinde, kıyı çizgisi değişim değerlerinin 1972 – 2016 yılları arasındaki 30-40 yıllık bir dönemi kapsadığı görülmektedir.

Analiz öncesinde elde edilen uydu görüntülerinin geometrik rektifikasyonları kontrol edilmiştir. Çalışma alanının tamamını kapsayan uydu görüntüsü edinmek mümkün olmadığından analiz Şekil 5'te gösterildiği gibi bölümlere ayrılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'de ayrıca İstanbul'un Arnavutköy ve Eyüp ilçelerinin Karadeniz kıyılarında yer alan ve yüksek miktarda yığılma ve erozyona maruz kalmış bölgelerin olduğu kıyı şeridi örnek olarak gösterilmiştir.

Bu çalışmada kıyı çizgisinin uydu görüntülerinden elde edilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan su indisi (Normalized Difference Water Index - NDWI) yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemle uydu görüntüsünün farklı bantları kullanılarak yeni bir bant elde edilmektedir (Eş. 3), [36].

$$NDWI = \frac{\text{Yeşil} - \text{Yakın Kıızılötesi}}{\text{Yeşil} + \text{Yakın Kıızılötesi}} \quad (3)$$

Elde edilen indis görüntüsü, kara ve deniz kısımlarını ayırtmaya elverişli hale gelmektedir. Karadan denize geçişin olduğu bölgelerdeki piksel değerleri incelenerek her

**Tablo 2.** Çalışma alanında kıyı çizgisindeki zamansal değişimin belirlenmesinde kullanılan uydu görüntüleri (Satellite images used in the estimation of shoreline change in the study area)

Tarih	İsim	Uzamsal çözünürlük (m)
15/11/1972	LM11940311972320AAA05	60
6/11/2014	LC81800312014310LGN01	30
17/6/1975	LM21930311975168GMD07	60
29/4/2017	LC81790322017119LGN00	30
30/5/1975	LM21930311975150AAA05	60
3/10/2016	LC081790312016100301T1	30
16/6/1975	LM21920311975167GDS07	60
27/4/1984	LM51780311984118AAA03	60
10/9/2016	LC81780312016254LGN01	30



**Şekil 5.** Kıyı çizgisi analiz bölümleri ve kıyı çizgilerine bir örnek  
(Shoreline change analysis sections and an example to shorelines)

analiz bölgesinde bir eşik değeri belirlenmiş ve görüntü bu eşik etrafında iki değerli hale getirilmiştir. İki değerlerin sınır noktaları kıyı çizgisini vermektedir.

Bu yöntemle elde edilen kıyı çizgileri arasındaki değişim değerleri, 20 m'lik aralıklarla yerleştirilen kıyıya dik doğrular üzerinde hesaplatılmıştır. En eski ve en yeni tarihli kıyı çizgileri arasındaki mesafenin aradaki yıl sayısına bölünmesiyle o noktadaki kıyı çizgisi değişimi (m/yıl) elde edilmiş ve analizde kullanılmıştır.

Değişkenin sınıflandırılması aşamasında 2 m/yıldan büyük yığılma görülen hücreler 1. sınıfta, 1-2 m/yıl arasında yığılma görülen hücreler 2. sınıfta, göreceli bir denge durumunun mevcut olduğu (1 m/yıl yığılma ile 1 m/yıl erozyon arasında) hücreler 3. sınıfta, 1-2 m/yıl arasında erozyona maruz hücreler 4. sınıfta, 2 m/yıldan büyük erozyon görülen hücreler ise 5. sınıfta değerlendirilmiştir.

### 3.4. Dalga Yüksekliği (Wave Height)

Kıyıları üzerindeki dalga etkileri çeşitli morfolojik değişimlere neden olmaktadır. Kıyı alanları, sahip oldukları karakteristik dalga iklimine bağlı olarak iklim değişikliği etkilerine ve fırtınalara karşı daha az veya daha fazla kırılgan olmaktadır.

Bu çalışmada yer alan dalga yüksekliği verisi Aydoğan ve Ayat [28]'tan alınmıştır. Yazarlar MIKE 21 spektral dalga modeli ve ECMWF ERA-Interim rüzgâr verilerini

kullanarak, bütün Karadeniz için 38 yıllık (1979-2016) dalga alanlarını benzeştirmişlerdir. Bu çalışmada sunulan kırılganlık analizi için kıyı alanındaki dalga aktivitesini yansıtabilecek en doğru dalga verisinin fırtına esnasındaki büyük dalga yükseklikleri olduğu değerlendirilerek, dalga yüksekliği değişkeni için model dönemi boyunca %95 aşılma olasılığına sahip dalga yükseklikleri kullanılmıştır.

Değişkenin sınıflandırılması aşamasında 1,25 m'den küçük dalga yükseklikleri 1. sınıfta, 1,25-1,45 m arasındaki dalga yükseklikleri 2. sınıfta, 1,45-1,55 m arasındaki dalga yükseklikleri 3. sınıfta, 1,55-1,70 m arasındaki dalga yükseklikleri 4. sınıfta, 1,70'den büyük dalga yükseklikleri ise 5. sınıfta değerlendirilmiştir.

### 3.5. Ortalama Plaj genişliği (Mean Beach Width)

Plajlar, jeomorfoloji değişkeninin incelenmesi sırasında düşük yükselteli olmaları dolayısıyla deniz seviyesi yükselmelerinde daha çok alan kaybı yaşayacak olmaları ve erozyona uğramaya müsait jeomorfolojik yapıları sebebiyle en kırılgan sınıfta (5) değerlendirilmiştir. Plajların risklerden etkilenen en önemli doğal yapılardan birisi olmaları ve Güneybatı Karadeniz'de yoğun olarak bulunmaları sebebiyle plajları kendi içlerinde sınıflandıran plaj genişliği değişkeni analize dâhil edilmiştir.

Plajların kırılganlıklarını belirleyici en önemli parametre genişlikleridir, çünkü alan kaybı ve erozyona genişlikleri ölçüsünde maruz kalmaktadırlar. Bu çalışmada çalışma

bölgesi içerisinde yer alan plajların bir envanteri çıkarılmış ve genişlikleri belirlenerek analize dâhil edilmiştir. Güneybatı Karadeniz kıyılarında yer alan plajların karakteristik özellikleri çok aşamalı bir analiz sonrasında elde edilmiştir. Plajların alanlarını belirleyen çokgenler, Google Earth Pro [33] uygulaması yardımıyla çizilmiş ve 5 m aralıklarla kıyıyı dik kesen doğruların bu çokgenlerin içinde kalan kısımları plaj genişliği olarak belirlenmiştir. Şekil 6'da plaj çokgeni, plaj genişlikleri ve kıyı çizgisi örnek bir plaj üzerinde gösterilmektedir.

