T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KIYISAL KIRILGANLIĞIN KARAR DESTEK SİSTEMLERİ İLE ANALİZİ: MARMARA KIYILARI ÖRNEĞİ

Tümay ARDA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Uzaktan Algılama ve CBS Programı

Danışman
Doç. Dr. Anime Melis UZAR

Haziran, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KIYISAL KIRILGANLIĞIN KARAR DESTEK SİSTEMLERİ İLE ANALİZİ: MARMARA KIYILARI ÖRNEĞİ

Tümay ARDA tarafından hazırlanan tez çalışması 14.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Uzaktan Algılama ve CBS Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Anime Melis UZAR
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Anime Melis UZAR, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Nursu TUNALIOĞLU ÖCALAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Saygın ABDİKAN, Üye
Hacettepe Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Anime Melis UZAR sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Kıyısal Kırılganlığın Karar Destek Sistemleri ile Analizi: Marmara Kıyıları Örneği başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Tümay ARDA

İmza

Bu çalışmaya Marmara Belediyeler Birliği tarafından bilimsel burs desteği sağlanmıştır.

Aileme

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi danışmanlığı boyunca değerli görüş ve önerileriyle tüm desteği sağlayan, danışman hocam Sayın Doç. Dr. Anime Melis UZAR'a,

Tez çalışmamda desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Onur Can BAYRAK ve Arş. Gör. Atakan BİLGİLİ'ye,

Tezime bilimsel destek sağlayan Marmara Belediyeler Birliği'ne,

Maddi ve manevi destekleriyle bugünlere gelmemde en büyük katkısı olan sevgili annem ve babama teşekkürlerimi sunarım.

Tümay ARDA

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

TABLO LİSTESİ xii

ÖZET xiv

ABSTRACT xvi

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 7

1.3 Hipotez 8

2 KIYISAL KIRILGANLIK 9

2.1 Tanımlar 9

2.2 Kıyısal Kırılganlık Kriterlerinin Belirlenmesi ve Normalizasyon 12

2.3 Kıyısal Kırılganlık Analizi İçin Kriter Belirleme Yöntemleri 20

2.3.1 Değişim Analizi 20

2.3.2 Nesne Tabanlı Sınıflandırma 21

2.3.3 Kıyısal Kırılganlık İndeksi 27

3 KARAR DESTEK SİSTEMLERİ 29

3.1 Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon Yöntemleri 30

3.2 İdeal Nokta Yöntemleri 31

3.3 Sıralama Yöntemleri 32

3.4 Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi 32

3.5 En İyi En Kötü Yöntemi (Best Worst Method) 36

4 KIYISAL KIRILGANLIĞIN TESPİTİ 40

4.1 Çalışma Alanı 40

4.2 Kullanılan Veriler ve Teknik Özellikleri 40
4.3 Yöntem 42
4.3.1 Değişim Analizi 42
4.3.2 Nesne Tabanlı Sınıflandırma ile Sınıfların Çıkarımı 45
4.3.3 Karar Destek Sistemleri ile Kıyısal Kırılganlığın Analizi 47
4.3.4 Kıyısal Kırılganlık Tespit Yöntemlerinin Performans Analizleri . 62

5 SONUÇ VE ÖNERİLER **73**

KAYNAKÇA **77**

A HATA MATRİSLERİ **87**

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **90**

SİMGE LİSTESİ

ξ	Minimaks optimizasyon algoritmasındaki eşik değer

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
ADK	Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
BWM	Best Worst Method
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇKKA	Çok Kriterli Karar Alma
EİEKY	En İyi En Kötü Yöntemi
ELECTREE	ELimination Et Choice Translating Reality
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KDS	Karar Destek Sistemi
KKİ	Kıyısal Kırılganlık İndeksi
MKDS	Mekansal Karar Destek Sistemi
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations
TOPSIS	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Kıyı kanununun uygulanmasına dair yönetmelikte verilen kıyı tanımları [78] 10
Şekil 2.2 Kıyısal kırılganlık analizinin adımları 11
Şekil 2.3 Çoklu çözünürlüklü segmentasyon işlemi örneği 22
Şekil 2.4 Kural tabanlı sınıflandırma iş akışı 24
Şekil 2.5 Bölge birleştirme örneği 25
Şekil 2.6 Sınıfa göre ilişkilendirme örneği 25
Şekil 3.1 AHP modeli örnek gösterim 33
Şekil 3.2 AHP yönteminin iş akışı 34
Şekil 3.3 En iyi en kötü yönteminin iş akışı 36
Şekil 4.1 Çalışma alanı 41
Şekil 4.2 Değişim analizinin iş akışı 44
Şekil 4.3 Son nokta oranı yönteminin uygulanması 47
Şekil 4.4 Zamansal değişim kriterinin normalize hali 48
Şekil 4.5 Kıyı tipi kriterinin sayısallaştırılmış ve normalize hali 49
Şekil 4.6 Yükseklik kriteri ve normalize hali 50
Şekil 4.7 Eğim kriteri ve normalize hali 50
Şekil 4.8 Deniz seviyesi değişimi verisi ve normalize hali 51
Şekil 4.9 Nüfus yoğunluğu verisi ve normalize hali 51
Şekil 4.10 Çocuk nüfus oranı verisi ve normalize hali 52
Şekil 4.11 Yaşlı nüfus oranı verisi ve normalize hali 52
Şekil 4.12 Hastane verisi ve normalize hali 52
Şekil 4.13 Hekim verisi ve normalize hali 53
Şekil 4.14 Engelli verisi ve normalize hali 53
Şekil 4.15 Kıyıya uzaklık kriterinin normalize hali 54
Şekil 4.16 Nehire uzaklık kriterinin normalize hali 54
Şekil 4.17 Yol verisi ve normalize hali 54
Şekil 4.18 Arazi verisi ve normalize hali 55
Şekil 4.19 KKİ ile tespit edilen kıyısal kırılganlık 55
Şekil 4.20 AHP ile tespit edilen kıyısal kırılganlık 59
Şekil 4.21 EİEKY ile tespit edilen kıyısal kırılganlık 62

Şekil 4.22 KKİ ile tespit edilen Gemlik ve İzmit körfezlerinin kıyısal kırılganlığı 65
Şekil 4.23 AHP ve EİEKY ile tespit edilen Gemlik ve İzmit körfezlerinin kıyısal kırılganlığı 66
Şekil 4.24 KKİ ile tespit edilen Erdek Yarımadasının kıyısal kırılganlığı 67
Şekil 4.25 AHP ve EİEKY ile tespit edilen Erdek Yarımadasının kıyısal kırılganlığı 68
Şekil 4.26 KKİ ile tespit edilen Tekirdağ ve Çanakkale illerinin kıyısal kırılganlığı 69
Şekil 4.27 AHP ve EİEKY ile tespit edilen Tekirdağ ve Çanakkale illerinin kıyısal kırılganlığı 70
Şekil 4.28 KKİ ile tespit edilen İstanbul ilinin kıyısal kırılganlığı 71
Şekil 4.29 AHP ve EİEKY ile tespit edilen İstanbul ilinin kıyısal kırılganlığı . . . 72

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 AHP ve KKİ kullanan çalışma örnekleri 3
Tablo 1.2 KKİ'ye sosyal, ekonomik ve çevresel kriterlerin dahil edildiği çalışmalar 4
Tablo 2.1 Kıyısal kırılganlığı etkileyen faktörler 12
Tablo 2.2 Kıyı tipi kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [89] 13
Tablo 2.3 Karadeniz kıyıları için eğim kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [70] 13
Tablo 2.4 Kıyı çizgisinin zamansal değişim kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [3] 14
Tablo 2.5 Yükseklik kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [83] 14
Tablo 2.6 Taşkın riski kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [102] 15
Tablo 2.7 Deniz seviyesi değişimi kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [104] 15
Tablo 2.8 Gelgit aralığı kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [106] 16
Tablo 2.9 Kıyıya ve nehire olan uzaklıkların kırılganlık katsayısı 16
Tablo 2.10 Dalga boyu yüksekliğinin kıyısal kırılganlık katsayısı[70] 16
Tablo 2.11 Bitki örtüsü tipi kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [107] 17
Tablo 2.12 Kıyının ormana yakınlığı kriterinin kıyısal kırılganlık katsayısı [21] . 17
Tablo 2.13 Milli parklar, koruma alanları ve kültürel miraslar kriterlerinin kıyısal kırılganlık katsayısı [96] 18
Tablo 2.14 Nüfus yoğunluğu kriterinin kıyısal kırılganlık katsayısı 18
Tablo 2.15 Çocuk, engelli ve yaşlı nüfus oranı kriterlerinin kırılganlık katsayıları 19
Tablo 2.16 Hekim ve hastane sayıları kriterlerinin kırılganlık katsayıları 19
Tablo 2.17 Yollara olan uzaklık kriterinin kırılganlık katsayısı 20
Tablo 2.18 Arazi kriterinin kırılganlık katsayısı 20
Tablo 2.19 Kıyısal kırılganlık değerleri ve açıklaması 28
Tablo 3.1 İkili karşılaştırma matrisi örneği 34
Tablo 3.2 Önem ölçeği ve açıklamaları [127] 35
Tablo 3.3 Kriter sayısına göre rastgele indeks değerleri [127] 35
Tablo 3.4 Tutarlılık indeksi 38
Tablo 3.5 Tutarlılık oranı üst sınırı 38
Tablo 4.1 İllerin kıyı uzunlukları ve nüfusları 41
Tablo 4.2 Değişim analizinde kullanılan uydular ve özellikleri 42

Tablo 4.3 Sınıflandırmada kullanılan bantlar 42
Tablo 4.4 Kullanılan kriterler 43
Tablo 4.5 Segmentasyonda kullanılan parametreler 43
Tablo 4.6 Kural seti 46
Tablo 4.7 Doğruluk değerleri 47
Tablo 4.8 Kıyı tipi için kırılganlık katsayıları 49
Tablo 4.9 AHP için ikili karşılaştırma tablosu 56
Tablo 4.10 AHP için normalize matris tablosu 57
Tablo 4.11 AHP için ikili karşılaştırma tablosu 57
Tablo 4.12 AHP için normalize matris tablosu 58
Tablo 4.13 AHP yöntemi ile tespit edilen kriter ağırlıkları 59
Tablo 4.14 En iyinin diğer kriterlere göre önceliği 60
Tablo 4.15 Diğer kriterlerin en kötü kritere göre önceliği 60
Tablo 4.16 En iyi kriterin diğer kriterlere göre önceliği 61
Tablo 4.17 Diğer kriterlerin en kötü kritere göre önceliği 61
Tablo 4.18 EİEKY ile tespit edilen kriter ağırlıkları 61
Tablo 4.19 Yönteme göre kıyısal kırılganlık oranları 64

ÖZET

Kıyısal Kırılganlığın Karar Destek Sistemleri ile Analizi: Marmara Kıyıları Örneği

Tümay ARDA

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Anime Melis UZAR

İnsanoğlu, varoluşundan beri su alanlarına yakın dolayısıyla kıyı bölgelerine yerleşmeyi tercih etmiştir. Bu durum, daha iyi bir yaşam kalitesinin yanı sıra sosyo-ekonomik ve kültürel faydaları da beraberinde getirmektedir. Kıyı alanları nüfus ve ekonomi için büyük avantaj sağlayan alanlardır. Buna karşın, bu alanlar erozyon, tsunami, sel gibi doğal veya yapay afetlerden etkilenebilmektedir. Son yıllarda, iklim değişikliğinin de etkisiyle bu tip afetlerin sıklığı artmıştır. Ayrıca, buzulların erimesi ile deniz suyu seviyelerinin yükselmesi de bu afetler arasında yerini almıştır. Bu afetlerin etkisinin incelenmesi, kıyı hassasiyetinin mevcut durum analizi, gelecek projeksiyonu tespiti ve önlemlerin alınabilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. En önemli çalışma konularından biri ise kıyısal kırılganlık analizidir. Günümüzde kıyı alanlarını afetlere karşı korumak, önlemler almak ve daha iyi yönetebilmek amacıyla kıyı alanlarının kırılganlığının tespiti gerekmektedir. Son yıllardaki çalışmalar incelendiğinde, gerçekleştirilen analizlerde saha çalışmaları olmadan uzaktan algılama yöntemlerinin avantajları kullanılarak kıyı alanlarının kırılganlığının tespiti tercih edilmektedir. Bu çalışmada, uzaktan algılama verilerinden yararlanılarak, karar destek sistemi ile Marmara Denizi kıyılarında kıyısal kırılganlık analizi yapılmıştır. İlk olarak, kırılganlığı etkileyen kriterler tespit edilmiştir. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda bu kriterlerin kıyısal kırılganlık katsayıları tespit edilmiştir. Bu katsayılar doğrultusunda normalize edilen kriter verileri ile karar destek sistemlerinden biri olan “En iyi En kötü Yöntemi" kullanılarak Marmara Denizi kıyılarında kıyısal kırılganlık analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda Tekirdağ ve Çanakkale illerinde düşük ve orta düzeyde kırılganlık tespit edilmiştir. İstanbul ilinde, Ataköy, Fatih, Kadıköy, Maltepe ve Tuzla’da

yüksek kırılganlık; Kocaeli Körfez'de yüksek kırılganlık, Yalova ilinin genelinde çok yüksek kırılganlık, Bursa ilinde Gemlik Körfezi'nde ve Dalyan gölü çevresinde yüksek kırılganlık, Balıkesir'de Erdek yarımadası ve çevresinde çok yüksek kırılganlık tespit edilmiştir. Ayrıca, kıyısal kırılganlığın tespit edilmesinde "Kıyısal Kırılganlık İndeksi", "Analitik Hiyerarşi Prosesi" ve "En İyi En Kötü Yöntemi" karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kıyısal kırılganlık, en iyi en kötü yöntemi, karar destek sistemleri, değişim analizi, sınıflandırma

ABSTRACT

Analysis of Coastal Vulnerability with Decision Support Systems: Case Study from Marmara Coasts

Tümay ARDA

Department of Geomatic Engineering
Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Anime Melis UZAR

Humanity has preferred to settle in coastal areas since its existence. This brings along socio-economic and cultural benefits as well as a better quality of life for the development of civilizations. Coastal areas are zones that provide great benefits for population and economy. However, these areas can be affected by natural or man-made disasters such as erosion, tsunami, and flooding. The frequency of these disasters has increased with the effect of climate change. In addition, the melting of glaciers and the rise in sea levels have also taken their place among these disasters. Various studies have been carried out to determine the vulnerability of the coast to these disasters. One of the most important of these is the coastal vulnerability analysis. It is necessary to determine the vulnerability of coastal areas in order to protect these areas against disasters, take precautionary actions and manage them better. In recent years, analyzes can be done with remote sensing methods without field studies. In this study, coastal vulnerability analysis was performed on the shores of the Marmara Sea, using remote sensing data. Firstly, criteria affecting vulnerability were identified. As a result of the literature research, coastal vulnerability coefficients of these criteria were determined. Coastal vulnerability analysis was performed on the shores of the Marmara Sea by using the best worst method. As a result of the analysis, the lowest level of vulnerability was determined in Tekirdağ and Çanakkale, medium vulnerability in Ataköy, Fatih, Kadıköy, Maltepe and Tuzla; high vulnerability in Kocaeli Bay, very high vulnerability in Yalova province, high vulnerability in Gemlik Bay and around Dalyan lake, very high vulnerability in and around Erdek peninsula in Balikesir. In addition, coastal vulnerability index, analytic hierarchy process and best

worst methods were compared, and the results were evaluated in determining coastal vulnerability.

Keywords: Coastal vulnerability, best worst method, decision support systems, change detection, classification

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

İklim değişikliği, günümüzde insanları, bitkileri, hayvanları kısaca tüm ekosistemi etkileyen ve risk altına alan önemli olaylardan biri olup, acil önlem alınması gerekmektedir. İklim değişikliği ve buna bağlı gelişen olaylar, tüm dünyamızı olumsuz yönde etkileyerek risk altına alan en büyük sorunlardan biridir. İklim değişikliğinin insan üzerinde; hava sıcaklığındaki artış, deniz seviyesinin yükselmesi gibi doğrudan etkilerinin yanında, kuraklık, su kıtlığı, orman yangınları, çölleşme ve kontrolsüz göç gibi dolaylı etkileri de mevcuttur. Bu olumsuz etkiler, yaşam için gerekli olan içme suyunu, besin zincirini ve yaşam alanlarını tahrip ederek özellikle doğanın dengesini bozmaktadır. Ayrıca, iklim değişikliği insan sağlığını ve küresel ekonomiyi de olumsuz yönde etkilemektedir. İklim değişikliği etkisiyle, dünya genelinde kuraklık artmış, yaşanan hava olaylarına yenileri eklenmiş ve mevcut olanların şiddeti artmıştır. Denizler ve okyanuslar ısınmaya başlamış, bu da okyanus, deniz ve kıyı ekosistemlerinde yaşayan tüm canlıları olumsuz yönde etkilemeye başlamıştır.

Kıyı alanları, insanların varoluşundan beri yaşamak için tercih ettiği yerler arasındadır. İnsan nüfusunun önemli bir çoğunluğuna ev sahipliği yapan kıyı alanları ekonomik, endüstriyel, turistik birçok etkinliğin de yapıldığı alanlardır. Bunların yanı sıra kıyı alanları, doğal yaşamı korumayı amaçlayan milli parklar, koruma alanları ve kıyıda bulunan bir çok ekosistem ile sayıca fazla canlı türüne de yaşam alanı sunmaktadır. Kıyısal alanları olumsuz yönde etkileyen kriterlerin başında gelen deniz seviyesi yükselmesi, buzulların erimesi ile birlikte hızlanmıştır. Bu deniz seviyesi yükselmeleri ile birlikte, erozyon, ani ve kalıcı su baskınları gibi afetler kıyı alanlarını tehdit etmeye başlamıştır.

Ülkemizde ve dünyada, birçok kurum ve kuruluş kıyı alanları ve bu alanların kırılganlığı hakkında ve afetlerden nasıl etkilendiği üzerine çalışmalar yapmaktadır. Marmara Belediyeler Birliği, Marmara Bölgesi ve Marmara Denizi'ni içeren bilimsel çalışmalara destek sağlamaktadır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı,

2011 yılında Türkiye'nin iklim değişikliği karşısında uyum stratejisi ve eylem planı yayınlamıştır. Ayrıca, 2053 yılında net sıfır emisyon politikası ile iklim değişikliğine karşı önlem almakta ve kıyıya yönelik kanun ve yönetmelikleri düzenlemektedir. Dışişleri Bakanlığı, temel dış politika konuları arasında iklim değişikliğiyle mücadelenin önemine yer vermiştir. Ek olarak Türkiye, Kyoto Protokolü, Paris Antlaşması, Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü gibi iklim değişikliğiyle mücadeleyi amaçlayan birçok sözleşmeye imza atmıştır. Avrupa Birliği'nin (AB) iklim politikası, iklim değişikliğini azaltmak ve iklim değişikliğine uyum sağlamak için hem bölgesel hem de ulusal çabaları yönlendirmektedir. Bu iklim politikası, AB İklim Değişikliği Sözleşmesi'ne ek olarak Kyoto Protokolü'ne ve Paris Anlaşması'na dayanmaktadır. Aralık 2019'da Avrupa Komisyonu, iklim tarafsızlığına ulaşmanın yollarını belirleyen "European Green Deal" yayınlamıştır. Avrupa İklim Yasası konusunda 2021 yılı baharında anlaşmaya varılmıştır. İklim Değişikliği Yasası'nın kabul edilmesiyle birlikte 2050 yılı karbon nötrlük hedefi ve %55 emisyon azaltımı olan 2030 yılı hedefi yasal olarak bağlayıcı hale gelmiştir. Birleşmiş Milletler ise (The Intergovernmental Panel on Climate Change), Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelini (IPCC), iklim değişikliği ile ilgili bilimsel çalışmaları ve bulguları değerlendirmek için düzenlemiştir. IPCC'nin son raporu Şubat 2022 tarihinde yayınlanmıştır.

İklim değişikliği nedeniyle oluşan afetlerle birlikte hem insanların hem de diğer canlıların yaşam alanları tehlikeye girmektedir. İnsanların kıyı alanlarını afetlere karşı koruyabilmesi, önlemler alabilmesi ve yönetebilmesi için bu alanların afetler karşısındaki kırılganlığının tespiti gerekmektedir [1]. Kıyı alanlarındaki kırılganlık, bu alanların bu ve buna benzer afetler karşısındaki zarar görebilirliği şeklinde tanımlanır [2]. Kıyısal kırılganlık olarak ifade edilen bu kavram, kıyı alanlarının düzenlenmesi, yönetilmesi, korunması ve afetlere karşı önlemler alınabilmesi açısından uygulamada değerlendirme aracı olarak kullanılan bir analizdir.

Dünyada ve ülkemizde kıyı kırılganlığının tespitinde literatür araştırmasına göre gerçekleştirilen çalışmalarda kıyısal kırılganlığın tespitinde ağırlıklı olarak Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Kıyısal Kırılganlık İndeksi (KKİ) yöntemleri kullanılmıştır. Tablo 1.1'de yaygın olarak kullanılan bu iki yöntem için çalışma örnekleri verilmiştir.

Kıyısal kırılganlık analizinde en çok kullanılan yöntemlerin başında kıyısal kırılganlık indeksi gelmektedir. Kıyısal kırılganlık indeksi Gornitz vd. [4] tarafından geliştirilmiş ve ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri kıyıları için uygulanmıştır. Gornitz vd. geliştirdiği bu yöntem sadece fiziksel parametrelerden oluşmakta iken, sosyo-ekonomik koşullar hesaba katılmamaktadır. Yerleşim alanlarının ya da doğal alanların olmadığı durumlarda diğer bir ifade ile canlıları etkileme

Tablo 1.1 AHP ve KKİ kullanan çalışma örnekleri

Yazar	Tarih	Çalışma Alanı	Yöntem
Gornitz[3]	1991	ABD	KKİ
Gornitz vd.[4]	1994	ABD	KKİ
Kumar vd.[5]	2010	Hindistan	KKİ
Papanastassiou vd.[6]	2010	Yunanistan	KKİ
Özyurt vd.[7]	2010	Türkiye	AHP
Palmer vd.[8]	2011	Güney Afrika	KKİ
Duriyapong ve Nakhapakorn[9]	2011	Tayland	KKİ
Kumar ve Kunte[10]	2012	Hindistan	KKİ
Yin vd.[11]	2012	Çin	KKİ
Addo[12]	2013	Gana	KKİ
Cozannet vd.[13]	2013	Fransa	AHP
Orencio ve Fujii[14]	2013	Filipinler	AHP
Loinenak vd.[15]	2015	Endonezya	KKİ
Bagdanavivciute vd.[16]	2015	Litvanya	KKİ
EL-Hattab[17]	2015	Mısır	KKİ
Mahapatra vd.[18]	2015	Hindistan	AHP
Lin ve Pusella[19]	2017	Sri Lanka	AHP
Moffitt ve Kumar[20]	2018	Pasifik Adaları	KKİ
Pantusa vd.[21]	2018	İtalya	KKİ
Tano vd.[22]	2018	Batı Afrika	KKİ
Kantamaneni vd.[23]	2018	Birleşik Krallık	KKİ
Murali vd.[24]	2018	Hindistan	AHP
Ghosh ve Kumar[25]	2018	Hindistan	AHP
Baig vd.[26]	2020	Hindistan	AHP
Araujo ve Ferreira[27]	2021	Brazilya	AHP
Furlan vd.[28]	2021	İtalya	AHP
Godwyn-Paulson vd.[29]	2022	Meksika	KKİ
Rakajumari vd.[30]	2022	Hindistan	AHP
Hossain vd.[31]	2022	Hindistan	AHP
Wu vd.[32]	2022	Çin	AHP
Ngo vd.[33]	2022	Vietnam	AHP

ihtimali olmayan alanlarda, sadece fiziksel parametreler incelendiği takdirde, kıyısal kırılganlık değerinin yüksek çıktığı tespit edilmiştir. İlerleyen yıllardaki çalışmalar incelendiğinde, sosyal ve çevresel kriterlerin çalışmalara dahil edilmemesi ve kıyısal kırılganlığın sadece fiziksel açıdan ele alınması bir eksiklik ve sorun olarak görülmüştür. Bu problemin çözümü için bundan sonraki çalışmalara kıyısal kırılganlık hesaplanmasında sosyal, ekonomik ve çevresel kriterler de dahil edilmiştir (Tablo 1.2). Temeli kriter ağırlıklarının eşit önem derecesinde kabülüne dayanan KKİ yöntemi prensip olarak kriter sayısının artarak hesaplamaya dahil edilmesini ön görürken,

Tablo 1.2 KKİ'ye sosyal, ekonomik ve çevresel kriterlerin dahil edildiği çalışmalar

Yazarlar	Tarih	Kriter	Kriter Türü
Carvalho ve Guerra[34]	2020	Kıyı Tipi, Eğim, Yükseklik, Kıyı Değişimi, Ortalama Dane Boyutu, Su Seviyesi Yükselmesi, Gelgit Aralığı, Dalga Boyu, Kıyı Yapıları, Nüfus Yoğunluğu	Fiziksel, Çevresel, Sosyal
Sahoo ve Bhaskaran[35]	2018	Fırtına Dalga Boyu, Su Baskını Derinliği, Gelgit Aralığı, Yağış, Eğim, Kıyı Değişimi, Kıyı Tipi, Dalga Boyu, Deniz Seviyesi Değişimi	Fiziksel, Çevresel, Sosyal, Ekonomik
Boruff vd.[36]	2005	Gelgit Aralığı, Eğim, Deniz Seviyesi Değişimi, Kıyı Değişimi, Dalga Boyu, Kıyı Tipi, Yoksulluk, Yaş, Göçmenler, Irk ve Cinsiyet, Gelir	Fiziksel, Sosyal, Ekonomik
Tragaki vd.[37]	2018	Kıyı Tipi, Kıyı Değişimi, Eğim, Deniz Seviyesi Değişimi, Dalga Boyu, Gelgit Aralığı, Nüfus Yoğunluğu, Kadın Oranı, Yaşlı Oranı, Çocuk Oranı, Eğitimsiz Oranı	Fiziksel, Sosyal
Ng vd.[38]	2019	Kıyı Tipi, Kıyı Koruması, Fırtına Dalgaları, Su Baskını Alanı, Arazi Kullanımı	Fiziksel, Çevresel
Tano vd.[22]	2018	Kıyı Tipi, Eğim, Kıyı Değişimi, Deniz Seviyesi Değişimi, Dalga Enerjisi, Nüfus Yoğunluğu, Havaalanı, Liman, Yollar, Arazi Kullanımı, Koruma Alanları	Fiziksel, Sosyal, Ekonomik

Tablo 1.2 KKi'ye sosyal, ekonomik, ve çevresel kriterlerin dahil edildiği çalışmalar (devamı)

Kantamaneni[23]	2018	Ticari Alanları, Yerleşim Alanları, Ekonomik Değer, Nüfus, Kıyı Değişimi, Taşkın Riski	Ekonomik, Sosyal
Idier vd.[39]	2013	Dalga Boyu, Gelgit Aralığı, Tortu Miktarı, Şehirleşme	Fiziksel, Sosyal
Dileo[40]	2017	Sağlık, İçme Suyu, Yemek, Enerji, Ulaşım, Nüfus, İletişim, Longoz Alanı, Mercan Resifi Alanı, Yeşil Alan	Sosyal, Çevresel, Ekonomik
Sandhyavitri vd.[41]	2018	Kıyı Değişimi, Görülmüş Zarar, Zararın Miktarı, Zararın Derinliği, Yeşil Alan Genişliği, Litoloji, Dalga Boyu, Gelgit Aralığı, Arazi Kullanımı, Eğim	Fiziksel, Çevresel

matematiksel denklemde; kriterlerin artması ile önemli olan bir kriter ile daha az önem arz eden diğer bir kriteri eşit alıp doğruluk ile ters orantılı olarak çalışmaya başlamıştır. Örneğin; "deniz seviyesindeki değişim" kriteri ile "hastane sayısı" gibi daha az öneme sahip bir diğer kriter eşit sayılarak değerlendirmeye katılmıştır. Böylece, KKİ yönteminde kriter sayısının artmasından dolayı kıyısal kırılganlık indeksinin doğruluğu azalmaktadır. Bu problemin çözümü için de kriterlerin önem sırasına göre ağırlıklandırılması gereklidir. Bu sebeple, geçmişte yaygın kullanılan KKİ yöntemi yerini daha avantajlı irdeleme imkanı sunan karar destek sistemlerine (KDS) bırakmıştır. KDS birçok yöntem içermesine rağmen AHP ile Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSİS) yöntemleri, kıyısal kırılganlık analizinde en çok kullanılan yöntemler arasındadır. TOPSİS yöntemi genel olarak, taşkın analizi ağırlıklı kıyısal kırılganlık çalışmalarında kullanılmıştır [42–46]. AHP yönteminde durum daha farklıdır. AHP her türlü kıyısal kırılganlık çalışmasında kullanılmış ve yaygınlaşmıştır.

İlk olarak 1980 tarihinde Saaty [47] tarafından ortaya atılan AHP yöntemi sadece kıyı alanlarında değil birçok çalışmada [48–54] karar verme aracı olarak yerini almıştır. AHP'nin tarihsel süreci incelendiğinde AHP yönteminin gelişiminin karar verme süreçlerini olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Buckley [55] 1985 yılında

bulanık AHP'yi geliştirirken, Chen [56] 1996 yılında, AHP için Saaty'nin [57] önerdiği özvektörler yönteminden başka normalizasyon yöntemlerini ele alarak şu an yaygın olarak kullanılan yöntemi geliştirmişlerdir.

İngilizce terminolojide "Best Worst Method" olarak ifade edilen "En İyi En Kötü Yöntemi" (EİEKY) ilk olarak 2015 yılında Rezaei [58] tarafından ortaya atılmıştır. Bir çok farklı alanda [59–63] çalışmalarda kullanılan EİEKY'nin kıyısal kırılganlık alanında kullanımına literatür araştırması sonucunda henüz rastlanmamıştır. EİEKY, AHP ve KKİ'ye göre daha kompleks hesap yapısına sahiptir. AHP ve EİEKY'de kriterlerin ağırlıklandırma imkanı sağlandığı için, daha hassas analizler yapmak mümkündür. KKİ yönteminde ağırlıklar sabittir. Bu durumda, kriterler arttıkça ve bu kriterlerin kırılganlığa olan etkileri arasındaki etki farkları ne kadar çok ise doğruluğu o kadar olumsuz etkilemektedir. Çok fazla kriterin kullanıldığı durumlarda KDS kullanmak daha avantajlı olmaktadır. EİEKY ve AHP kullanımı ile KKİ yöntemindeki eksikliklerin giderilmesi önemlidir. EİEKY'nin AHP'ye göre en önemli avantajı ise karar verici tarafındadır. EİEKY'nin çalışma prensibi, karar vericinin yapması gereken ikili karşılaştırma sayısını azaltmaktadır. AHP için, "n" kriter sayısı olmak üzere, "n(n-1)/2" karşılaştırma sayısı gerekirken, bu EİEKY için "2n-3" şeklindedir [58]. EİEKY ile üretilen ağırlıklar AHP'ye göre daha tutarlıdır [64]. Son olarak, AHP kesirli sayıları da karşılaştırmada kullanmayı gerektirirken, EİEKY sadece tam sayıları kullanarak ikili karşılaştırmaları yapmaktadır. Bu durum da karar vericiye karşılaştırma anında kolaylık sağlamaktadır [58].

Kıyısal kırılganlığın tespitinde kullanılan yöntemin sonuçlarını ayrıca kullanılan veriler de etkilemektedir. Uzaktan algılama verileri kıyısal kırılganlığın tespitinde önemli bir yer tutmaktadır. Verilerin ölçeği doğrudan sonucun ölçeğini etkilemektedir. Verilerin erişilebilirliği kriterlerin çalışmalarda kullanılıp kullanılmamasını ve hangi bölgelerde bu çalışmaların yapılabileceğini ciddi anlamda etkilemektedir. Genel olarak kıyı değişiminin tespiti uzun bir zaman dilimini kapsadığı için Landsat verilerinden yararlanılır [65, 66]. Literatürde diğer kriterler için çeşitli veri kaynaklarından faydalanıldığı görülmüştür. Eğim ve yükseklik için STRM-DEM [67] ile ASTER-DEM [68], kıyı tipi için yüksek çözünürlüğe sahip olmasından dolayı Google Earth haritaları [69], nüfus ve nüfus ile ilgili veriler için ülkelerin istatistik kurumları [70] bu uygulamalara örnek olarak verilebilir.

Türkiye'nin üç tarafının denizlerle çevrili olmasına ve birçok önemli bölgenin kıyılarda bulunmasına rağmen, kıyısal kırılganlık konusunda günümüze kadar çok az çalışma yapılmıştır. Bunun en büyük sebeplerinden biri verilerin yetersizliğidir [71]. Demirkesen vd. [72] 2008 yılındaki çalışmalarında sadece yükseklik kriterini ele alarak, Türkiye'nin tüm kıyıları için su yükselmesine bağlı su baskınına karşı

kırılganlığı incelemişlerdir. Özyurt ve Engin [71] 2009'daki çalışmalarında su seviyesine bağlı kıyısal kırılganlık analizini Göksü Deltası, Amasra ve Göcek için uygulamışlardır. Ayrıca, 2010 yılındaki çalışmada, Özyurt vd. [7] kıyısal kırılganlığın tespiti için yeni bir metodoloji ileri sürmüş ve bunu Göksu deltasına uygulamışlardır. Kahraman ve Aydın [73] 2016 yılındaki çalışmada, Türkiye kıyı illerinde, kent bazında morfolojik açıdan kıyısal kırılganlığı değerlendirmişlerdir. Atasoy Özdemir [74] 2017 yılındaki tez çalışmasında, kıyısal alanların kırılganlığını, Fethiye-Göcek koruma alanında değerlendirmiştir. Görmüş [75] 2017 yılındaki tez çalışmasında, Güneybatı Karadeniz kıyılarının kırılganlığı üzerine yapmıştır. 2016-2018 yılları arasında, Romanya, Rusya ve Türkiye'nin ortak katılımıyla, Karadeniz kıyıları ile ilgili olarak uluslararası AB destekli proje yapılmıştır [76]. Görmüş ve Ayat [70] 2020 yılında Karadeniz kıyılarının kırılganlığını, kıyısal kırılganlık indeksi yöntemi ile tespit etmişlerdir. Aykut [77] 2021 yılında yaptığı tez çalışmasında Mersin ve İskenderun Körfezlerinin kıyısal kırılganlığını incelemiştir.