Analizde ortalama plaj genişliği kullanılmıştır ve bu parametre her bir plaj için o plaj çokgeninin sahip olduğu tüm genişlik değerlerinin ortalaması olarak hesaplanmıştır. Hücrelerin sınırlandırdığı alanlardaki ortalama plaj genişliklerinin ortalaması, o hücre için belirleyici değer olarak kullanılmıştır. Hücrede hiç plajın olmadığı durum en az kırılğan durumu (1. sınıf), en dar plajların bulunduğu durum (<50 m) ise en kırılğan durumu (5. sınıf) ifade etmektedir. Bir kıyıda kumsal plajın olmaması kıyıda falezlerin ya da yapay kıyı koruma sistemlerinin bulunduğu alanına geleceği kabul edilerek, kırılğanlığın düşük olacağı değerlendirilmiştir. 150 m'den büyük plajların olduğu hücreler 2. sınıfta, 100-150 m aralığındaki plajların bulunduğu hücreler 3. sınıfta, 50-100 m aralığındaki plajların bulunduğu hücreler ise 4. sınıfta değerlendirilmiştir.

### 3.6. Deniz Seviyesi Yükselmesi (Sea Level Rise)

Deniz seviyesi değişimi, iklim değişikliğinin doğrudan bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu değişkenin kırılğanlık çalışmalarında dikkate alınabilmesi için deniz seviyesindeki değişim hakkında yüksek çözünürlüklü ve uzun dönemli verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Su seviyesinin Karadeniz kıyısı boyunca değişimi Avşar vd. [37] tarafından noktasal olarak incelenmiştir. Güneybatı Karadeniz kıyılarında yer alan iki istasyondan Şile'de uydu altimetri verilerine göre  $3,61 \pm 4,57$  mm/yıl, ikinci istasyon olan İğneada istasyonunda  $2,19 \pm 1,66$  mm/yıl artış eğilimi gösterdiği bildirilmiştir [37]. Ancak bu eğilimler noktasal

analizlerden elde edilmiş verilerdir ve bu çalışmada yapılan analizin uzamsal dağılıma sahip veri ihtiyacını karşılamamaktadır.

Bu nedenle uzamsal dağılıma sahip veri ihtiyacı ancak model sonuçlarıyla elde edilebilecektir. Copernicus Deniz Bilgi Sistemi'nden (E.U. Copernicus Marine Service Information) elde edilmiş olan küresel ortalama deniz seviyesi değişim eğilimi verisi [29] bu değişken için kaynak olarak kullanılmıştır. Verilerin deniz yüzeyindeki su seviyesi yüksekliği altimetre verilerine dayalı olarak elde edildiği belirtilmektedir. Eğilimler, 01/01/1993-15/05/2017 tarihleri arasında kapsamaktadır [38].

Kaynaktaki veriler göz önüne alındığında, Güneybatı Karadeniz'de su seviyesi değişimi değerlerinin  $2,35-2,8$  mm/yıl arasında dağıldığı anlaşılmaktadır. Deniz seviyesi değişimi açısından  $2,45$  mm/yıldan küçük hücreler 1. sınıfta,  $2,45-2,55$  mm/yıl aralığındaki hücreler 2. sınıfta,  $2,55-2,65$  mm/yıl aralığındaki hücreler 3. sınıfta,  $2,65-2,75$  mm/yıl aralığındaki hücreler 4. sınıfta,  $2,75$  mm/yıldan büyük hücreler ise 5. sınıfta değerlendirilmiştir.

### 3.7. Nüfus Yoğunluğu (Population Density)

Kıyılarda yaşamlarını sürdüren topluluklar, bu kıyıları tehdit eden risklerden de birinci dereceden etkilenecek olanlardır. Bir sosyal değişken olarak nüfus yoğunluğu; kıyı alanındaki tehditlerden etkilenecek sosyal yapının yoğunluğunu ifade etmesi açısından belirleyicidir. Bu bağlamda, nüfusun yoğun olduğu kıyılar daha kırılğan, daha az yoğun olduğu kıyılar ise daha az kırılğan olacaktır.

Bu çalışma kapsamında bir hücre sistemine sahip ve olabildiğince yüksek çözünürlüklü verilere ihtiyaç vardır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü bünyesinde, ulusal coğrafi veri servislerine erişim sağlamak amacı ile Coğrafi Veri Servis Havuzu (CVSH) [39] oluşturmuştur. Bu çalışma kapsamında kullanılan nüfus yoğunluğu verileri bahsedilen havuzda yer



Şekil 6. Plaj genişliklerine bir örnek: a) plaj çokgeni b) plaj genişlikleri c) plaj kıyı çizgisi (Google Earth [33] görüntüsü)  
(An example for a) beach polygon b) beach widths c) beach shoreline)

alan Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2015 yılı verilerine [30] dayanmaktadır. Bu veri seti için uzamsal çözünürlük 1 km'dir.

Nüfus yoğunluğunun sınıflandırılmasında 5 kişi/km<sup>2</sup>'den küçük değere sahip hücreler 1. sınıfta, 5-15 kişi/km<sup>2</sup> aralığındaki hücreler 2. sınıfta, 15-50 kişi/km<sup>2</sup> aralığındaki hücreler 3. sınıfta, 50-200 kişi/km<sup>2</sup> aralığındaki hücreler 4. sınıfta, 200 kişi/km<sup>2</sup>'den büyük değere sahip hücreler ise 5. sınıfta değerlendirilmiştir.

### 3.8. Arazi Kullanımı (Land Use)

Arazi kullanımı haritaları, kara alanının ne şekilde kullanılmakta olduğu bilgisini vererek şehirleşmenin yoğun olduğu bölgeler, hassas doğal yapılar (plajlar, longozlar vb.), tarım, orman ve bitkisel alanlar vb. arasında ayırım yapmaya olanak vermektedir. Çalışma alanında kıyı çizgisi boyunca mevcut bulunan arazi kullanımı sınıfları ve kırılma düzeyleri Tablo 1'te verilmektedir. Arazi kullanımı değişkeni için Copernicus Kara Gözlem Servisi (Copernicus Land Monitoring Service) tarafından sunulan Corine Land Cover 2012 veri tabanına ait veriler [31] kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında şehirleşmenin olduğu ve/veya hassas doğal yapıların bulunduğu bölgeler en kırılma ('5') olarak sınıflandırılmıştır. Tarım, madencilik ve inşaat faaliyetlerinin yapıldığı bölgeler bunu takiben 4. dereceden, yeşil alanlar ve bataklıklar 3. dereceden, bitkisel alanlar ve ormanlar 2. dereceden, su kütleleri ve su yatakları ise 1. dereceden kırılma olarak sınıflandırılmıştır. Bir hücre içerisinde kırılma sınıfı en yüksek olan arazi kullanımı değerlendirmede esas alınmıştır. Yalnızca 1 hücrede 1. sınıfa ait arazi kullanımı sınıfı baskın çıkmaktadır, 3. sınıfta yer alan arazi kullanımı sınıfları ise hiçbir hücrede en kırılma arazi kullanımı sınıfı olmamaları sebebiyle pasifize olmaktadır.

## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bütün değişkenler açısından kırılma düzeylerinin Eş. 1 ve Eş. 2'de yerine konulmasıyla Güneybatı Karadeniz kıyısı boyunca iklim değişikliğine karşı kırılmanın dağılımı elde

edilmiştir. Genel kırılma düzeyini ifade eden sınıflandırma Tablo 3'te verildiği şekilde belirlenmiştir. Bu sınıflandırma için, literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak kırılma değerlerinin çalışma bölgesi içindeki dağılımlarını en etkin şekilde yansıtabilecek sınıf aralıkları belirlenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen kırılma indeks değerlerinin kıyı çizgisi boyunca dağılımı Şekil 7'de verilmektedir.

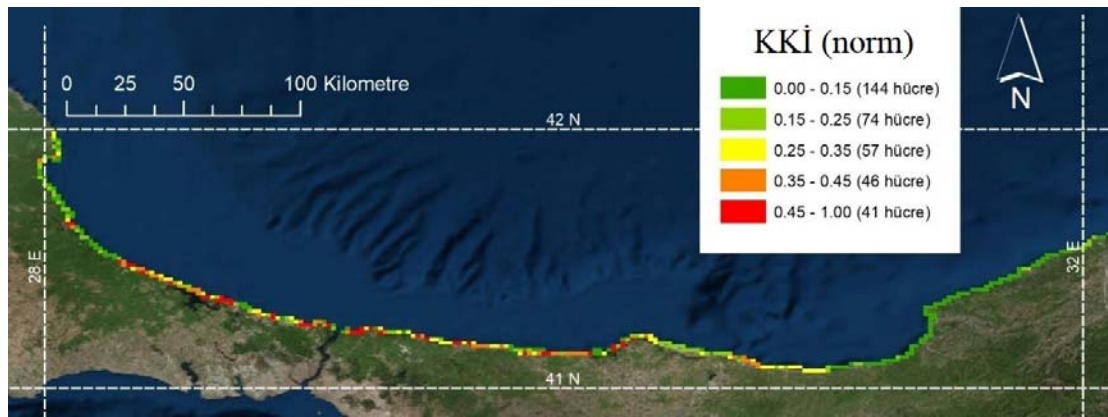
**Tablo 3.** KKİ değerleri kırılma düzeyleri  
(Vulnerability levels of CVI scores)

Kırılma düzeyi	Sınıf aralığı (KKİ <sub>norm</sub> )
1	0,00 - 0,15
2	0,15 - 0,25
3	0,25 - 0,35
4	0,35 - 0,45
5	0,45 - 1,00

Elde edilen sonuçlara genel olarak bakıldığında çalışma alanının batısında kırılmanın yüksek, doğusunda ise düşük olduğu görülmektedir. Kıyı çizgisinin doğusunda yer alan, falezlerin yaygın olarak bulunduğu, dolayısıyla eğimin yüksek olduğu, erozyonun görülmediği Ereğli-Zonguldak bölgesinde 1. dereceden kırılma bölgeleri yaygın olarak bulunmaktadır. Batı kısmında, özellikle İstanbul çevresinde ise her seviyeden kırılma görülmekle birlikte, kimi noktalarda 5. dereceden kırılma bölgeleri bulunmaktadır. Kırılma etkileyen faktörleri daha iyi anlayabilmek için kırılma değişkenlerinin uzamsal dağılımları Şekil 8'de verildiği gibi elde edilmiştir.

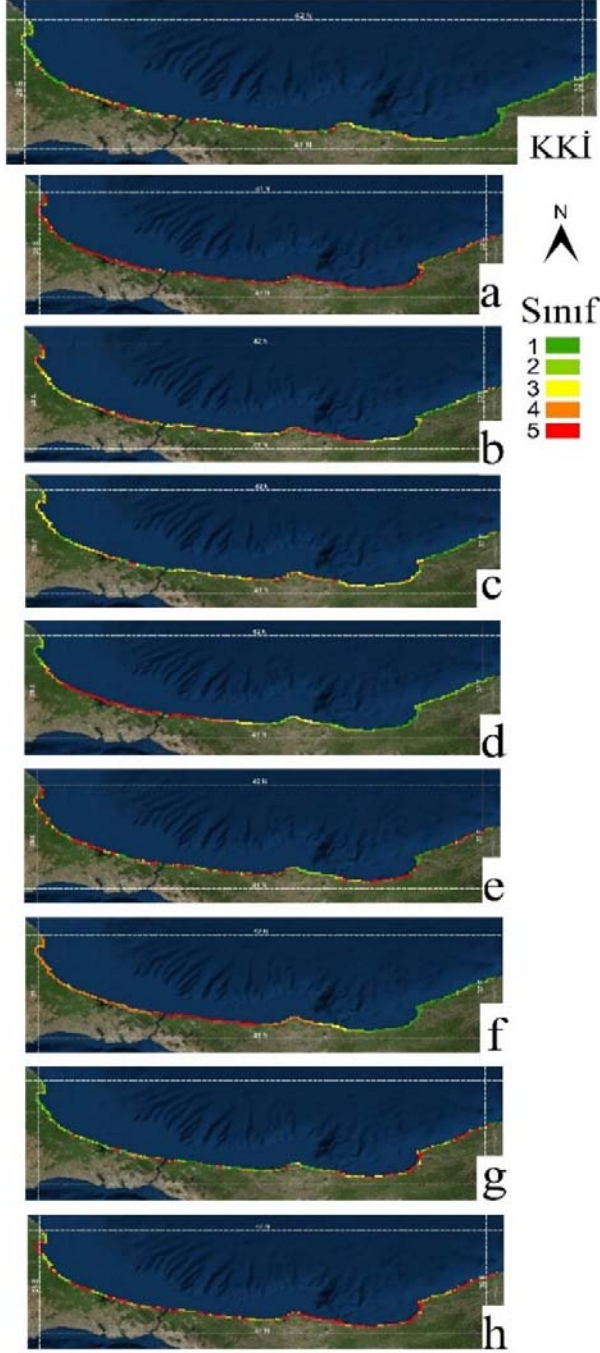
Elde edilen kırılma değerlerinin frekans dağılımı analiz değişkenleri bazında Şekil 9'da verilmektedir. Bu şekil yardımıyla genel kırılmanın sayısal dağılımının yanında farklı değişkenlerin dağılımlarının da ayrı ayrı incelenebilmesi amaçlanmıştır.