Bu çalışmada, ikinci bölümde, kıyı, kıyısal alanlar, kıyısal kırılganlık ve kırılganlığı etkileyen kriterler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ayrıca, bu kriterlerin ön işleme adımları ve normalizasyon işlemleri sırasında kullanılan yöntemlerden de bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, KDS, AHP ve EİEKY yöntemleri detaylı bir şekilde verilmiştir. Dördüncü bölümde ise Marmara Denizi kıyılarının kırılganlığı KKİ, AHP ve EİEKY ile tespit edilmiştir. Son olarak, sonuç ve öneriler bölümünde tespit edilen kırılganlık değerleri analiz edilmiş, öneriler ve değerlendirmeler yapılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Türkiye 8333 kilometrelik bir kıyı çizgisine sahiptir. Bu kıyı çizgisi etrafında, sosyal, ekonomik, endustriyel, turistik ve çevresel açıdan önemli, ancak eğimi ve yüksekliği düşük yerleşim alanları ve deltalar bulunmaktadır. Türkiye'nin bu kadar geniş bir kıyıya sahip olması, mevcut ve gelecek yıllarda iklim değişikliğine bağlı afetlere karşı önlem alınması ihtiyacını doğurmaktadır. Bu durum özellikle kıyısal alanlardaki yerel ve özel yönetimler için çözümlenmesi gereken önemli bir risk yönetimi problemidir. Bu amaçla, Türkiye'nin en önemli bölgelerinden biri olan Marmara Denizi kıyıları kapsamında herhangi bir saha ölçümü yapılmadan uzaktan algılama verilerinden yararlanılarak, değişim analizi, kural tabanlı sınıflandırma ve KSD'nin bütünleşik kullanımı ile kıyısal kırılganlığın tespiti hedeflenmiştir. Bu hedefle, KKİ, AHP ve EİEKY yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları karşılaştırılmış ve performans analizleri gerçekleştirilmiştir.

1.3 Hipotez

Uzaktan algılama verileri kullanılarak Marmara Denizi kıyıları için kırılganlık analizi, KDS'nden birisi olan EİEKY'ne dayalı olarak tespit edilebilir.

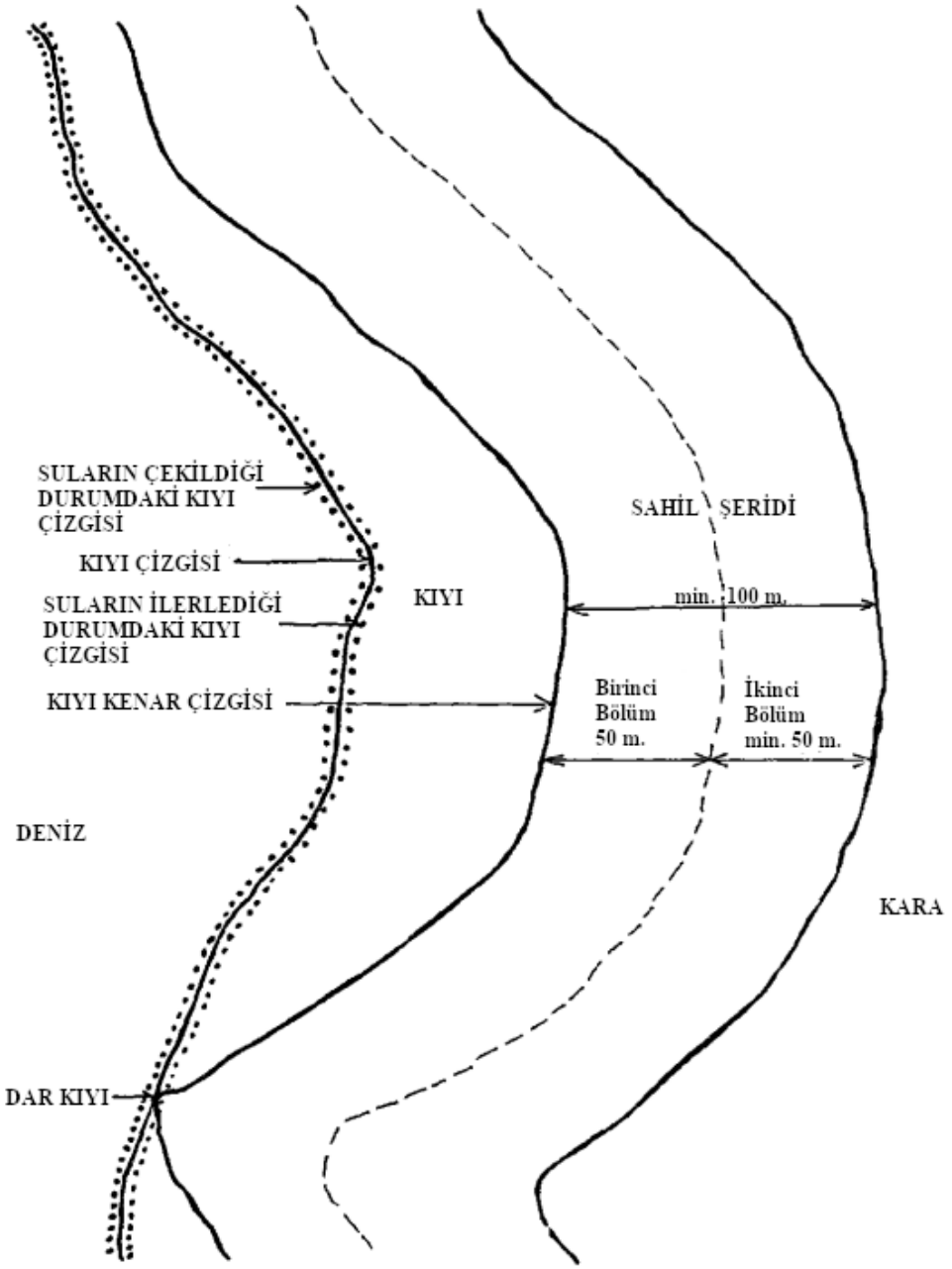
- KDS kullanıldığında en yaygın kullanılan KKİ ile elde edilen kıyısal kırılganlık sonuçlarına göre daha doğru sonuçlar elde edilir.
- AHP ve EİEKY ile kıyısal kırılganlığın tespit edilmesinde kriterlerin artması ve uygun ağırlıklandırma ile daha doğru sonuçlar elde edilir.
- EİEKY ile AHP yöntemleri karşılaştırıldığında bu çalışma kapsamında birbirine yakın sonuçlar elde edilir.
- Saha araştırması yapılmadan uzaktan algılama verileri kullanılarak kıyısal kırılganlık tespit edilir.
- Kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile kıyı ve kara alanının çıkarımı tam otomatik yapılabilir.

2
KIYISAL KIRILGANLIK

2.1 Tanımlar

Kıyısal kırılganlık teriminin daha iyi algılanması için öncelikle kıyı, kıyı çizgisi, kıyı kenar çizgisi, kıyı alanı ve kıyısal sistemlerin tanımlanması gereklidir. Kıyı kanununun uygulanmasına dair yönetmeliğe göre kıyı, kıyı çizgisi ile kıyı kenar çizgisi arasındaki alan olarak tanımlanmaktadır [78]. Kıyı çizgisi, "Deniz, tabi ve suni göl ve akarsularda, taşkın durumları dışında, suyun karaya değdiği noktaların birleşmesinden oluşan çizgi" olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.1). Kıyı kenar çizgisi ise, deniz, tabi ve suni göl ve akarsularda, kıyı çizgisinden sonraki kara yönünde su hareketlerinin oluşturduğu kumluk, çakıllık, kayalık, taşlık, sazlık, bataklık ve benzeri alanların doğal sınırı olarak tanımlanmaktadır [79]. Literatürde kıyısal alan için tam anlamıyla standart genel bir tanıma ulaşılamamakla beraber, IPCC raporuna [80] göre kıyı alanları, ortalama deniz seviyesi yüksekliğinin yakınında bulunan alanlar olarak tanımlanmaktadır. Kıyısal alanlar, hem doğal hem yapay sistemleri içerir [81]. Doğal sistemler; plajlar, kayalıklar, falezler, lagünler, akarsu ağızları, deltalar ve koylar gibi özellikleri ve ekosistemleri içerirken, yapay sistemler ise; yerleşim yerleri, yollar, kanalizasyon, turistik ve ekonomik faaliyet alanlarını içermektedir [80]. Yapay ve doğal sistemlerin birleşiminden kıyısal sistemler oluşmaktadır. Kıyısal alanlar birçok doğal ve yapay kaynaklı faktörlerin etkisi altındadır. Bu etkilerin tespit edilmesi kıyısal alanların korunması açısından önemlidir [77]. Kıyısal alanların bu faktörlerden nasıl etkilendiklerini değerlendirmek için bu faktörlerin analiz edilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirme ve analiz aşamasında ise kıyısal kırılganlık kavramından yararlanılır. Kıyısal kırılganlık, kıyısal afetlerden kaynaklanan zararlara duyarlı olan yerleri ve insanları tanımlayan mekânsal bir kavramdır [2].

Günümüzde, kıyısal kırılganlık ile sürdürülebilir kalkınma ve çevre korumanın önemi ilişkilendirildiğinde kıyısal alanlar hayati önem taşımaktadır. İklim değişikliği ve buna bağlı olarak deniz seviyesinin yükselmesi, bu alanları tehdit eden en büyük faktörler arasındadır [12]. Kıyı alanları, doğal afetler ve iklim değişikliğinin olası zararlarından en çok etkilenen bölgelerinden biridir. Özellikle, erozyon, taşkın,



Şekil 2.1 Kıyı kanununun uygulanmasına dair yönetmelikte verilen kıyı tanımları [78]

deniz seviyesinin yükselmesi ve ekstrem hava koşulları kıyısal alanları etkileyen en önemli doğal afetler içinde verilebilir [82]. Kıyı alanlarındaki erozyon ve taşkınları etkileyen çeşitli fiziksel ve insan kaynaklı faktörler bulunmaktadır. Fiziksel faktörlere; deniz seviyesinin yükselmesi, kıyının zamansal değişimi, fırtınalar, dalga boyları ve gelgit aralığı örnek olarak verilebilir [81]. Kıyı alanları, iklim değişikliği ve buna bağlı deniz seviyesi yükselmesi ile artan risklerle karşı karşıya kalmaktadır. Ayrıca, bu riskler gün geçtikçe insan kaynaklı olumsuz faktörler sebebiyle artarak tehdit olmaya devam etmektedir. Bu kadar zarara açık alanlar olmasına rağmen insan nüfusunun büyük bir kısmı kıyı bölgelerinde yaşamaktadır. Avrupa Birliği'ne üye ülkelerin kıyılarında kıyısal alanlarda yaşayan insan nüfusu oranı toplam nüfusun %20'sine ulaşmaktadır [83]. Kıyı bölgelerinin doğal ve yapay olası hasarlara karşı çok kırılgan olması ve insan nüfusunun çoğuna ev sahipliği yapması nedeniyle başlıca ele alınması gereken çalışma alanları haline gelmektedir. Dünyada kıyı alanlarının belirlenmesi, değişikliklerinin izlenmesi ve kırılganlıklarının tespit edilmesi oldukça önemlidir. Bu adımların gerçekleştirilmesinde sosyal, ekonomik ve çevre faktörlerinin etkilerinin de birebir etki ağırlıkları oranında ilişkilendirilerek önerilen yönteme dahil edilmesi gereklidir. Bu aşamada kıyısal kırılganlık sadece bir çalışma alanına ait bir çalışma konusu olmaktan çıkarak çoklu disiplinlerarası bir çalışma alanı haline gelmiştir. Özellikle, kıyısal kırılganlık yöntemlerinin gelişimi incelendiğinde uzaktan algılama ve KDS destekli modern yöntemlerin kullanılması analiz ve değerlendirme doğruluğu açısından önem arz etmektedir.

Kıyısal kırılganlık analizi genel olarak üç ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlar, sırayla; kriterlerin belirlenmesi ve ön işleme, kriterlerin belirlenen kırılganlık katsayılarına göre normalizasyonu ve KDS ile kırılganlığın tespitidir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Kıyısal kırılganlık analizinin adımları

Kriterlerin belirlenmesi ve ön işleme aşamasında, değişim analizi [69, 70]; nesne tabanlı sınıflandırma [84, 85]; kıyısal kırılganlık indeksi [15, 86]; gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bundan sonraki bölümlerde bu üç aşama ve yöntemlerin detayları verilmiştir.

2.2 Kıyısal Kırılganlık Kriterlerinin Belirlenmesi ve Normalizasyon

Kıyısal kırılganlığı etkileyen birçok kriter bulunmaktadır. Bu kriterler ile sonuç doğruluğu arasında doğru orantı olduğu varsayılmaktadır. Bir diğer ifade ile kıyısal kırılganlık analizine ne kadar çok kriter dahil edilirse, analiz sonucunun da o kadar doğru olacağı kabul edilmektedir [25, 87, 88]. Literatür araştırması sonucunda kıyısal kırılganlığı etkileyen kriterler fiziksel, çevresel ve sosyo-ekonomik olmak üzere 3 ana başlık altında toplanmıştır. Fiziksel kriterler, kıyıda oluşabilecek su yükselmesi ve erozyon gibi afetler sonucunda etkilenebilecek koşulları temsil etmektedir. Bunlar; eğim, yükseklik, deniz seviyesindeki değişimler, gelgit aralığı, kıyı çizgisinin zamansal değişimi, kıyının tipi, olası bir su yükselmesi durumunda taşkın riski, kıyıya ve nehire olan uzaklıklar vb. olarak tanımlanabilir. Çevresel kriterler ise bitki örtüsü, milli parklar ve koruma alanları, kıyının ormana yakınlığı, biyolojik çeşitlilik vb. olarak verilebilir. Sosyo-ekonomik kriterler ise, bölgede yaşayan insan nüfusunun afet olması durumunda, bu afete olan hassasiyetini göz önüne alan kriterlerdir. Bunlar; nüfusun yoğunluğu, yaşlı, çocuk ve engelli nüfus oranı, hastane ve hekim sayısı, ulaşım ağlarına diğer bir ifade ile yollara olan uzaklık ve arazi kullanımıdır. Bu üç ana başlık altında toplanan kıyısal kırılganlığı etkileyen kriterler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Kıyısal kırılganlığı etkileyen faktörler

Fiziksel Kriterler	Çevresel Kriterler	Sosyo-Ekonomik Kriterler
Eğim	Bitki Örtüsü Türü	Nüfus yoğunluğu
Yükseklik	Koruma Alanları	Yaşlı Nüfus Oranı
Deniz Seviyesi Değişimi	Kıyının Ormana Yakınlığı	Çocuk Nüfus Oranı
Gelgit Aralığı	Biyolojik Çeşitlilik	Hastane Sayısı
Zamansal Değişim		Hekim Sayısı
Kıyı Tipi		Engelli Nüfus Oranı
Taşkın Riski		Yollara Uzaklık
Kıyıya Uzaklık		Arazi Kullanımı
Nehire Uzaklık		Kültürel Miraslar
Ortalama Dalga Boyu		

Kıyısal kırılganlığı etkileyen kriterlerden yaygın kullanılan kıyı tipi, eğim, kıyı çizgisinin zamansal değişimi, yükseklik, taşkın riski, deniz seviyesi değişimi, kıyıya ve nehire olan uzaklıklar, nüfus yoğunluğu, yaşlı, çocuk ve engelli nüfus oranları, hastane sayısı, hekim sayısı, yollara uzaklık ve arazi kullanımı bu çalışma kapsamında

incelenmiştir.

Kıyı tipi ya da jeomorfoloji kriteri, kıyısal alanda bulunan yeryüzü şekillerini ifade etmektedir. Kıyıdaki bu yeryüzü şekilleri erozyona ve su yükselmesi ile oluşabilecek su baskınlarına karşı farklı hassasiyetler sergilemektedir. Bu kriter söz konusu olan yer şeklinin erozyon karşısındaki görece kırılganlığını ifade etmektedir. Tablo 2.2'de Thieler ve Hammar-Klose'nin 2000 yılındaki çalışmasında kullandığı kıyı tipine karşılık gelen kıyısal kırılganlık katsayıları verilmiştir [89].