Şekil 8'a da görüldüğü gibi kıyı çizgisi boyunca 5. sınıfa ait (en kırılma) jeomorfolojik özelliklerin yaygın olduğu görülmektedir. Hücrelerin %79,56'sının 5. sınıfta yer almaktadır (Şekil 9). Bunun sebebi bölgede çok sayıda



**Şekil 7.** Güneybatı Karadeniz kırılma haritası (Southwestern Black Sea vulnerability map)

kumsal plajın yer alması ve verilerin elde edilmesi esnasında yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleriyle hassas bir çalışma yapılmış olması sonucu irili ufaklı tüm kumsal plajların çalışmada dikkate alınmış olmasıdır.



**Şekil 8.** KKİ ve değişkenlerinin uzamsal dağılımı KKİ a) Jeomorfoloji b) Kıyı eğimi c) Kıyı çizgisindeki zamansal değişim d) Dalga yüksekliği e) Ortalama plaj genişliği f) Deniz seviyesi yükselmesi g) Nüfus yoğunluğu h) Arazi kullanımı  
(Spatial distribution of CVI and its variables CVI a) Geomorphology b) Coastal slope c) Shoreline change d) Wave height e) Mean beach width f) Sea level rise g) Population density h) Land use)

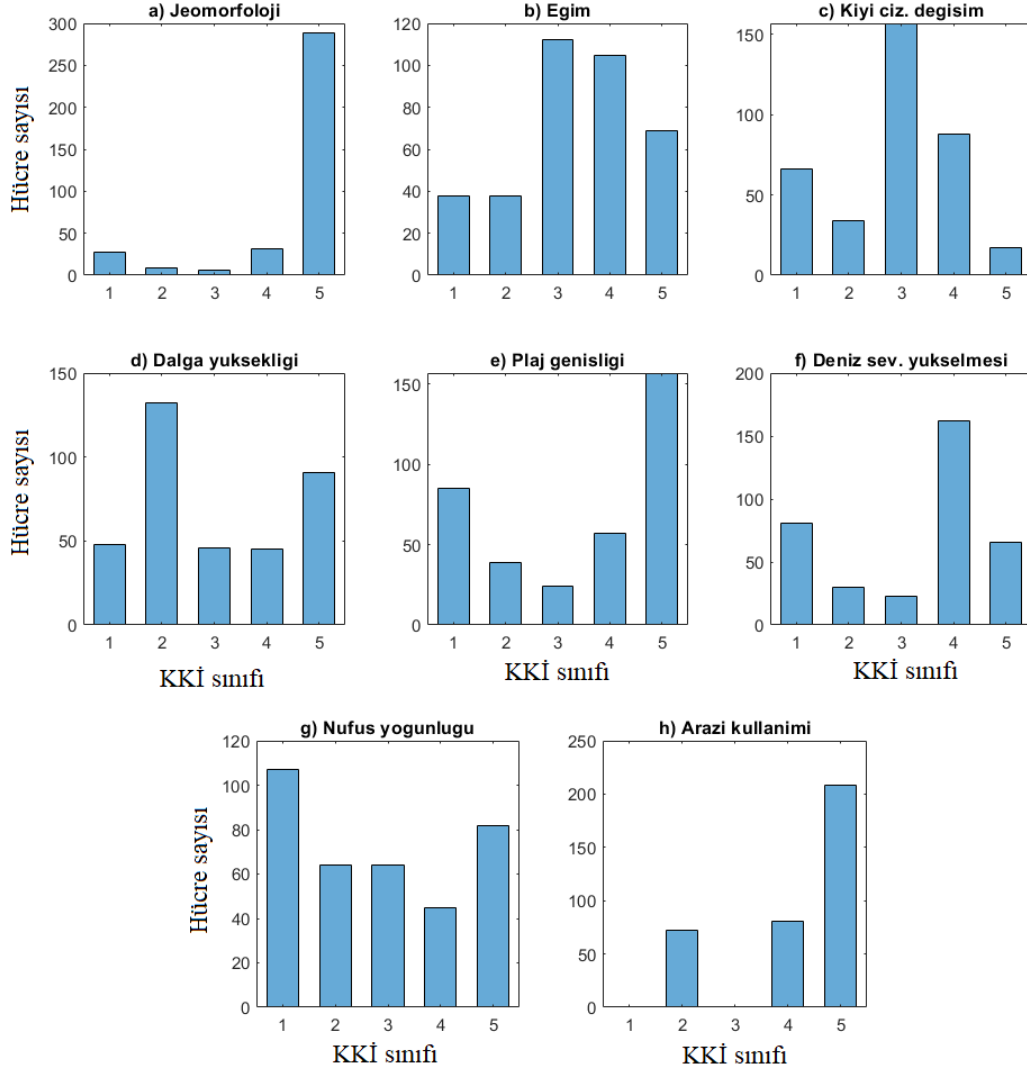
Yüksek eğime sahip Ereğli-Zonguldak kıyı şeridinde kırılgenliğin düşük olduğu görülmektedir. Plajların yaygın olarak yer aldığı ve dolayısıyla eğimin düşük olduğu Terkos-Karaburun bölgelerinde kırılgenlik yüksektir, Kefken-Akçakoca kıyılarında ise eğim düşük olmasına karşın kırılgenlik değişken bir görünüm ortaya koymaktadır (Şekil 8b). Bu durum üzerinde etkili olan faktör Kefken-Akçakoca arasındaki kıyı çizgisinde dalga yüksekliği, ortalama plaj genişliği ve deniz seviyesi yükselmesi değişkenlerinin kırılgenlik üzerinde azaltıcı etkide bulunmuş olmasıdır.