Tablo 2.2 Kıyı tipi kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [89]

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Kıyı Tipi
1	Yüksek Falez
2	Orta Yükseklikli Falez
3	Alçak Falez
4	Akarsu Ağzı, Çakıl Plaj, Yapay Yapılar
5	Değişken Kıyılar, Delta, Koy, Kumsal Plaj, Lagün, Longoz

Eğim, kıyının su yükselmesi durumunda kara yönünde ne kadar hızlı geri çekileceğini belirleyen önemli kriterlerden biridir. Birçok kıyısal kırılganlık çalışmasında [6, 70, 90–92] analize dahil edilmektedir. Eğimin düşük olması durumunda su yükseldiğinde daha çok alan sular altında kalmaktadır. Bu durumda, eğim ne kadar düşükse o kıyının kırılganlığı buna bağlı olarak yüksek olacaktır. Tablo 2.3'de Karadeniz kıyısında kırılganlığın tespitinde kullanılan eğim değerleri verilmektedir [70]. Güneybatı Karadeniz kıyıları ile Marmara kıyıları arasındaki coğrafi benzerliklerden dolayı bu çalışmada da bu değerlerin kullanımı uygun görülmüştür.

Tablo 2.3 Karadeniz kıyıları için eğim kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [70]

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Eğim (Yüzde)
1	>30
2	20-30
3	12,5-20
4	7,5 -12,5
5	<7,5

Su seviyesinin yükselmesi ile kıyı çizgisindeki erozyonun da artması beklenmektedir

[3]. Brunn kuralı kıyı çizgisinin su seviyesi yükselmesi karşısındaki durumunu kestirmek için sıklıkla kullanılmaktadır [93]. Brunn kuralına göre kum çakıl gibi malzemelerle kaplı alanlarda, 1 cm'lik deniz seviyesi yükselmesi 100 cm'lik erozyona sebep olmaktadır [94]. Kıyı çizgisinin zamansal değişimi literatürde kıyısal kırılganlık analizinde yaygın olarak kullanılan önemli bir kriterdir [3, 95–97]. Bu kriter ile kıyılarda olan değişimler kırılganlık analizine dahil edilebilmekte, böylelikle kıyısal kırılganlık analizinin doğruluğu arttırılmaktadır. Tablo 2.4'de Gornitz (1991) çalışmasında kullanılan kırılganlık katsayıları verilmiştir [3].

Tablo 2.4 Kıyı çizgisinin zamansal değişim kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [3]

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Zamansal Değişim (m/yıl)
1	>+2.0
2	1.0-2.0
3	-1.0-1.0
4	-2.0- -1.0
5	<-2.0

Eğim kriterinde olduğu gibi yükseklik de kıyının su yükselmesi durumunda ne kadar hızlı geri çekileceğini belirleyen kriterlerden biridir. Kıyı şeridinin 1 metre yükseklik bölgesi en yüksek kalıcı su baskını olasılığıyla karşı karşıyayken, mevcut kıyı şeridinin 5 metre yükseklik içindeki sahil şeridi de fırtınadan kaynaklanan dalgalardan dolayı yüksek risk altındadır [83]. Bu sebeple, yükseklik kıyısal kırılganlık analizinde yaygın kullanılan [28, 83, 98, 99] kriterlerden biridir. Tablo 2.5'de Koroglu'nun çalışmasında kullandığı kırılganlık katsayıları verilmiştir [83].

Tablo 2.5 Yükseklik kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [83]

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Yükseklik (m)
1	>30
2	21-30
3	20-11
4	10-6
5	<5

Taşkın riski analizi, kıyısal alanlarda su yükselmesi durumunda zarar görecek alanların tespit edilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem ile taşkın riski olan yerler tespit edilebilmekte ve önlemler alınabilmektedir. Kıyısal kırılganlık açısından incelendiğinde, iklim değişikliğine bağlı su seviyesi yükselmesi ya da afet sonucu oluşabilecek taşkınlar, önlem alınmaması durumunda maddi ve can kaybı olarak büyük zararlara yol açabilmektedir. Bu sebeple, kıyısal kırılganlık analizinde taşkın riski kriterler arasında yer almaktadır [100–102]. Taşkın riskinin kırılganlık katsayısı

taşkın riskini tespit etmekte kullanılan yönteme göre değişiklik göstermektedir. Rocha 2019 yılındaki çalışmasında kullandığı kırılganlık katsayıları Tablo 2.6'de verilmiştir [102].

Tablo 2.6 Taşkın riski kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [102]

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Taşkın Riski
1	0-20
2	20-40
3	40-60
4	60-80
5	>80

İklim değişikliğine bağlı olarak dünyamızda denizlerin seviyesi her geçen yıl artmaktadır. Bu değişim bölgeden bölgeye farklılık göstermekle birlikte, dünya genelinde 1971 ile 2010 yılları arasında deniz seviyesi 83 mm yükselmiştir [103]. Bu yükselme kıyıdaki erozyonu arttırmakta ve karanın su altında kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle kıyısal kırılganlık çalışmalarında bir diğer önemli kriter ise deniz seviyesi değişimidir [3, 104]. Literatür araştırması sonucunda birçok çalışmada [18, 93, 104, 105], bu kriterin kullanıldığı görülebilmektedir. Tablo 2.7 'de yıllara göre deniz seviyesi değişiminin kırılganlık katsayısı verilmektedir.

Tablo 2.7 Deniz seviyesi değişimi kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [104]

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Deniz Seviyesi Değişimi (mm/yıl)
1	<1
2	1-2
3	2-3.5
4	3.5-5
5	>5

Kırılganlığı etkileyen başka bir kriter de gelgit aralığıdır. Gelgit aralığı, yüksek gelgit ve düşük gelgit arasındaki yükseklik farkını ifade etmektedir. Gelgit aralığı hem kalıcı hem de aralıklı su baskını tehlikeleriyle bağlantılıdır [83]. Bu sebeple bir çok kırılganlık çalışmasında analize dahil edilmiştir [70, 83, 106]. Lopez vd.'nin [106] çalışmasında kullandığı gelgit aralıkları ve bunların kıyısal kırılganlık katsayıları Tablo 2.8'de verilmiştir .

Kıyı çizgisine olan uzaklık ile kırılganlık ters orantılıdır. Normal koşullarda kıyı, deniz etkisiyle oluşan erozyona daha çok maruz kalır, bu nedenle kıyı şeridinden uzaklaştıkça kırılganlık ve erozyon azalır [102]. Roche vd. 2020 yılındaki çalışmasında Portekiz bölgesi için kullanılan kıyıya olan uzaklık değerleri Tablo 2.9'de

Tablo 2.8 Gelgit aralığı kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [106]

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Gelgit Aralığı (m)
1	>6
2	6-4
3	4-2
4	2-1
5	<1

verilmiştir. Nehire olan uzaklık da kıyı çizgisine olan uzaklık gibi kırılganlık ile ters orantılıdır. Nehir yatakları, denize döküldüklerinden dolayı denizde oluşabilecek bir su yükselmesi durumunda yükselen suyu iç bölgelere taşıyacaklardır. Bunun sonucunda, nehirlerin çevresinde bulunan yerler etkilenecek ve su altında kalacaktır. Taşkın riski analizlerinde sıklıkla kullanılan nehire olan uzaklık kriterinin çalışmalarda [25, 101] kırılganlık analizine dahil edildiği tespit edilmiştir.

Tablo 2.9 Kıyıya ve nehire olan uzaklıkların kırılganlık katsayısı

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Kıyıya olan uzaklık (m)	Nehire olan uzaklık (m)
1	>1000	>200
2	200-1000	50-200
3	50-200	20-50
4	20-50	10-20
5	<20	<10

Dalgalar, kıyılardaki erozyonu etkileyen kriterlerden biridir. Dalgaların boyları arttıkça kıyılardaki erozyon artmaktadır. Bu sebeple, kıyısal kırılganlık analizinde dahil olan kriterler arasında yer almaktadır [24, 70, 75, 104]. Görmüş 2017 yılındaki tez çalışmasında kullanılan dalga boyu yüksekliğinin kırılganlık katsayıları, Tablo 2.10'da verilmiştir.

Tablo 2.10 Dalga boyu yüksekliğinin kıyısal kırılganlık katsayısı[70]

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Dalga yüksekliği
1	<2
2	2-4
3	4-5
4	5-6
5	>6

Kıyı alanları bitki çeşitliliği bakımından zengin alanlar arasında yer almaktadır. Longoz ormanları ve mangrov ağaçları, resifler, mercan kayalıkları gibi bir çok canlı ve bitkiyi içeren ekosistemler kıyı alanlarında yer almaktadır. Kıyı alanları insan faaliyetleri, kirlilik, arazi kullanımı ve endüstriyel faaliyetler, kıyı alanlarında bulunan

fauna ve florayı olumsuz etkileyebilecek faktörlerdir. Bu da kıyıdaki biyolojik çeşitliliği azaltmaktadır. Buna karşın kıyıda bulunan bitkiler, kıyısal afetler karşısında koruyucu görev üstlenmektedir [107]. Kırılganlık analizlerinde kıyı tipi altında lagün, longoz gibi alt kriterler ile değerlendirilen bitki örtüsü tipi, tek başına bir kriter olarak da analizlere dahil edilmektedir [21, 107–110]. Kullanılan kırılganlık katsayılarına bir örnek Tablo 2.11'de verilmiştir [107].

Tablo 2.11 Bitki örtüsü tipi kriterinin kıyısal kırılganlık katsayıları [107]

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Bitki Örtüsü Tipi
1	Longoz,
2	Casuarina Ormanları
3	Hindistan Cevizi Ağaçlığı,
4	Seyrek Bitki Örtüsü
5	Tuz Sahiller, Kıyı Göletleri, Çıplak Toprak, Tarım Alanları

Bitki örtüsü, kıyısal afetler karşısında kıyıyı adeta koruyucu bir tabaka olarak örtmektedir. Özellikle, ormanlar kırılganlığı azaltan faktörlerden biridir [21, 109]. Bu durum göz önüne alındığında ormana olan yakınlık da kıyısal kırılganlık analizi çalışmalarına dahil edilen kriterlerden biridir [21]. Pantusa vd. 2018 yılındaki çalışmasında kullandığı kırılganlık katsayıları Tablo 2.12'de verilmiştir [21].

Tablo 2.12 Kıyının ormana yakınlığı kriterinin kıyısal kırılganlık katsayısı [21]

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Kıyının Ormana Yakınlığı
1	>400
2	200-400
3	100-200
4	50-100
5	<50

Milli parklar ve koruma alanları, doğayı ve doğal yaşamı korumak amacıyla kurulan araziler ve alanlardır. Milli parkların kurulmasındaki amaç, vahşi yaşamın doğal yaşayışına engel olmamaktadır. Kıyı alanlarında bulunan milli parklar ve koruma alanları, kıyısal afetlere karşı hassasiyet göstermektedir. Su yükselmesi durumunda hayvanların doğal habitatları sular altında kalabilir ya da erozyon gibi afetlerle yok olabilir. Doğal alanların yanında insan yapımı olan alanlar da bu afetler tarafından etkilenebilmektedir. Bunların başında kültürel miraslar gelir. Kültürel miras, bir toplumun geçmiş nesillerden gelecek nesillere miras kalan somut yada soyut olan olgular, yapılar, gelenekler olarak tanımlanabilir. Kıyısal kırılganlık açısından incelendiğinde, kültürel miras, kıyı alanlarında bulunan tarihi önemi olan yerler

olarak ifade edilebilir. Bu sebeple milli parklar, koruma alanları ve kültürel miraslar kıyısal kırılganlık analizlerine dahil edilmektedir [24, 96]. Örnek bir kırılganlık katsayısı Tablo 2.13'de verilmiştir [96].

Tablo 2.13 Milli parklar, koruma alanları ve kültürel miraslar kriterlerinin kıyısal kırılganlık katsayısı [96]

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Milli Parklar, Koruma Alanları ve Kültürel Miraslar
1	-
2	Kıyıda Yok
3	-
4	Kıyıda Mevcut
5	-

Nüfus yoğunluğu kriteri, afet olması durumunda, bu afetten etkilenecek insan nüfusunu ifade etmektedir. İnsan nüfusunun doğası gereği büyük bir kısmı kıyı alanlarında yaşamaktadır. Su yükselmesi durumunda, oluşan afette insanlar olası zararlara açık durumdadır. Evlerini, sevdiklerini, işlerini kaybetme riskleri göz önüne alındığında, sosyo-ekonomik kriterlerden biri olarak nüfus yoğunluğu birçok çalışmada [9, 11, 28, 86] analizlere dahil edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan nüfus yoğunluğunun kırılganlık katsayıları değerleri Tablo 2.14'de verilmiştir.

Tablo 2.14 Nüfus yoğunluğu kriterinin kıyısal kırılganlık katsayısı

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Nüfus Yoğunluğu (Nüfus/km)
1	<50
2	50-100
3	100-150
4	150-200
5	>200

Literatür araştırması sonucunda, son yıllarda kıyısal kırılganlığın sosyal kriter ağırlıklı olarak ele alındığı görülmektedir. Nüfus yoğunluğu kriterinin yanı sıra özellikle afet olması durumunda etkilenecek sosyal yaş grupları da kırılganlık analizine dahil edilmektedir. Çocuk, engelli ve yaşlı nüfus bu kesimlerden bazılarıdır. Çoğunlukla, afet durumunda başkasının yardımına muhtaç olacak bu grup göz önüne alınarak kriter olarak analizlere dahil edilmektedir [25, 111]. Örnek olarak literatür araştırması sonucu Marmara Bölgesi için tespit edilen kırılganlık katsayıları Tablo 2.15'te verilmiştir.

Ani bir su baskını durumunda yaralıları tedavi etmek ve olası can kaybını en aza indirmek açısından hastaneler önemli bir rol teşkil etmektedir. İklim değişikliğine bağlı su yükselmesi her ne kadar yavaş ilerleyen bir afet olsa da, deprem ile tetiklenen su tehlikesi çok ani ve durdurulamaz yönde tahribat gücü yüksek bir

Tablo 2.15 Çocuk, engelli ve yaşlı nüfus oranı kriterlerinin kırılganlık katsayıları

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Çocuk Nüfus Oranı (Yüzde)	Engelli Nüfus Oranı (Binde)	Yaşlı Nüfus Oranı (Yüzde)
1	<0.10	<5	<0.10
2	0.10-0.15	5-6	0.10-0.15
3	0.15-0.20	6-7	0.15-0.20
4	0.20-0.30	7-8	0.25-0.30
5	>0.30	>8	>0.30

olaydır. Türkiye'nin konumundan dolayı deprem kuşağında bulunması nedeniyle olası bir deprem afeti sonucunda oluşabilecek su yükselmeleri ve tsunamiler, deprem bölgesinin dışında da zarara yol açabilecektir. Bu kriter literatürde yaygın olarak kıyısal kırılganlığın sosyal kırılganlık alt başlığında analize dahil edilmektedir [25, 112]. Sonuç olarak olası afet sonrası hekimler de hastaneler gibi yaralıların tedavisinde ve can kaybını en aza indirmede önemli bir yer tutmaktadır. Bu kriter de sosyal kırılganlık kriterlerinden biri olarak tanımlanmaktadır [25, 111]. Bu iki kriterin bu çalışmada kullanılan kırılganlık katsayıları Tablo 2.16'da verilmiştir.

Tablo 2.16 Hekim ve hastane sayıları kriterlerinin kırılganlık katsayıları

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Hastane Başına Düşen Hasta Sayısı	Bin Kişiye Düşen Hekim Sayısı
1	>70000	>2.0
2	60000-70000	1.8 - 2.0
3	50000-60000	1.7 - 1.8
4	40000-50000	1.5 - 1.7
5	<40000	<1.5

Yollar oluşabilecek ani bir afet anında, bölgeye sağlık ve kurtarma ekiplerinin ulaşımını sağlaması açısından önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle, sel ve deprem sonrasında oluşabilecek su yükselmelerinde ulaşım ağı kritik önem taşımaktadır. Böyle bir yükselme anında kurtarma ekiplerinin ve sağlık personelinin afetin olduğu bölgeye ulaşabilmesi açısından yollar önemli bir kriterdir. Bu sebeple, kıyısal kırılganlık analizinde de literatürdeki çalışmalara ulaşım ağları dahil edilmektedir [24]. Tablo 2.17'de bu çalışma kapsamında belirlenen yollara olan uzaklığın kırılganlık katsayıları verilmiştir.

Arazi kullanımı, kıyıdaki jeomorfolojik özellikleri etkileyebilen bir kriterdir. Kıyıda yapay yapılar olması, ağaçlandırma yapılması, kum çıkarılması ve benzeri durumlarda kıyının jeomorfolojik yapısı değiştirilmektedir. Bu değişiklikler sonucu oluşan yapay yapılar, sahiller, ormanlar belirli bir kırılganlık göstermektedir. Kıyısal kırılganlık analizinde de birçok çalışma arazi kullanımını kriterleri arasına katmıştır [24],

Tablo 2.17 Yollara olan uzaklık kriterinin kırılganlık katsayısı

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Yollara olan uzaklık
1	<250
2	250-500
3	500-1000
4	1000-2000
5	>2000

[113]. Bu çalışmada kullanılan arazi kullanımı sınıfları ve bu sınıflara ait kırılganlık katsayıları Tablo 2.18'de verilmiştir.

Tablo 2.18 Arazi kriterinin kırılganlık katsayısı

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Arazi Kullanımı
1	Su kütleleri, göller, barajlar, akarsular, Çok sık olmayan bitki toplulukları, bataklıklar, bitkisiz topraklar, kayalar
2	Kıyısal Kum ya da çakıl alanlar
3	Ormanlık alanlar
4	Tarım alanları
5	Şehir ve Sanayi alanları

2.3 Kıyısal Kırılganlık Analizi İçin Kriter Belirleme Yöntemleri

2.3.1 Değişim Analizi

Kıyı çizgisinin zamansal değişimi kırılganlığın tespitinde önemli kriterlerden biridir. Değişim analizi, bir nesnenin ya da olgunun durumundaki farklılıkları, o nesne ya da olguyu farklı zamanlarda gözlemleyerek belirleme sürecidir [114]. Çok zamanlı veri kümeleri kullanılarak zamansal etkileri nicelleştirmeyi içerir. Uzaktan algılama yöntemi ile uydulardan elde edilen veriler kullanılarak yaygın olarak; arazi kullanımında olan değişimin analizi, kıyısal alanların zamansal değişiminin analizi, ormanlara olan tahribin analizi, tarımın izlenmesi, zarar tespiti, afet izlemesi gibi birçok uygulama alanında kullanılmaktadır.

Uzaktan algılama ve fotogrametri verileri (uydu görüntüsü, hava fotoğrafı, LiDAR nokta bulutu, radar görüntüsü vb.) ile gerçekleştirilen değişim analizindeki temel prensip arazi örtüsündeki değişikliklerin piksel gri değerlerindeki farklılıkların tespit edilmesidir. [114]. Ancak bu değişikliği atmosferik ve güneş açısındaki farklılıklardan dolayı oluşan ve topraktaki su kütlesinden kaynaklı faktörlerde etkilemektedir. Bu faktörlerin doğruluk üzerindeki olumsuz etkileri, kullanılan verilerin aynı mevsimlerde alınması, gerekli düzeltmelerin yapılması, normalize verilerin kullanılması ile oldukça azaltılmaktadır. Uzaktan algılama verilerinde

zamansal değişimin tespit edilmesi için, ilk olarak her bir görüntüye ait kıyı şeritlerinin çıkarımı gerçekleştirilmelidir. Bu çıkarım için manuel sayısallaştırma, piksel tabanlı sınıflandırma, nesne tabanlı sınıflandırma yöntemleri yarı veya tam otomatik obje çıkarma yöntemleri tercih edilmektedir. Son yıllarda, obje çıkarımında yüksek doğruluk ve hız avantajı sağlayan nesneye dayalı kural tabanlı sınıflandırma yöntemi [115–117] tercih edilmektedir. Kullanılan görüntüye ait kara, su, ada, göl vb. sınıfların çıkarılması ile değişim analizi uygulamasının ön veri işleme aşaması tamamlanmış olur. Değişim analizinde, görüntü farkı, görüntü regresyonu, görüntü oranlaması, indeks farkı, değişim vektör analizi, arka plan çıkarımı gibi birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Değişim analizinde en yaygın kullanılan yöntem ise bant farkı yöntemidir [114]. Bu yöntemde farklı zamanlara ait t_1 ve t_2 görüntüleri birbirinden piksel bazında çıkarılarak, aradaki değişimi ifade eden bir sonuç görüntü (D) oluşturulmaktadır. Bu yöntem matematiksel olarak:

$$D_{x_{ij}} = x_{ij_{(t_2)}} - x_{ij_{(t_1)}} + C \tag{2.1}$$

şeklinde tanımlanır. Burada i, j satır ve sütun olmak üzere; x_{ij} piksel değerlerini, $t_1$ilk tarihi,$t_2$ikinci tarihi C'de pozitif piksel değerlerinin üretimi için gereken sabiti ifade etmektedir. Girdi veri ham görüntüler olabileceği gibi, sınıflandırılmış ya da normalize edilmiş görüntüler de olabilir.

2.3.2 Nesne Tabanlı Sınıflandırma

Kriterlerin belirlenmesi ve ön işleme aşamasında değişim analizi yönteminin uygulanmasında sınıfların yüksek doğruluklu ve tam otomatik çıkarımı amacı ile nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılmaktadır. Bu sınıflandırma yöntemi görüntüdeki şekil, renk, doku komşuluk vb. ayırt edici özellikleri dikkate alarak, nesneler oluşturma ve bu oluşturulan nesnelerin çıkarımını amaçlar. Bu sınıflandırma yöntemi ile görüntülerdeki su ve kara parçaları, binalar, ağaçlar, arabalar gibi farklı nesnelerin ayırt edilebilmesi mümkün olmaktadır [118]. Bu yöntemin prensibinde nesnelerin hem piksel hem nesne tabanlı olarak birbirlerinden ayırt edici özellikleri kullanılarak sınıflandırılma yapılır. Bu avantajı ile diğer sınıflandırma yöntemlerine göre daha yüksek doğruluk elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Nesne tabanlı sınıflandırma yönteminde bir nesne, benzer spektral ve mekânsal özelliklere sahip bir piksel kümesi olarak tanımlanır [118]. Bu yöntem, segmentasyon ve sınıflandırma olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk olarak çeşitli segmentasyon (bölütleme) algoritmalarından yararlanılarak nesneler segment şeklinde ifade edilir. Böylece olası sınıf karışıklıkları minimize edilmiş olur.

Segmentasyon işleminde satranç tahtası, dörtlü ağaç, kontrast farkı ve

çoklu-çözünürlüklü segmentasyon gibi basit algoritma yapısından kompleks yapıya sırayla giden segmentasyon türleri mevcuttur. Literatürde en yaygın olarak kullanılan segmentasyon algoritması ise çoklu-çözünürlüklü segmentasyon algoritmasıdır. Bu algoritma ölçek, renk/şekil ve bütünlük olmak üzere temelde üç parametreye göre hesaplanmaktadır. Bu algoritma, görüntü nesnelerinin heterojenliğini belli bir çözünürlükte, yerel olarak minimize etmeyi amaçlar. Ortalama heterojenliği en aza indirirken, ilgili homojenliği en üst düzeye çıkaran bir optimizasyon işlemidir. Çoklu-çözünürlüklü segmentasyon algoritması, piksel ya da mevcut olan görüntü nesnelerini heterojenlik-homojenlik koşuluna göre sıra ile birleştirir. Homojenlik koşulu, spektral homojenlik ve şekil homojenliğinin bir kombinasyonu olarak tanımlanır. Bu segmentasyona ait ikinci parametre ise ölçek parametresidir. Nesnelerin boyutlarını da dikkate alarak en ideal hesaplamayı ağırlık verisi ile segmentasyon işlemine dahil eder. Ölçek parametresi büyüdükçe daha büyük görüntü nesneleri, küçüldükçe daha küçük görüntü nesneleri oluşumuna olanak tanımaktadır. Şekil 2.3 'de bir görüntüye ait çoklu-çözünürlüklü segmentasyon işlemi örneği verilmiştir. Mavi renkli çizgisel gösterim görüntüdeki segment sınırlarını ifade etmektedir.



Şekil 2.3 Çoklu çözünürlüklü segmentasyon işlemi örneği

Çoklu-çözünürlüklü segmentasyon, diğer segmentasyon çeşitlerine göre daha yüksek bellek gereksinimine ihtiyaç duyar ve bu durum yavaş veri işlenmesi nedeniyle dezavantaj oluşturur. Nesnelerin doğru bir şekilde ifade edilmesi doğru sınıflandırma imkanı sağlamaktadır. Nesne tabanlı sınıflandırma yönteminde ikinci aşama ise

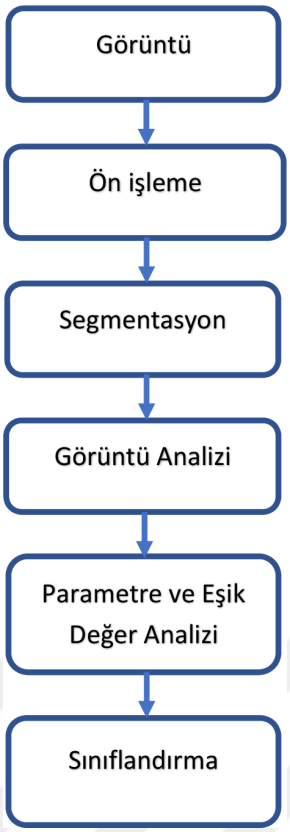
sınıflandırma işlemidir. Sınıflandırma aşamasında analizler ve sayısal görüntü işleme tekniklerinden yararlanılarak nesneler uygun sınıflara aktarılır. Nesneleri temsil eden pikseller; alan, doku, geometri, komşuluk, mesafe, morfolojik ilişkiler, standart sapma, şekil, yoğunluk vb. değerleri kullanılarak analiz edilir ve hedef sınıflara atama yapılır. Bu analizlerin sonucunda gerçekleştirilen sınıf atamaları nesne tabanlı sınıflandırma yöntemine özgüdür ve nesnelere özgü bu özelliklerin kullanımı ile daha doğru sınıflandırma sonuçları elde edilebilir [118].

2.3.2.1 Kural Tabanlı Sınıflandırma

Nesne tabanlı sınıflandırma yönteminin kurallara dayalı olarak gerçekleştirilmesi ile otomatik sınıflandırma yaklaşımı geliştirilmiştir. Sınıflandırma sırasında karşılaşılan sorunların giderilmesi, sürecin optimizasyonu ve otomatikleştirilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [119]. Kural tabanlı sınıflandırma da bu amaçla geliştirilen bir yaklaşımdır. Kural tabanlı sınıflandırma, görüntülerden daha yüksek doğruluğa sahip nesnelerin çıkarımı için, kural setleri ile sayısal görüntü işleme yöntemleri ve nesnelerin çıkarımında kullanılan birçok yöntemin birlikte çalışmasını sağlayan bir yaklaşımdır [119]. Bu yaklaşımın en önemli avantajlarından biri de oluşturulan sınıflar içinde de analizler ile nesne tanımlamaları yapılarak özel alt sınıflarda çalışma imkanı olmasıdır. Bu durum karışan iki sınıf bazında analizler ile ayırt edici özelliklerin tespiti ve ayrımı ile nesnelerin doğru sınıfa atanma işlemidir. Kural tabanlı sınıflandırmanın çalışma prensibi segmentasyon, analiz, sınıflandırma döngüsü şeklinde ifade edilebilir (Şekil 2.4).

Kural tabanlı sınıflandırmada, özellikle sınıfların birbirinden farklılıklarının tespiti için farklı indeksler ve görüntü işleme tekniklerinin analizleri gerçekleştirilir. Örneğin; otomatik su çıkarımı indeksi (Automated Water Extraction Index (AWEI)), bölge birleştirme (merge region), sınıfa göre ilişkilendirme (find enclosed by class) gibi özellikler sınıfların birbirinden ayırt edilmesi için yaygın kullanılan yöntemlerdir.

Kural tabanlı sınıflandırma yönteminin en önemli avantajlarından biri, AWEI, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Water Index (NDWI) gibi indeksleri, bant oranları, indeks oranları gibi yeşil alan, su ve kara alan sınıflarının birbirinden ayrılmasında kullanılabilecek çeşitli operatörlerin kural setine dahil edilmesidir. Bu yöntemler segmentasyon işleminde de ağırlıklandırılarak görüntü analizinin başarısının artmasını sağlamaktadır [119]. Özellikle su alanlarının diğer nesnelerden ayrımı için AWEI tercih edilmektedir. Bu indeks Eşitlik 2.2 ve 2.3'te verilmiştir. $AWEI_{nsh}$, gölge piksellerin olmadığı durumlarda, $AWEI_{sh}$ ise gölge olan durumlarda daha iyi sonuç vermektedir.



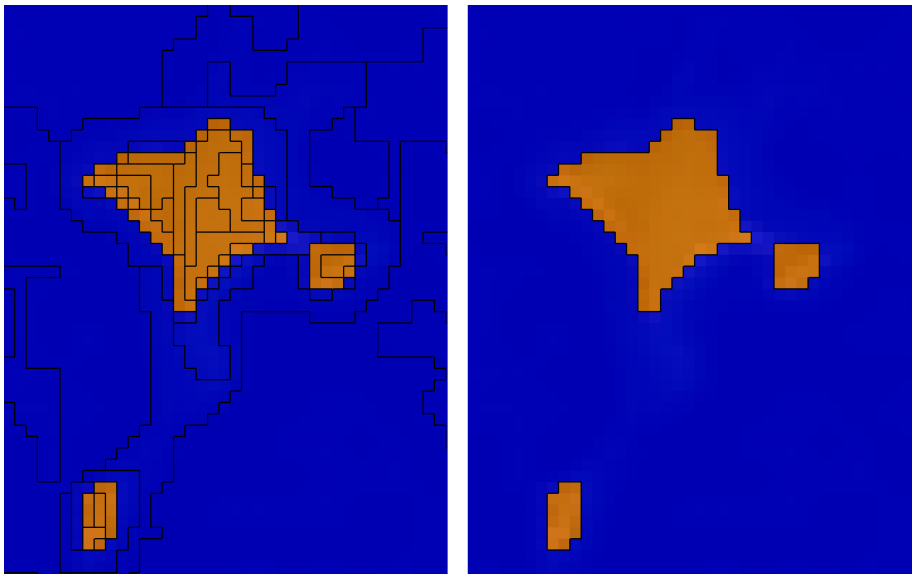
Şekil 2.4 Kural tabanlı sınıflandırma iş akışı

$$AWEI_{nsh} = 4 * (p_{band2} - p_{band5}) - 0.25 * p_{band4} + 2.75 * p_{band7} \quad (2.2)$$

$$AWEI_{sh} = p_{band1} + 2.5 * p_{band2} - 1.5 * (p_{band4} + p_{band5}) - 0.25 * p_{band7} \quad (2.3)$$

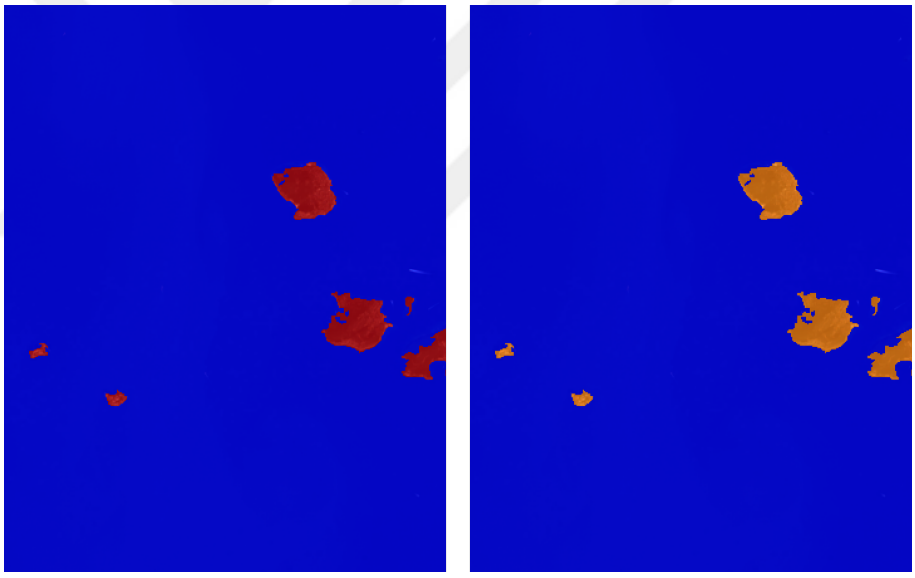
Bölge birleştirme ise, aynı sınıfta olan öğelerin ya da benzer öznitelik gösteren nesnelerin tek bir görüntü nesnesi olarak birleştirilmesi işlemini ifade etmektedir. Özellikle bir sınıfa ait farklı özelliklerin tek bir sınıfta toplanması aşamasında önemli bir algoritmadır [120]. Şekil 2.5'da bölge birleştirme algoritması örnek gösterimi verilmiştir. Burada siyah çizgiler sınırları, turuncu adayı, mavi ise su sınıfını temsil etmektedir. Birleştirme sonrası 3 farklı ada segmenti ve tek bir su segmenti oluşmuştur.

Sınıfa göre ilişkilendirme algoritması, belirli sınıflara ait görüntü nesnelerinin tamamen içinde kaldığı görüntü nesnelerini bularak bu nesneleri yeniden sınıflandırma işlemidir. Şekil 2.6'de örnek gösterim yer almaktadır [120]. Şekilde kırmızı olarak gösterilen kara sınıfı, mavi olan su sınıfının içinde kaldığı için, algoritma tarafından turuncu olan ada sınıfına atanmıştır. Bu algoritmaların uygulanması ile sınıfların iyileştirilmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde sınıflandırma



Şekil 2.5 Bölge birleştirme örneği

doğruluğu artmaktadır.