Kıyı eğimi değişkeni açısından da yüksek dereceden kırılgen hücreler yoğun olarak bulunmaktadır. Hücrelerin %19,06'sı 5. dereceden, %29,01'i 4. dereceden, %30,94'ü ise 3. dereceden kırılgen sınıfta bulunmaktadır. Bu açıdan bakıldığında deniz seviyesi yükselmesi durumunda önemli bir değişken olan kıyı eğimi açısından Güneybatı Karadeniz'de ele alınmış 362 hücrenin 286 adedi 3 ve daha üstü dereceden kıyı eğimi kırılgenliğine sahiptir (Şekil 9).

Şekil 8c'de kıyı çizgisi değişimine bağlı kırılgenlik görülmektedir. Sakarya Nehri, belirleyici bir konumdadır. Nehir ağzında 2 m/yıl'dan daha büyük erozyon eğilimi belirlenmiştir. Nehir ağzının batısında erozyon gözlenmektedir, ancak doğu kısmında göreceli bir denge durumu (3. dereceden kırılgenlik) mevcuttur. İğneada-Terkos kıyılarının genel itibarıyla denge durumunda veya yığılma etkisinde olduğu görülmektedir. Ancak Terkos Gölü'nün kıyı kesimleri -1 ile -2 m/yıl arasında erozyona maruzdur. Devamındaki kıyı şeridinde erozyon ve yığılma görülen bölgeler mevcuttur. Arnavutköy ve Eyüp ilçelerinin Karadeniz kıyılarında, kısa sürede büyük değişimlere uğrayan bir kıyı şeridi bulunmaktadır. Riva ve Şile arasındaki sahil şeridi genel itibarıyla denge halindedir, ancak Ağva-Kefken arasındaki kesim erozyona maruzdur. Kıyı çizgisindeki zamansal değişim orta ('3') kırılgenlikte en çok görülmüştür. Hücrelerin %4,7'si 5. sınıfta, %24,31'i 4. sınıfta, %43,37'si 3. sınıfta, %9,39'u 2. sınıfta, %18,23'ü ise 1. sınıfta yer almaktadır (Şekil 9).

Şekil 8d incelendiğinde, fırtına dalga yüksekliklerinin İstanbul Boğazı'nın batısında yüksek, doğusunda daha düşük olduğu görülmektedir. Kocaali-Ereğli kıyı şeridi ve İğneada çevresi en düşük sınıfta yer alan dalga yüksekliklerine sahiptir. Terkos Gölü kıyıları, Karaburun, İstanbul Boğazı ve Riva en yüksek sınıfta yer alan dalga yüksekliklerine sahiptir. Hücrelerin %25,14'ü 5. sınıfta, %12,43'ü 4. sınıfta, %12,71'i 3. sınıfta, %36,46'sı 2. sınıfta, %13,26'sı ise 1. sınıfta yer almaktadır (Şekil 9).

Şekil 8e incelendiğinde, Güneybatı Karadeniz kıyı şeridinde yer alan plajların genellikle 50 m'den dar oldukları görülmektedir. Daha geniş plajlar, Terkos Gölü kıyıları ile Sakarya Nehri'nin batısında yer almaktadır. Genişliği büyük olan plajlarda, plaj genişliği değişkeni açısından düşük kırılgenlik söz konusudur. Ancak Güneybatı Karadeniz'deki plajların dar bir karakteristik göstermesi, plajların büyük bir kısmının riskli durumda olduğunu göstermektedir. Hücrelerin %43,37'sinde (157 hücre) hiç plaj



Şekil 9. Güneybatı Karadeniz KKI değerleri histogramı (Southwestern Black Sea CVI histogram)

bulunmamasına karşın, plajların yer aldığı hücrelerdeki (205 hücre) plaj genişliği ortalamalarının %41,46'sı 50 m'den düşüktür (85 hücre) ve en kırılgan sınıfta yer almıştır.

Şekil 8f'de deniz seviyesi yükselmesine bağlı kırılganlık görülmektedir. Değerler Sakarya Nehri'nin batısında 2.5 mm/yıldan büyük, doğusunda ise küçüktür. Bu değişken açısından bakıldığında, İstanbul Boğazı'nın batısında 4. dereceden, doğusunda 4. ve 5. dereceden, Sakarya Nehri ile Bartın sınırı arasında ise 2. seviyeden kırılgan bölgeler bulunmaktadır. Hücrelerin %18,23'ü 5. sınıfta, %44,75'i 4. sınıfta, %6,35'i 3. sınıfta, %8,29'u 2. sınıfta, %22,38'i ise 1. sınıfta yer almaktadır (Şekil 9).

Nüfus yoğunluğunun daha üniform bir dağılım gösterdiği söylenebilir, ancak en düşük seviyede ('1') en çok en çok hücrenin (%29,56) görüldüğü anlaşılmaktadır (Şekil 9). Bu mantıklı bir sonuç olarak gözükmemektedir. Her ne kadar çalışma alanı İstanbul gibi bir anakenti barındırıyorsa da,