Şekil 2.6 Sınıfa göre ilişkilendirme örneği

Nesneye dayalı kural tabanlı sınıflandırma yönteminde, segmentasyon ve sınıflandırma adımlarının en ideal sırası ve parametreleri belirlendiğinde kurallar geliştirilerek otomatik sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntemin bir önemli avantajı da oluşturulan sınıflar bazında kurallar geliştirilerek sadece istenilen sınıflar üzerinden işlemlerin gerçekleştirilebilmesidir. Bu durum sınıf karışıklığının minimize edilmesi ve sınıflandırmanın iyileştirilmesi olarak kabul edilmektedir [48]. Kural tabanlı sınıflandırma yönteminin en önemli avantajı ise bir bölgeye ait farklı görüntülerin avantajlarını tek tek yada füzyon ile kullanarak çalışma alanı için otomatik kural seti geliştirilmesidir. Bu çalışma alanı tüm diğer bölgeler için aynı

veriler üzerinde çalışıldığında otomatik çıkarım sağlar. Güncelleme veya ek veriler bu sisteme eklendiğinde ise geliştirilen stratejiye uyumlu parametre değişiklikleri ile sınıflandırma işlemi çok kısa sürede revize edilebilir. Sınıflandırma işlemi tamamlandıktan sonra vektör formatında sonuç sınıflar elde edilir. Böylece istenilen sınıflar bir sonraki aşamada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) analizleri için hazır hale gelmektedir.

2.3.2.2 Doğruluk Analizi

Geliştirilen kural seti sonucunda oluşturulan veya çıkarılan sınıfların doğruluk analizleri yapılmalıdır. Sınıflandırma doğruluğunun yanı sıra nesne çıkarımında sınıf sayısı arttığında ve özellikle bina çıkarımı söz konusu olduğunda çıkarılan nesnelerin doğruluğu, bütünlüğü ve kalitesinin de ayrıca hesaplanması önem arz etmektedir. Nesne çıkarımı için farklı doğruluk analiz yöntemleri mevcuttur. En yaygın kullanılan yöntemlerden biri, örnek alanların seçimi ve kappa analizi ile gerçekleştirilen doğruluk analizidir [121]. Doğruluk analizinin sağlıklı sonuç verebilmesi için seçilen örnek alanların yeterli miktarda ve matematiksel sonuç verebilecek yeterlilikte olması gerekmektedir [118]. Hata matrisinin kullanımı doğruluk analizinde çok tercih edilen bir yöntemdir [121]. Hata matrisi parametrelerinin matematiksel ifadesi Eşitlik 2.4'de verilmiştir.

$$K = \frac{N * \sum_{x=1}^{r} x_{ii} - \sum_{x=1}^{r} (X_{i+} * X_{+1})}{N^2 - \sum_{x=1}^{r} (X_{i+} * X_{+1})} \tag{2.4}$$

Burada, K hata matrisini, r sınıf sayısını x_{ii} köşegen elemanlarını, x_{i+}, satır x_{+i} sütun elemanlarını N ise hata matrisi toplam piksel sayısını temsil eder.

Hata matrisinde doğruluk, genel doğruluk ve kappa sayısı ile tanımlanmaktadır. Genel doğruluk; her sınıfta doğru şekilde sınıflandırılmış piksel sayısının, hata matrisindeki toplam piksel sayısına oran şeklinde ifade edilmektedir. Kappa sayısı ise, sınıflandırılmış piksel sayısının, rastgele seçilerek sınıflandırılan piksel sayısı ile karşılaştırılmasından hesaplanmaktadır. Kappa sayısı 0 ile 1 aralığında değer almaktadır. Literatürde sınıflandırma doğruluğunun kabul edilebilir olduğu aralık kappa değerinin 0.75'ten yüksek olan değerlerdir. Bu durumda sınıflandırmanın performansının iyi olduğu yorumu yapılabilmektedir. Kappa sayısının 0.4 altında olması durumunda ise sınıflandırmanın performansı yetersiz olarak kabul edilmektedir [121]. Kappa sayısının hesabı Eşitlik 2.5'de verilmiştir. GD, genel doğruluk; RD rastgele doğruluğu ifade etmektedir. Doğruluk analizi bu iki parametrenin değerlendirilmesi ile yapılır. Hata matrisi, bir sınıflandırmada belirli bir kategoriye atanan örneklem birimlerinin sayısını, başka bir sınıflandırmada belirli bir kategoriye atanan örneklem birimlerinin sayısına göre ifade eden, satırlar ve sütunlar

halinde düzenlenmiş bir kare matristir [121]. Test and Train Area (TTA), manuel olarak seçilerek veya TTA maskesi adı verilen bir yöntemle belirlenir. Böylece hata matrisi, kappa ve genel doğruluk hesaplanır.

$$Kappa = (GD - RD)/(1 - RD) \tag{2.5}$$

2.3.3 Kıyısal Kırılganlık İndeksi

Kıyısal kırılganlığı değerlendirmek amacıyla geçmişten günümüze basit yapıdan kompleks uygulamalara birçok farklı yöntem (Brunn kuralı, CVAT, COSMO DINAS-COAST, FUND Modeli, IPCC genel yöntemi, KKİ, SimClim, SMP, SURVAS, AHP bazlı kıyısal kırılganlık analizi) geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en yaygın kullanılan ise KKİ olarak literatürde yer almaktadır [2]. KKİ Gornitz vd. 1991 tarafından geliştirilen, kıyılardaki kırılganlığı belirlemekte kullanılan bir yöntemdir. Kıyısal kırılganlık indeksi yöntemi fiziksel ve sosyo-ekonomik parametreleri kullanarak kıyısal alanın kırılganlığı tespit eder. KKİ kıyısal alanların yönetiminde kullanılan önemli bir araç olup, kıyısal alanların kırılganlığının karşılaştırılmasında ve değerlendirilmesinde kullanılır.

Gornitz vd. (1991) çalışmasında kırılganlığı belirlemek için sadece yedi fiziksel parametre kullanmıştır. Bunlar; yükseklik, jeoloji, jeomorfoloji, kıyı değişimi, maksimum dalga boyu, gelgit aralığı ve yerel çökme eğilimidir. İlgili çalışmada, Eşitlik 2.6'da verilen indeks ile kıyısal kırılganlık tespit edilmiştir.

$$KKI = \sqrt{\frac{a * b * c * d * e * f}{n}} \tag{2.6}$$

Burada a, b, c, d, e, f kriterleri temsil ederken, n kriter sayısını temsil etmektedir. İlerleyen çalışmalar incelendiğinde Eşitlik 2.6'nın mevcut kriterlere yeni kriterler eklenmesi veya çıkarılması ile değiştirildiği görülmüştür.

KKİ ya da revizyon uygulamalar ile elde edilen kıyısal kırılganlık değerleri, birbiriyle karşılaştırmaların yapılabilmesi açısından normalize edilmektedir. Normalizasyon için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri ise minimaks normalizasyon yöntemidir [70, 91]. Kıyısal kırılganlık değerleri bu yöntem ile 0 - 1 ya da 0 - 100 gibi aralıklar kullanılarak normalize edilmektedir. Bu çalışmada 0 - 1 aralığı tercih edilmiştir. Normalizasyon sonucunda; 0 - 0.20 değerleri arası çok düşük kırılganlık, 0.21 - 0.40 değerleri arası düşük kırılganlık, 0.41 - 0.60 değerleri arası orta kırılganlık, 0.61 - 0.80 değerleri arası yüksek kırılganlık ve 0.81 - 1.00 değerleri arası çok yüksek kırılganlık şeklinde tanımlanmaktadır (Tablo 2.19).

Tablo 2.19 Kıyısal kırılganlık değerleri ve açıklaması

Kıyısal Kırılganlık Açıklaması	Kıyısal Kırılganlık Değeri
Çok Düşük Kırılganlık	0.00 - 0.20
Düşük Kırılganlık	0.21 - 0.40
Orta Kırılganlık	0.41 - 0.60
Yüksek Kırılganlık	0.61 - 0.80
Çok Yüksek Kırılganlık	0.81 - 1.00

3
KARAR DESTEK SİSTEMLERİ

Kıyısal kırılganlık analizinde, kriter artırımı ile farklı bir sisteme ihtiyaç zorunluluğu doğmuştur. Bu sebeple KKİ dışında ilk olarak KDS'nden AHP yöntemi kullanılmaya başlanmıştır (Tablo 1.1). AHP yönteminin KKİ'ye göre en önemli avantajı ise fiziksel, çevresel ve sosyo-ekonomik kriterlerin, uygun bir şekilde ağırlıklandırılabilmesidir. Örneğin; sadece erozyon ya da su seviyesinin iklim değişikliğine bağlı yükselmesinin önem derecesi nüfus yoğunluğu kriteri ile karşılaştırıldığında daha yüksektir. Bu durum KDS dışında herhangi bir basit sistem kullanıldığında doğru ifade edilemediği için analiz sonuçları yanlış yada hatalı olarak elde edilmektedir. Bu ağırlıklandırma sonucunda daha doğru bir kıyısal kırılganlık değeri elde edilmektedir [122]. Son yıllarda KDS'ndeki gelişmelerden dolayı AHP yöntemi yerine İngilizce terminolojide "Best Worst Method (BWM)" olarak ifade edilen Türkçe'de ise "En İyi En Kötü Yöntemi (EİEKY)" tercih edilmeye başlanmıştır. EİEKY karar vericiye ikili karşılaştırma sırasında sağladığı kolaylıklardan dolayı kullanılmaya başlanmıştır [58]. Bu yöntemde kriterlerin fazla olması her ne kadar kompleks bir yapı olarak gözükse de karar verici tarafından değerlendirmede avantaj sağlamaktadır. Literatürde [14, 25, 27] özellikle kıyısal kırılganlık çıkarımında kriterlerin fazla olması sonuç doğruluğunu olumlu yönde etkilediği savunulmaktadır.

Karar verme, bir dizi alternatif arasından bir alternatifi seçmenin bilişsel süreci olarak tanımlanabilir. KDS, bir karar verme problemi karşısında, karar vericiye destek olmak amacıyla geliştirilen, elde edilmiş verilerden, gözlemlerden, deneyimlerden ve çeşitli model ve yöntemlerden yararlanılarak, bu problemleri tanımlamaya, çözmeye ve problem hakkında karar vermeye olanak sağlayan sistemlerdir. Çok kriterli karar verme ise, belirlenmiş bir dizi kriteri göz önünde bulundurarak, karar vericinin bir dizi alternatif arasından en iyi alternatifi seçmesidir.

Çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanmaktaki amaç, en iyi alternatifin belirlenen kriterler yardımı ile seçiminin sağlanmasıdır. Skorlar, var olan veri kaynaklarından, ölçümlerden ve uzman görüşleri gibi çeşitli araçlardan yararlanılarak belirlenir.

Mekânsal verilerin ve CBS kullanıldığı KDS mekânsal karar destek sistemleri (MKDS) olarak adlandırılır. MKDS coğrafi bilgi biliminde önemli bir yer kaplamaktadır [123]. Çok kriterli MKDS, MKDS'nin bir alt dalı olup CBS ile çok kriterli karar almayı (ÇKKA) birleştiren sistemlerdir [124]. Bu iki konsepti birleştirmedeki temel amaç CBS imkanlarından karar verme ve planlamada daha fazla yararlanılabilmesidir [125]. Mekânsal karar vermede kullanılan belli başlı yöntemler beş kategoride verilebilir. Bunlar aşağıda verildiği gibi sıralanmaktadır.

- Ağırlıklı doğrusal kombinasyon yöntemleri
- İdeal nokta yöntemleri
- Sıralama Yöntemleri
- Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi
- En iyi En Kötü Yöntemi (Best - Worst Method)

Bu yöntemlerden, ilk üç yöntem genel bir yaklaşım ile verilirken uygulamada kullanılan AHP ve EİEKY daha detaylı bir şekilde verilmiştir.

3.1 Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon Yöntemleri

Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon (ADK) MKDS'de yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Temelinde bir katman bindirme yöntemidir. Mekânsal analiz içinde bazı değer yargılarını ve uzman görüşlerini daha derinlemesine ele almayı amaçlar [125]. ADK yaklaşımı harita katmanlarına, sahip oldukları görece önemlerine göre ağırlık atanmasını içerir. Malczewski (1999)'da tanımlanan işlem adımları altı adımda verilebilir [123]. Bu adımlar;

1. Değerlendirme kriterlerinin ve uygun alternatiflerin seçimi,
2. Her bir kriterin harita katmanının standartlaştırılması,
3. Kriter ağırlıklarının tanımlanması ve bu ağırlıkların kriter haritalarına atanması,
4. Kriter haritaları ile ağırlıkları çarparak ağırlıklı standartlaştırılmış harita katmanlarının oluşturulması,
5. Belirlenmiş olan her bir alternatif için genel puanın katmanları bindirerek hesaplanması,

6. Alternatiflerin genel performans puanına göre sıralanması ve en yüksek puana sahip olan alternatifin seçimidir.

ADK modeli ingilizce terminolojisinde “linearity and additively” diğer bir ifade ile "doğrusallık ve toplanabilirlik" varsayımlarına dayanmaktadır. Doğrusallık varsayımı, bir özniteliğin herhangi ek bir biriminin karar vermeyi etkileyen özelliğinin, o özniteliğin her bir düzeyinde sabit olduğu anlamına gelmesidir. Toplanabilirlik varsayımı ise, bir özniteliğin sıralamasının, diğer özniteliklerin sabit değerlerine bağlı olmaması durumudur [124]. Malczewski vd.’ne (2015) göre mekânsal karar vermede kullanılan başlıca ağırlıklı doğrusal kombinasyon yöntemleri; yakınlık bazlı ADK, yerel ADK ve sıralı ağırlıklı ortalama olarak verilebilir [124].

3.2 İdeal Nokta Yöntemleri

İdeal nokta yöntemleri, bir dizi alternatifi, belirlenen ideal noktadan sapmalarına göre sıralayan yöntemlerdir. İdeal nokta, beklenen sonucu veren bir alternatifi temsil eder. Alternatifler arasında ideal noktaya en yakın olan alternatif en iyi sonucu veren alternatiftir. Alternatifler arasındaki sıralama bir mesafe metriğine göre yapılır. En yaygın olarak kullanılan ideal nokta yöntemi TOPSIS modelidir [124]. İdeal nokta yöntemlerinin genel iş akışını Malczewski (1999)’a göre [123];

1. Uygun alternatiflerin seçimi,
2. Öznitelik harita katmanlarının standartlaştırılması,
3. Her bir özniteliğe atanacak ağırlıkların belirlenmesi,
4. Kriter haritaları ile ağırlıkları çarparak ağırlıklı standartlaştırılmış harita katmanlarını oluşturulması,
5. Her bir standartlaştırılmış harita katmanı için maksimum değerin tespiti ve ideal noktanın tespiti,
6. Her bir alternatif ve ideal nokta arasındaki mesafenin hesabı,
7. Her bir alternatif için ideal noktaya görece yakınlığın hesabı,
8. Alternatiflerin yakınlığa göre sıralanması, en yüksek yakınlık derecesine sahip alternatifin seçimi, şeklindedir.

3.3 Sıralama Yöntemleri

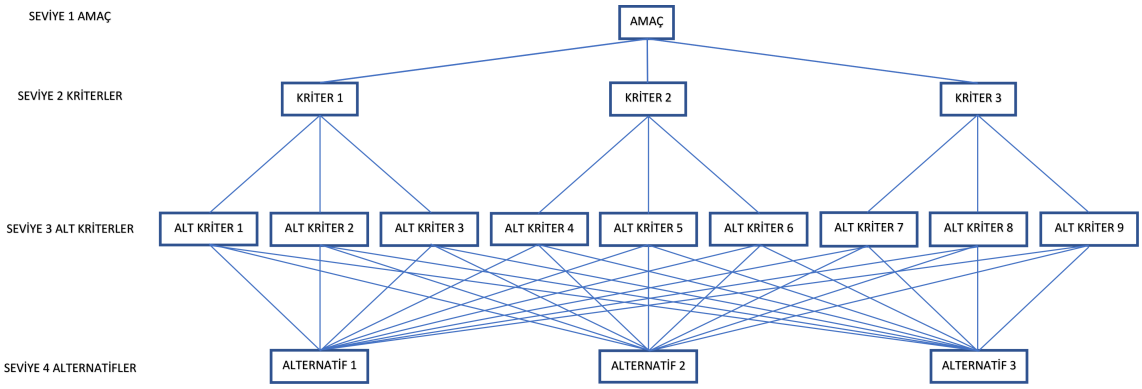
Sıralama yöntemleri her bir kriter için alternatiflerin ikili karşılaştırmasına dayanır. İkili karşılaştırma, kriter puanlarının ve ilişkili ağırlıkların, alternatifler arasındaki ikili ilişkileri ne ölçüde doğruladığını veya çeliştiğini belirlemeyi içerir. Karşılaştırma genel olarak uyum ve uyumsuzluk ölçütlerini kullanır [124]. İki alternatif karşılaştırıldığında, bu yöntemler sadece bir alternatifin diğer alternatifine göre tercih edildiğini gösterir, ancak bu tercihin ne kadar olduğuna dair bir metrik içermez. Karşılaştırmalar sonucunda uyum matrisi oluşturulur. En yaygın olarak kullanılan sıralama yöntemleri, ELECTRE (ELimination Et Choice Translating REality) ve PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations) yöntemleridir. Sıralama yöntemlerinin genel iş akışı altı adımda;

1. Uygun alternatiflerin seçimi,
2. Öznitelik harita katmanlarının standartlaştırılması,
3. Her bir özniteliğe atanacak ağırlıkların belirlenmesi,
4. Her bir alternatif çifti için uyum indekslerini içeren uyum matrisinin oluşturulması,
5. Uyum matrisinin satır toplamları ile her bir alternatif için genel puanın hesaplanması,
6. Alternatiflerin genel puana göre sıralanması ve en iyi alternatifin en yüksek puana göre seçilmesi, şeklindedir.

3.4 Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi

AHP yöntemi çok kriterli karar verme analizinin en çok kullanılan yöntemlerinden biridir. AHP yönteminde belirlenen bir problem doğrultusunda kurulan bir model, bu modelle belirlenen kriterler ve aralarındaki karşılaştırmalı yargılar ve en son olarak bu yargılar doğrultusunda önceliklerin sentezi bulunmaktadır. Karşılaştırmalı yargı için en sık kullanılan yöntem ikili karşılaştırma yöntemi ile matrislerin oluşturulmasıdır. İkili karşılaştırmanın yanında en iyi ve en kötü yönteminde olduğu gibi karşılaştırma sayısını aza indirmek amacıyla sadece iki vektör oluşturmayı içeren karşılaştırmalı yargı yöntemleri de bulunmaktadır.

AHP yöntemi Saaty tarafından 1980 yılında geliştirilmiştir. Çok kriterli karar vermede yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. AHP'ye konu olan problemin çözülebilmesi

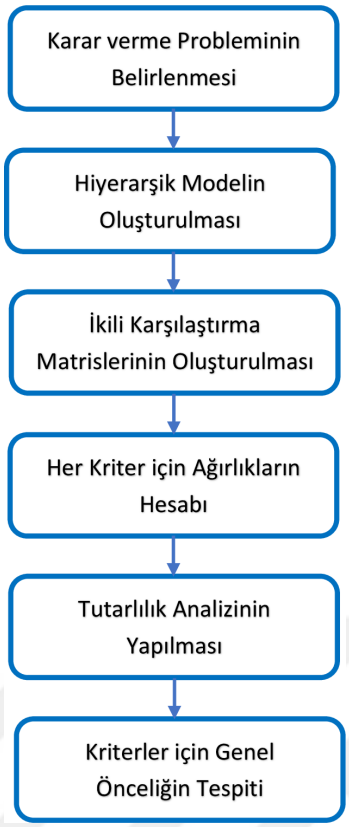


Şekil 3.1 AHP modeli örnek gösterim

için ilk önce modellenmesi gerekmektedir. Amaç, kriterler, alt kriterler ve alternatifler olmak üzere 4 seviyeden oluşan model Şekil 3.1'de verilmiştir.

Bu modelde problemin çözümünde üç temel ilkeye dikkat edilir. Bunlar; ayrıştırma, karşılaştırmalı yargı ve önceliklerin sentezidir [126]. Ayrıştırma ilkesi en üst seviye olan amaç düzeyinden aşağıya doğru ilerleyen, bir düzeydeki öğelerin sonraki düzeylerdeki öğelerden bağımsız olacak şekilde problemin modellenmesidir. İlk seviyedeki amaçtan, ikinci seviyedeki amaçla ilgili kriterlere, daha sonra da üçüncü seviyedeki alt kriterlere doğru, diğer bir ifade ile genelden özele doğru karar verme problemi modellenir. Karşılaştırmalı yargı ilkesi, bir üst düzeydeki ortak bir kriter ya da özelliğe göre belirli bir düzeydeki öğelerin göreceli öneminin ikili karşılaştırmalarının oluşturulmasıdır. Son olarak da önceliklerin sentezi ilkesi gelir. AHP'de önceliklerin sentezi ilkesi, yerel önceliklerin bir üst düzeyde bulunan ilgili kriterin ağırlığı ile çarpılması ve o düzeydeki her bir eleman için etkilediği kriterlere göre eklenmesiyle ikinci seviyeden aşağıya doğru sentezlenmesidir. Bu sentezleme ile o öğenin genel ya da bileşik önceliği belirlenir. AHP yönteminde problemin belirlenmesi, hiyerarşik modelin oluşturulması, ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması, ağırlıkların hesabı, tutarlılık analizi ve kriterler için genel önceliğin tespiti aşamalarından oluşan 6 işlem adımı Şekil 3.2'de verilmiştir.

Karar verme probleminin belirlenmesi aşaması her karar verme sürecinde olduğu gibi ilk aşama, çözülmek istenen problem, ulaşılmak istenen hedef, kullanılacak kriterler ve alternatiflerin belirlenmesi aşamasıdır. İkinci aşama ise hiyerarşik modelin oluşturulması aşamasıdır. İlk aşama ile amacın, alternatiflerin ve kriterlerin belirlenmesinden sonra bunları içeren hiyerarşik model oluşturulur. Bu oluşturulan modelde amaç en üst seviyede olur. İkinci seviyede kriterler, üçüncü seviyede alt kriterler ve en alt seviyede de alternatifler olur. Üç seviye ile sınırlı kalma zorunluluğu yoktur. Karmaşık bir problem karşısında alt kriterlerin de alt kriterleri kullanılabilir. Hiyerarşik model oluşturulduktan sonra kriterler arası yapılan ikili karşılaştırmalar ile



Şekil 3.2 AHP yönteminin iş akışı

ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Örnek ikili karşılaştırma matrisi Tablo 3.1'de verilmiştir. Her bir kriter birbiriyle karşılaştırılarak birbirlerine göre öncelik dereceleri öznel olarak belirlenir. AHP'de ikili karşılaştırmalarda kullanılan öncelik ölçeği Tablo 3.2'de verilmiştir. Kriterler birbirine göre değerlendirildikten sonra ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Bu matrisler köşegeni 1 olan kare matrislerdir.

Tablo 3.1 İkili karşılaştırma matrisi örneği

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	Kriter 4	Kriter 5	Ağırlık
Kriter 1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	w_1
Kriter 2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	w_1
Kriter 3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}	w_1
Kriter 4	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}	a_{45}	w_1
Kriter 5	a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	a_{55}	w_1

Her bir kriter için ağırlıkların hesaplanması aşamasında ise matrisler belirlendikten sonra önceliklerin sentezi yapılır. İlk olarak her bir sütunun toplamı hesaplanır. İkinci olarak her bir değer hesaplanan sütun toplamına bölünür ve böylece normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Oluşturulan bu ikinci matriste her bir sütunun toplamı bir olmalıdır. Son olarak her bir satırdaki değerlerin aritmetik ortalaması alınarak ağırlıklar hesaplanır. Bir sonraki aşama ise her bir ikili karşılaştırma matrisi için tutarlılık analizinin yapılmasıdır. Karar vericinin yargılarında tutarlı olup olmadığını

Tablo 3.2 Önem ölçeği ve açıklamaları [127]

Önem	Tanım
1	Eşit Derece Önemli
3	Biraz Daha Fazla Önemli
5	Oldukça Önemli
7	Çok Daha Önemli
9	Kesinlikle Daha Önemli
2, 4, 6, 8	Ara Değerler

ölçmek amacıyla, her bir matris için tutarlılık oranının hesaplanması gerekir. Bu oranın 0.10'dan küçük olması beklenir [47]. Bu oranın 0.10'dan küçük olması durumunda ikili karşılaştırmadaki yargılar tutarlıdır, büyük ise yargılar tutarsızdır ve AHP için kullanılamaz, iyileştirilmesi ya da üçüncü adımın tekrar yapılması gerekmektedir. Tutarlılık oranının hesaplanabilmesi için öncelikle ikili karşılaştırma matrisinin (A) en büyük özvektörü (a_{max}) hesaplanmalıdır [127]. Hesaplamada kullanılan Eşitlik 3.1'de verilmiştir.

$$D = [a_{ij}]_{nxn} * [w_i]_{nx1} = [d_i]_{nxi} \tag{3.1}$$

$$a_{max} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{w_i}}{n} \tag{3.2}$$

Burada, a_{ij} matris elemanlarını, w_i ağırlıkları ifade etmektedir.

Tutarlılık oranının hesaplanabilmesi için son olarak rastgele indeks (RI) değerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu değer kullanılan kriter sayısına göre değişiklik göstermektedir. Kriterlere göre RI değerleri Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3 Kriter sayısına göre rastgele indeks değerleri [127]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

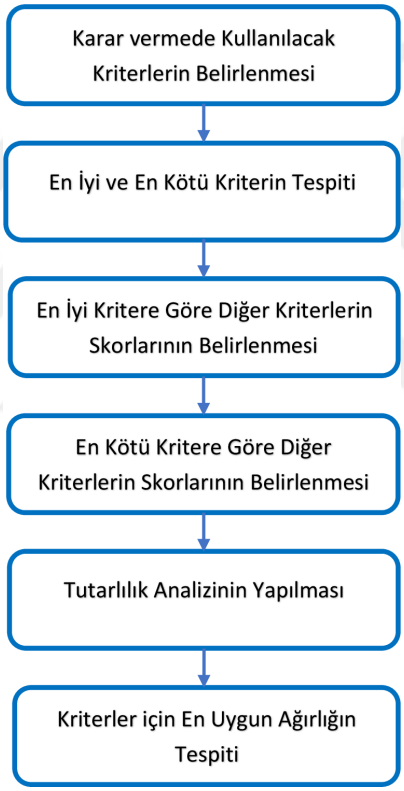
Mevcut kriter sayısına göre seçilen Rastgele index değeri ile Eşitlik 3.3 kullanılarak tutarlılık oranı hesaplanır.

$$TO = \frac{a - n}{(n-1) * RI} \tag{3.3}$$

Son aşamada ise her bir kriter için genel önceliğin belirlenmesi gerçekleştirilir. Her bir kriter için önceliklerin sentezi ilkesinden yararlanılarak, yukarıdan aşağıya hesaplanan ağırlıklar kullanılır ve her bir kriterin genel önceliği hesaplanır. Bu hesaplama, her bir alt kriterin belirlenen önceliğinin bir üst seviyede bulunan kriterin ağırlığı ile çarpımı şeklinde yapılır. Böylece her bir kriter için genel öncelikler belirlenir.

3.5 En İyi En Kötü Yöntemi (Best Worst Method)

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan EİEKY, AHP yöntemi gibi ikili karşılaştırmayı kullanan bir yöntemdir. İkili karşılaştırma sırasında kriterler arasındaki önem derecelerine göre skor belirlenirken çeşitli ölçeklerden yararlanılır. Yararlanılan bazı ölçeklere örnek olarak; 1 ile 100 arası sayılardan oluşan, 0.1 ile 1 arası sayılardan oluşan ve 1 ile 9 arası sayılardan oluşan ölçekler verilebilir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı 1'den 9'a kadar sayılardan oluşan Likert ölçeğidir. Bu ölçek Tablo 3.2'de verilmiştir. EİEKY'nin genel işlem adımları, kriterlerin belirlenmesi, en iyi ile en kötü kriterin tespiti, en iyi kritere göre diğer kriterlerin skorlarının belirlenmesi, en kötü kritere göre diğer kriterlerin skorlarının belirlenmesi, tutarlılık analizi, ve en uygun ağırlığın tespiti şeklinde altı aşamada verilebilir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 En iyi en kötü yönteminin iş akışı

Bu yöntemin ilk aşaması karar vermede kullanılacak kriterlerin belirlenmesidir. Bu adımda, karar verici karar vermenin yapılabilmesi için gerekli kriterleri belirler. Örneğin; kıyısal alanlarla ilgili bir yönetim çalışması yapılacaksa kriter olarak, kıyı alanlarındaki zamansal değişim, eğim, yükseklik, kıyının tipi gibi kriterler belirlenebilir. Belirlenen kriterler, karar vericinin öznel yorumuna bağlı olduğu için, karar verme problemi aynı olmasına rağmen, kriterler problemden probleme değişiklik gösterebilir. İkinci aşamada karar verici sadece en iyi ve en kötü olan kriterleri belirler ve bu adımda herhangi bir karşılaştırmaya yer verilmez. Üçüncü aşamada en iyi kritere

göre Likert ölçeğinde diğer kriterlerin skorlarının tespiti gerçekleştirilir. Bu adımda, seçilmiş olan en iyi kritere göre karar verici diğer kriterlere skor tayin eder. Böylelikle en iyiden diğer kriterlere doğru kriter vektörü oluşturulur: $A_b = (a_{B1}, a_{B2}, \cdots, a_{Bn})$. Burada, j = 1:n, a en iyi kriter B'nin j'inci kritere göre skorunu belirtir. Dördüncü aşamada, en kötü kritere göre Likert ölçeğinde diğer kriterlerin skorlarının tespiti gerçekleştirilir. Bu adımda, karar verici, seçilmiş olan en kötü kritere göre diğer kriterlere skor tayin eder. En kötüden diğer kriterlere vektörü oluşturulur: $A_w = (a_{1W}, a_{2W}, \cdots, a_{nW})^T$. Burada, j = 1:n, a_{jW} j kriterinin en kötü kriter olan W kriterine göre skorunu ifade eder. Son aşamada ise tutarlılık analizi ve en uygun ağırlıkların saptanması işlemi gerçekleştirilir. Kriterler için en uygun ağırlıklar, $\frac{W_B}{W_j}$ ve $\frac{W_j}{W_W}$ çifti için $\frac{W_B}{W_j} = a_{Bj}$ ve $\frac{W_j}{W_W} = a_{jW}$ koşulunu sağlayan değerlerdir. Bu koşulların her bir kriter için sağlanması istenir. Bu koşulları sağlamak için de her bir kriter için $|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}|\,|\frac{W_j}{W_W} - a_{jW}|$ eşitlik setinde en yüksek mutlak farklarının en düşük değeri hesaplanmalıdır. En uygun olan değerlerin hesaplanmasında Eşitlik 3.4'de formülize edilmiş olan minimax optimizasyon modelinden yararlanılır.

$$minmax_j(|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}|, |\frac{W_j}{W_W} - a_{jW}|) \tag{3.4}$$

Burada, her j için $\sum_j w_j = 1$ ve $W_j >= 0$ olmalıdır. Bu model Eşitlik 3.5'da yeniden yazılırsa:

$$min\xi$$

$$|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}| <= \xi$$

$$|\frac{W_j}{W_W} - a_{jW}| <= \xi \tag{3.5}$$

$$\sum_j w_j = 1 \; ve \; W_j >= 0$$

Bu model çözülerek en uygun kriter ağırlıkları $(W_1, W_2, \cdots, W_n)$ elde edilir.

EİEKY'nde TO hesaplamasında ise, her bir j kriteri için $a_{Bj} * a_{jW} = a_{BW}$ koşulu sağlanıyorsa karşılaştırma tutarlı olarak değerlendirilir. Burada a_{Bj}, en iyi kritere göre j kriterinin skoru, a_{jW}, en kötü kritere göre j kriterinin skoru, a_{BW} ise en iyi kritere göre en kötü kriterin skorunu göstermektedir. Tam tutarlılıkla ilgili öncül bir değer olamadığından dolayı robust bir indeks olan TO ile bu değer hesaplanabilir:

$$TO = \frac{\xi}{TI} \tag{3.6}$$

Tutarlılık indeksi Tablo 3.4'ten alınmaktadır. Tutarlılık oranı 0 ile 1 arasında değer almaktadır. TO ne kadar düşük ise karşılaştırma o kadar tutarlıdır, yani sonuçlar daha güvenilirdir. Tutarlılık üst sınırı Tablo 3.5'e göre belirlenir.

Tablo 3.4 Tutarlılık indeksi

a_{BW}	2	3	4	5	6	7	8	9
$TI(max\xi)$	0.44	1.00	1.63	2.30	3.00	3.73	4.47	5.23

Tablo 3.5 Tutarlılık oranı üst sınırı

Kriter Sayısı En İyi - En Kötü	3	4	5	6	7	8	9
3	0.2087	0.2087	0.2087	0.2087	0.2087	0.2087	0.2087
4	0.1581	0.2352	0.2738	0.2928	0.3102	0.3154	0.3273
5	0.2111	0.2848	0.3019	0.3309	0.3479	0.3611	0.3741
6	0.2164	0.2922	0.3565	0.3924	0.4061	0.4168	0.4225
7	0.209	0.3313	0.3734	0.3931	0.4035	0.4108	0.4298
8	0.2267	0.3409	0.4029	0.423	0.4379	0.4543	0.4599
9	0.2122	0.3653	0.4055	0.4225	0.4445	0.4587	0.4747

Üç kriterden fazla kriter ve TO sıfırdan büyük olan durumlarda, Eşitlik 3.5'da verilmiş olan modelin birden fazla çözümü bulunmaktadır. Eşitlik 3.5 bulunmak istenen W_j kriter ağırlığının minimum ve maksimum değerleri için çözülerek kriter ağırlığının üst ve alt sınırı bulunur. Karar verici bu iki değer arasından en uygun değeri seçer, genellikle bu değer iki değerin toplamlarının ortalaması olarak seçilir. Bunun yanı sıra EİEKY doğrusal olarak da Eşitlik 3.7'de verilen modele göre çözülebilir.

$$min\xi^L$$

$$|W_B - a_{Bj} * W_j| <= \xi^L$$

$$|W_j - a_{jW} * W_W| <= \xi^L \tag{3.7}$$

$$w_j = 1$$

Eşitlik 3.7'da verilen model Eşitlik 3.5'deki modelin iyi bir doğrusal yaklaşımıdır. ξ^L karşılaştırmaların tutarlılığının iyi bir göstergesi olarak kabul edilir.