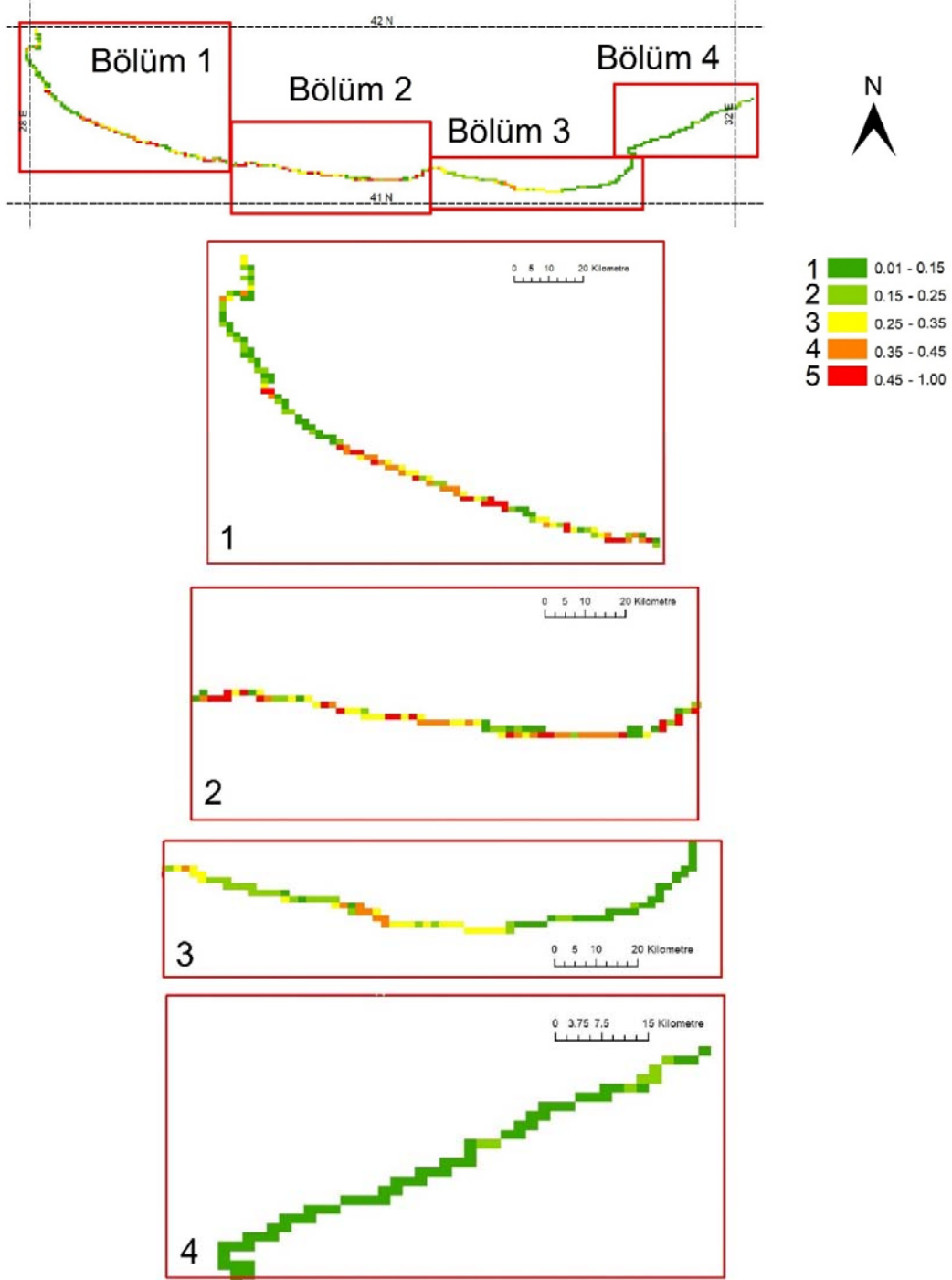
İstanbul'un Karadeniz kıyıları, güney kıyılarına kıyasla çok daha düşük yoğunluklu bir nüfusa sahiptir ve özellikle batıda hemen hemen hiç yerleşimin olmadığı kıyıları mevcuttur. Şekil 8g incelendiğinde, nüfus yoğunluğunun en fazla olduğu bölgenin Ereğli-Zonguldak-Bartın hattında uzanan kıyı çizgisi olduğu görülmektedir. İğneada, Yalıköy ve devamında Terkos kıyıları daha düşük yoğunluklu bir nüfus yapısına sahiptir. İstanbul kıyılarında, Kefken ve Akçakoca civarındaki kıyı şeritlerinde de nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu kıyıları bulunmaktadır. Hücrelerin %12,43'ü 4. sınıfta, %17,68'i ayrı ayrı 3. ve 4. sınıfta, %29,56'sı ise 1. sınıfta yer almaktadır (Şekil 9).

Jeomorfolojik kırılganlığın dağılımında kumsal plaj olarak belirlenmiş alanlar arazi kullanımı açısından plaj/kumul sınıfına tabi alanlarla örtüşmekte ve bu alanlar arazi kullanımı açısından da yüksek kırılganlığa sahip olmaktadır. Buna ek olarak arazi kullanımı, şehirleşme, tarım ve orman alanları gibi sınıflar arasında ayırım yapmaya

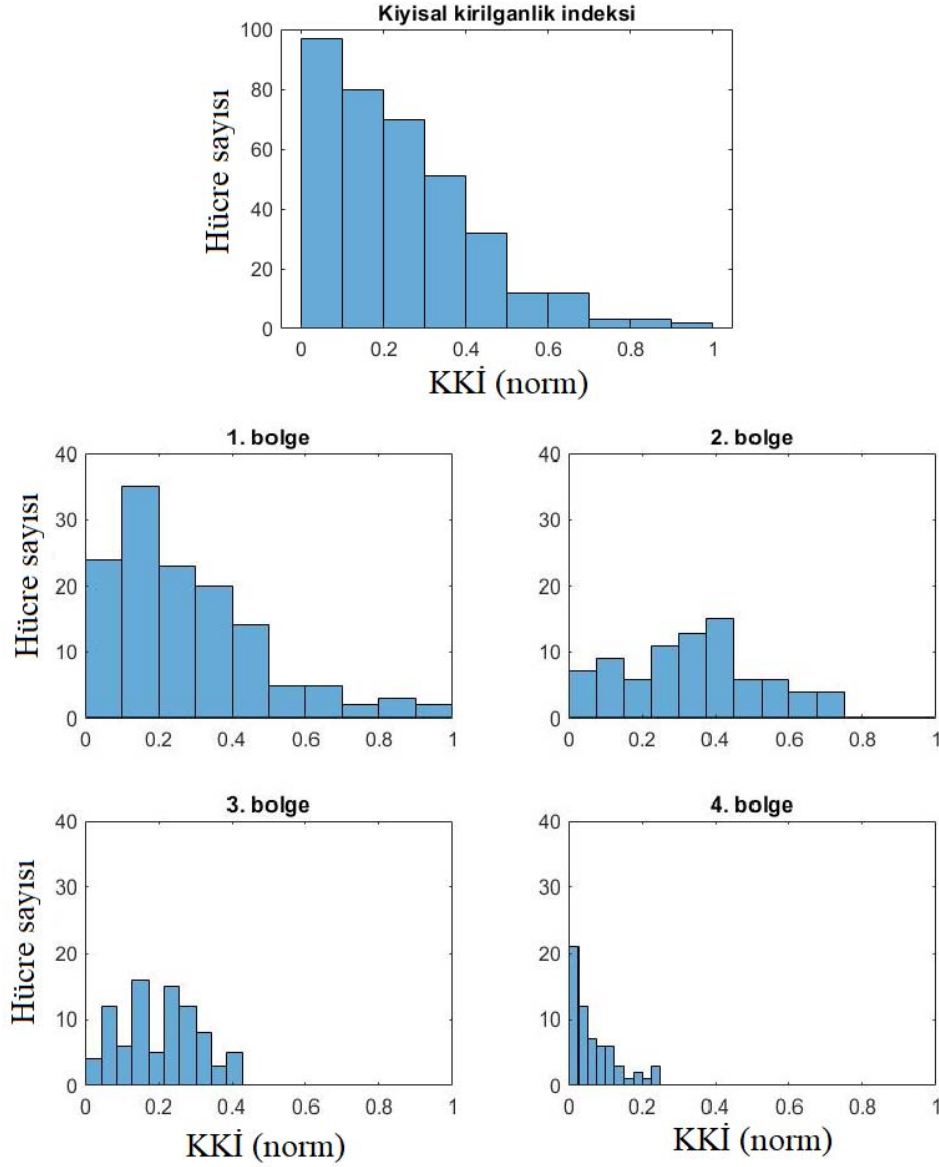
da olarak vermektedir. Dolayısıyla Şekil 8h'de görülebileceği gibi arazi kullanımı açısından kıyı çizgisi boyunca yüksek bir kırılgenlik söz konusudur. Arazi kullanımı değişkeni de jeomorfoloji değişkenine paralel bir sonuç vermektedir. Hücrelerin %79,83'ü 4 ve 5. sınıfta yer almaktadırlar. Kıyı çizgisinin dört ayrı bölgeye ayrıldığı, daha ayrıntılı bir incelemeye olanak veren kırılgenlik haritaları Şekil 10'da, bu bölgeler için kırılgenlik indeksi

(KKİ) değerlerinin sıklık dağılımları ise Şekil 11'de sunulmaktadır. Bu iki şekil yardımıyla kıyı çizgisindeki kırılgenlik dağılımının daha yakından incelenmesi amaçlanmıştır.

Şekil 11 incelendiğinde dört bölge arasında bariz farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Kırılgenliğin en yoğun olduğu bölge İstanbul Boğazı'nın batısında yer alan 1. bölgedir. Bu



Şekil 10. Güneybatı Karadeniz bölgelere ayrılmış kırılgenlik haritası (Southwestern Black Sea segmented vulnerability map)



Şekil 11. Dört bölge için KKI sıklık dağılımları (CVI frequency distributions for four regions)

bölgede kırılma 0 ile en yüksek kırılma indeksi değeri olan 1 arasında değişmektedir. Bölgede yer alan 133 hücrenin 17 tanesi 0,5 ve daha yüksek kırılma indeksi değerine sahiptir. 0,5'den yüksek indeks değerinin olmadığı 3 ve 4. bölgeyle kıyaslandığında bu yüksek bir değer olarak görülmektedir. Şekil 12'de 5. dereceden kırılma olan hücreler yalıtılarak kendi içlerindeki dağılımları incelenmiştir. Yüksek kırılma değeri olan bölgeler Kıyıköy, Yalıköy, Karaburun ve Kilyos kıyılarında yer almaktadır. Maksimum indeks değeri olan 1, Karaburun ve Kilyos'taki birer hücrede görülmüştür. Kıyıköy'de yer alan hücrelerdeki maksimum kırılma indeksi değeri 0,62'ye, Terkos kıyılarında ise 0,53'e kadar ulaşmaktadır.

Şekil 10'da verilen 2. bölge, 1. bölgeyi takiben kırılma değeri yüksek olduğu bir diğer bölgedir. 2. bölgede kırılma

indeksi değerleri 0,75'e kadar çıkmaktadır. 3. bölgede ise maksimum indeks değeri 0,43'tür. Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu, çevresel açıdan hassas bölgelerin bulunduğu Ağya, Riva ve Kefken'in daha yüksek kırılma değeri olduğu görülmektedir. Bu kıyıları yoğun olarak plajların yer aldığı, eğimin düşük olduğu ve erozyon geçmişleri bulunan kıyılardır. Riva'da maksimum kırılma değeri 0,69'a, Sahilköy'de 0,75'e, Şile'de 0,67'ye, Kefken'de 0,56'ya, Sakarya Nehri Deltası'nda 0,42'ye kadar çıkmaktadır. Sakarya Nehri Deltası'nda indeks değerlerinin düşmesinde özellikle nehrin hemen batısında nüfus yoğunluğunun düşük olduğu bölgelerin bulunması ve plaj genişliğinin yüksek olması etkili olmuştur.

Şekil 10 incelendiğinde, Ereğli ile Zonguldak arasındaki kıyı şeridinin en düşük kırılma değeri sahip bölge olduğu





olan en yüksek çözünürlüklü kaynaklardan elde edilmiştir. Gelecekte, teknolojinin gelişmesine paralel olarak gerçekleştirilecek veri kaynaklarındaki iyileşmeyle beraber analizin hassasiyeti artacaktır.

Kırılgan olduğu tespit edilen kıyılarda morfolojik değişim modellerinin yapılması yararlı olacaktır. Bu modellerde çeşitli uyum alternatiflerinin karşılaştırılması yapılarak iklim değişikliğine uyum sağlamak doğrultusunda kıyı alanları planlaması yapılmalıdır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma uluslararası ERANET Rus Plus şemsiyesi altındaki 116M061 no'lu BS-STEMA projesi kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ve Avrupa Birliği (AB) tarafından desteklenmiştir. Bu destek için adı geçen kurumlara teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. IPCC, Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment, Cambridge University Press, New York, A.B.D., 2007.
2. IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York, A.B.D., 2013.
3. Abuodha P. ve Woodroffe C., International Assessments of the Vulnerability of the Coastal Zone to Climate Change Including an Australian Perspective, University of Wollongong, New South Wales, Avustralya, 2006.
4. Dönmez S., Assessing Akşehir Lake's recession using meteorological and Earth observation data, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33 (1), 177-188, 2018.
5. Bevacqua A., Yu D. ve Zhang Y., Coastal vulnerability: Evolving concepts in understanding vulnerable people and places, Environmental Science and Policy, 82, 19-29, 2018.
6. IPCC, Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York, A.B.D., 2001.
7. Gornitz V., Daniels R., White T. ve Birdwell K., The Development of a Coastal Risk Assessment Database: Vulnerability to Sea-Level Rise in the U.S. Southeast, Journal of Coastal Research, Özel sayı no 12, 327-338, 1994.
8. Thieler E. ve Hammar-Klose E., National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast, A.B.D. Jeolojik Araştırmalar Kurumu, 1999.
9. Tragaki A., Gallousi C. ve Karymbalis E., Coastal Hazard Vulnerability Assessment Based on Geomorphic, Oceanographic and Demographic Parameters: The Case of the Peloponnese (Southern Greece), Land, 7 (2), 1-16, 2018.
10. Kantamaneni K., Phillips M., Thomas T. ve Jenkins R., Assessing coastal vulnerability: Development of a combined physical and economic index, Ocean & Coastal Management, 158, 164-175, 2018.
11. Mani Murali R., Ankita M., Amrita S. ve Vethamony P., Coastal Vulnerability Assessment of Puducherry Coast India Using the Analytical Hierarchical Process, Natural Hazards and Earth System Science, 13, 3291-3311, 2013.
12. Chang H.K., Liou J.C. ve Chen W.W., Protection Priority in the Coastal Environment Using a Hybrid AHP-TOPSIS Method on the Miaoli Coast, Taiwan, Journal of Coastal Research, 28 (2), 369-374, 2012.
13. Özyurt G. ve Ergin A., Improving Coastal Vulnerability Assessments to Sea-Level Rise: A New Indicator-Based Methodology for Decision Makers, Journal of Coastal Research, 26 (2), 265-273, 2010.
14. Trifonova E. ve Eftimova P., Vulnerability of Varna central beach to extreme storm events, Journal of Environmental Protection and Ecology, 11, 1357-1365, 2010.
15. Valchev N., Andreeva N., Eftimova P., Prodanov B. ve Kotsev I., Assessment of vulnerability to storm induced flood hazard along diverse coastline settings, FLOODrisk 2016 - 3rd European Conference on Flood Risk Management, Lyon-Fransa, 17-21 Ekim, 2016.
16. Allenbach K., Garonna I., Herold C., Monioudi I., Giuliani G., Lehmann A. ve Velegrikas A., Black Sea beaches vulnerability to sea level rise, Environmental Science & Policy, 46, 95-109, 2015.
17. Binita K., Shepherd J. ve Gaither C., Climate change vulnerability assessment in Georgia, Applied Geography, 62, 62-74, 2015.
18. Vlasceanu E., Niculescu D., Petrisoiaia S., Spinu A., Mateescu R., Lungu M.L., Vasilache A., Vlasceanu R. ve Memet E., Romanian Shore Vulnerability Due to Storm Induced Erosion Within The Last Decades, Journal of Environmental Protection and Ecology, 4 (16), 1478-1486, 2015.
19. Yüksel Y., Tan İ., Ayat B., Anıl Arı G., Aydoğan B. ve Şeker D., A Coastal Management Case Study in Karasu at Black Sea Region, Proceedings of the Twenty-third (2013) International Offshore and Polar Engineering, Alaska - Amerika Birleşik Devletleri, 1244-1250, 30 Haziran-5 Temmuz, 2013.
20. Maktav D., Sunar Erbek F., ve Kabdasli S., Monitoring coastal erosion at the Black Sea coasts in Turkey using satellite data: A case study at the Lake Terkos, north-west Istanbul, International Journal of Remote Sensing, 23 (19), 4115-4124, 2002.
21. Aydoğan B., Ayat B. ve Yüksel Y., Black Sea wave energy atlas from 13 years hindcasted wave data, Renewable Energy, 57, 436-447, 2013.

22. Görmüş T., Güney Batı Karadeniz Kıyılarının Deniz Seviyesi Yükselmelerine Karşı Kırılganlığının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017.
23. Devlet Su İşleri, Akarsu Gözlem Yıllığı 2005-2012, Ankara, Türkiye.
24. Medvedev I. P., Tides in the Black Sea: Observations and Numerical Modelling, *Pure Appl. Geophys.*, 175, 6, 1951-1969, 2018.
25. Aydoğan B., Ayat B., Yüksel Y. Analysis and Modelling of Water Level Changes in Bosphorus Entrance of the Black Sea. Water 2010 Conference, Quebec City, Canada, 5-7 July, 2010, Conference Proceedings, in CD.
26. Abuodha P. ve Woodroffe C., Assessing vulnerability to sea-level rise using a coastal sensitivity index: a case study from southeast Australia, *J Coast Conserv.*, 14, 189-205, 2010.
27. NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems, and U.S./Japan ASTER Science Team, ASTER Global Digital Elevation Model V002, <https://lpdaac.usgs.gov/node/1079>, 2009.
28. Aydoğan B. ve Ayat B., Spatial variability of long-term trends of significant wave heights in the Black Sea, *Applied Ocean Research*, 79, 20-35, 2018.
29. Copernicus. Gridded Mean Sea Level Trends Over Global Ocean. [http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com\\_csw&view=details&product\\_id=GLOBAL\\_OMI\\_SL\\_regional\\_trends](http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com_csw&view=details&product_id=GLOBAL_OMI_SL_regional_trends). Erişim tarihi Kasım 17, 2018.
30. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Türkiye İstatistik Kurumu. TÜİK nüfus yoğunluğu verileri. <http://cbs.csb.gov.tr>. Erişim tarihi Nisan 17, 2017.
31. Copernicus. Corine Land Cover. <https://land.copernicus.eu>. Erişim tarihi Nisan 17, 2017.
32. Singh A., Pathirana S. ve Shi H., Assessing coastal vulnerability: developing a global index for measuring risk, Division of Early Warning and Assessment, UNEP, Nairobi, Kenya, 2005.
33. Google. Google Earth Pro. <https://www.google.com/earth/>. Erişim Tarihi Ocak 2, 2017.
34. Sudha Rani N., Satyanarayana A. ve Bhaskaran P., Coastal vulnerability assessment studies over India: a review, *Nat Hazards*, 77, 405-428, 2015.
35. USGS. United States Geological Survey LANDSAT Satellite Images. <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Erişim tarihi Aralık 17, 2017.
36. McFeeters S., The use of the Normalized Difference Water Index, *International Journal of Remote Sensing*, 17 (7), 1425-1432, 1996.
37. Avşar N.B., Jin S., Kutoğlu H. ve Gürbüz G., Sea level change along the Black Sea coast from satellite altimetry tide gauge and GPS observations, *Geodesy and Geodynamics*, 7 (1), 50-55, 2016.
38. Copernicus, Product User Manual: Sea Level Ocean Monitoring Indicators for GLOBAL\_OMI\_SL\_area\_averaged\_mean, GLOBAL\_OMI\_SL\_regional\_trends, Copernicus Marine Environment Monitoring Services, 2018.
39. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Coğrafi Veri Servisi Havuzu. <http://cbs.csb.gov.tr/>. Erişim tarihi Nisan 17, 2017.
40. Avşar N.B., Bihter E. ve Jin S., Coastal Risk Analysis of the Black Sea under the Sea Level Rise, FIG Working Week 2015, Sofya - Bulgaristan, 17-21 Mayıs 2015.