EİEKY, karşılaştırmaları yapısal bir şekilde yaptığı için, karar vermeyi daha kolay ve anlaşılır kılmaktadır. Ayrıca tutarlı karşılaştırmalar sağlar, dolayısıyla daha güvenilir

ağırlıklar elde edilir. Tersini düşün stratejisini benimsediği için karar vermede öznel yargıları azaltır. Ayrıca, EİEKY ile elde edilen ağırlıklar bir aralık olduğundan birden çok uzmanın dahil olduğu ağırlıklandırmalarda, ağırlıkların kesişimlerinden yararlanılarak daha tutarlı bir ağırlıklandırma yapmaya olanak sağlar.

4
KIYISAL KIRILGANLIĞIN TESPİTİ

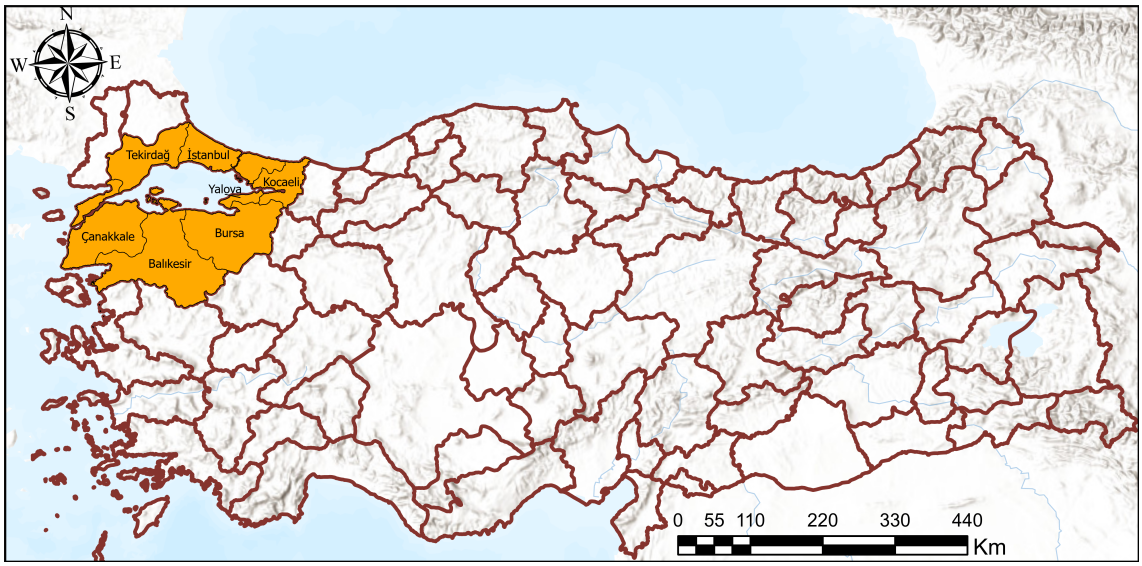
Kıyı alanları, insanların yerleşmeyi tercih ettiği bölgelerin başında gelmektedir. Sağladığı ekonomik ve sosyal yararlar bu alanları yerleşim için cazip kılmaktadır. Marmara Bölgesi, Türkiye'de en çok nüfusu barındıran bölgedir. Bu nüfusun büyük bir çoğunluğu kıyı alanlarında yaşamaktadır. Ayrıca, kıyı alanları birçok ekonomik, endüstriyel, sosyal ve turistik faaliyetlere ev sahipliği yapmaktadır. Çanakkale ve İstanbul Boğazı ile Karadeniz ve Ege Denizleri'ni birbirine bağladığı düşünüldüğünde yoğun bir deniz/gemi trafiğine sahiptir. Bu kadar yoğun faaliyetler içermesi Marmara Bölgesi'nin önemini artırmaktadır. Önemi göz önüne alındığında, olası bir afet karşısında gerekli önlemlerin alınabilmesi, mevcut kıyısal alanların korunabilmesi ve yönetilebilmesi için, bu çalışma kapsamında Marmara Denizi kıyılarında kıyısal kırılganlık analizi yapılmıştır.

4.1 Çalışma Alanı

Bu çalışmada, Marmara Denizi kıyıları kıyısal kırılganlık tespiti için test alanı olarak seçilmiştir. Marmara Denizi'nde 7 şehrin kıyısı; Tekirdağ, Çanakkale, Balıkesir, Bursa, Yalova, Kocaeli ve İstanbul illeri mevcuttur. Marmara Denizi kıyılarının uzunluğu boğazlarla birlikte yaklaşık olarak 1070 km'dir. Marmara Bölgesi TÜİK verilerine göre Türkiye'deki en çok nüfusu barındıran bölgedir. Ayrıca en çok nüfusa sahip İstanbul'u da içermektedir. Çalışma alanındaki illerin nüfusları ve bu illerin Marmara Denizi'ne olan kıyılarının yaklaşık uzunlukları Tablo 4.1'de verilmiştir. Çalışma alanı Şekil 4.1'de verilmiştir.

4.2 Kullanılan Veriler ve Teknik Özellikleri

Marmara Bölgesi'nde kıyı kırılganlığının tespit edilmesi için öncelikle kıyısal kırılganlığı etkileyen kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler, literatür araştırması ile tespit edilen kıyısal kırılganlık katsayılarına göre normalize edilmiş ve birden çok veri seti kullanılarak kıyısal kırılganlık analizi yapılmıştır. İlk olarak, zamansal



Şekil 4.1 Çalışma alanı

değişim analizi için 30 metre mekânsal çözünürlüğe sahip Landsat Collection-2 Level-2 görüntüleri kullanılmıştır. Bu görüntüler 1985 yılı ve 2021 yılından elde edilmiştir. 1985 yılında Landsat-5 uydu görüntüleri, 2021 yılında ise Landsat-8 ve Landsat-9 uydu görüntüleri değişim analizindeki olası hata miktarını minimuma indirmek için kullanılmıştır. Kullanılan görüntülerdeki bulut oranı %10'un altında seçilerek, sınıflandırma doğruluk sonuçlarına olan olumsuz etkisi azaltılmıştır. Ayrıca, bantların seçiminde; her üç uyduda da olan ya da spektral çözünürlüğü birbirine yakın olan bantlardan seçim yapılmasına dikkat edilmiştir. Uyduların özellikleri ve kullanılan uydu görüntüsü sayısı Tablo 4.2'de verilmiştir. Sınıflandırmada kullanılan bant bilgileri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.1 İllerin kıyı uzunlukları ve nüfusları

İl	Kıyı Uzunluğu (km)	Nüfus (TÜİK 2021)
Tekirdağ	135	1113400
Çanakkale	220	557276
Balıkesir	175	1250610
Bursa	135	3147818
Yalova	105	291001
İstanbul	180	15840900
Kocaeli	120	2033441

Kıyısal kırılganlığın tespit edilmesinde; fiziksel, sosyal, çevresel ve ekonomik açıdan kullanılan kriterler Tablo 4.4'te genel olarak verilmiştir. Bu çalışmada çevresel faktörler, fiziksel faktörlerin içerisinde bir alt kapsam olarak ele alınmıştır. Bu kriterlerin içerikleri detaylı bir şekilde Bölüm 2'de verilmiştir. Bu çalışmada, ArcGIS programı ve Python programlama dili kullanılmıştır.

Tablo 4.2 Değişim analizinde kullanılan uydular ve özellikleri

Uydular	Uydu Görüntüsü Sayısı	Algılama Yılı	Mekânsal Çözünürlük (m)	Radyometrik Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük
Landsat-5	7	1985	30	16bit	16 Gün
Landsat-8	5	2021	30	16bit	16 Gün
Landsat-9	2	2021	30	16bit	16 Gün

Tablo 4.3 Sınıflandırmada kullanılan bantlar

		Landsat-5		Landsat-8		Landsat-9	
Bant Adı	Çözü-nürlük	Bant No	Spektral Aralık (µm)	Bant No	Spektral Aralık (µm)	Bant No	Spektral Aralık (µm)
MAVİ	30	1	0.45-0.52	2	0.45-0.51	2	0.45-0.51
YEŞİL	30	2	0.52-0.60	3	0.53-0.59	3	0.53-0.59
KIRMIZI	30	3	0.63-0.69	4	0.64-0.67	4	0.64-0.67
YAKIN KIZIL ÖTESİ	30	4	0.76-0.90	5	0.85-0.88	5	0.85-0.88
SWIR1	30	5	1.55-1.75	6	1.57-1.65	6	1.57-1.65
SWIR2	30	7	2.08-2.35	7	2.11-2.29	7	2.11-2.29

4.3 Yöntem

4.3.1 Değişim Analizi

Kıyısal kırılganlık analizinde, kıyı çizgisinin zamansal değişimi kırılganlığın tespitinde önemli bir kriterdir. Bu amaçla, Landsat-5 ve Landsat-8/9 uydu görüntülerinden yararlanılarak, 1985 yılı ve 2021 yılı verileri kullanılarak, kıyı çizgileri kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile tespit edilmiştir. Değişim analizinin işlem adımları Şekil 4.2'de verilmiştir. Değişim analizinde ilk olarak, çalışma alanını kapsayan Landsat-5 ve Landsat-8/9 uydu görüntüleri, Landsat 4-7 Collection 2 Level 2 Science Product Guide ve Landsat 8/9 Collection-2 Level-2 "Science Product Guide" da belirtilen parametreler doğrultusunda normalize edilmiştir. Bu işlemden sonra görüntüler çoklu çözünürlüklü segmentasyon algoritmasından yararlanılarak segmentlere ayrılmıştır. Segmentasyon parametreleri parametre analizi ile tespit edilmiştir. Kullanılan parametreler Tablo 4.5'de verilmiştir.

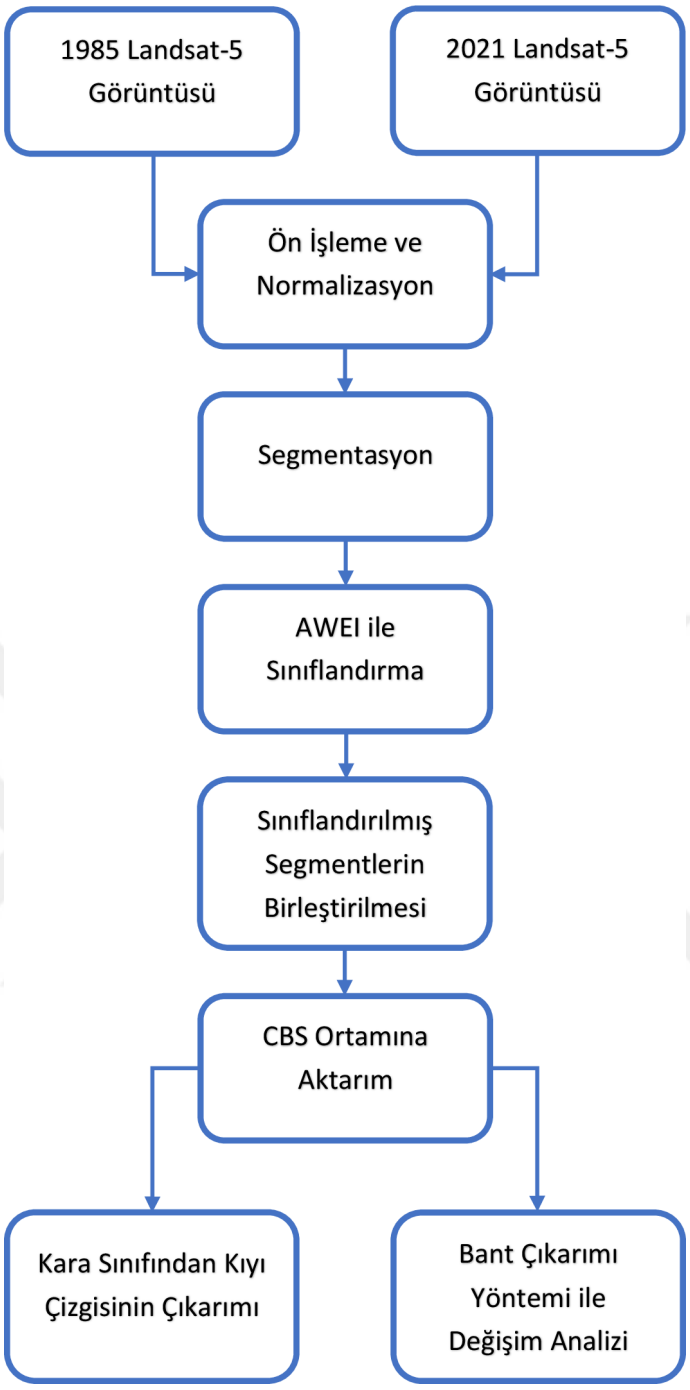
Üçüncü adımda, oluşturulan segmentler AWEI kullanılarak sınıflandırılmıştır. Literatürde yaygın olarak tercih edilen [128–130] bu indeks yüzey sularının ayrılması için kullanılmıştır. AWEI iki denklemden oluşmaktadır. Sınıflandırma aşamasında bu

Tablo 4.4 Kullanılan kriterler

	Kriter	Yıl	Veri Kaynağı	Veri Ölçeği
Sosyal Kriterler	Nüfus yoğunluğu	2021	TÜİK	İlçe bazında
	Yaşlı Nüfus Oranı	2021	TÜİK	İlçe bazında
	Çocuk Nüfus Oranı	2021	TÜİK	İlçe bazında
	Hastane Sayısı	2019	TÜİK	İl Bazında
	Bin Kişiye Düşen Hekim Sayısı	2019	TÜİK	İl Bazında
	Engelli Nüfus Oranı	2011	TÜİK	İl Bazında
	Yollara Uzaklık	2022	OpenStreetMap	Marmara Bölgesi
	Arazi Kullanımı	2018	Corine Land Cover	100 metre
Fiziksel Kriterler	Eğim	2013	SRTM-DEM	30 metre
	Yükseklik	2013	SRTM-DEM	∼30 metre
	Deniz Seviyesi Değişimi	2022	Erdek, Yalova, Marmara Ereğlisi Mareograf İstasyonları	15'dk'da bir alım
	Kıyı Tipi	2022	ArcGIS Imagery, Google Earth	Sayısal-laştırma
	Zamansal Değişim	1985-2021	Landsat-5-8	30 metre
	Kıyıya Uzaklık	2021	Landsat-9	30 metre
	Nehirlere Uzaklık	2022	ArcGIS Imagery, Google Earth	Sayısal-laştırma

Tablo 4.5 Segmentasyonda kullanılan parametreler

Parametre	Değer
Görüntü Bant Ağırlıkları	
Mavi	0.25
Yeşil	0.25
Kırmızı	0.25
Yakın Kızılötesi	0.75
SWIR1	0.50
SWIR2	0.50
Ölçek	40
Şekil/Renk	0.3
Bütünlük	0.5



Şekil 4.2 Değişim analizinin iş akışı

iki denklem (Eşitlik 4.1 ve 4.2) ve bunların farkı Eşitlik 4.3 kullanılmıştır.

$$AWEI_{nsh} = 4 * (Band2 - Band5) - 0.25 * Band4 + 2.75 * Band7 \quad (4.1)$$

$$AWEI_{sh} = Band1 + 2.5 * Band2 - 1.5 * (Band4 + Band5) - 0.35 * Band7 \quad (4.2)$$

$$AWEI_{diff} = AWEI_{nsh} - AWEI_{sh} \quad (4.3)$$

4.3.2 Nesne Tabanlı Sınıflandırma ile Sınıfların Çıkarımı

Nesneye dayalı kural tabanlı sınıflandırma ile sınıfların belirlenmesi işleminde, kara, su, göl ve ada olmak üzere dört hedef sınıf tanımlanmıştır. Bu dört sınıf geliştirilen kural setine göre otomatik olarak 1985 ve 2021 yılları için uygulanmıştır (Tablo 4.6). Tablo 4.6'da kural no 1'de "hatalı piksel" diye adlandırılan sınıf; uydu görüntülerinin koordinatlandırılması sonucunda oluşan dönüklüklerden dolayı, görüntülerde oluşan boşluklardaki pikselleri ifade etmektedir.

Sınıflandırma sırasında ilk olarak, görüntü çoklu çözünürlüklü segmentasyon algoritması ile segmentlere ayrılmıştır. Bir sonraki adımda, belirlenen sınıflar AWEI indeksi yardımı ile eşik değer analizi ile tespit edilmiştir. Aynı sınıfa ait segmentler birleştirildikten sonra .shp uzantılı dosya ile CBS ortamına aktarılmıştır. Son adımda ise kara sınıfına ait vektör verileri kullanılarak kıyı şeridi çıkarılmıştır. Vektör verisi olan sınıf dosyaları raster veriye dönüştürülmüş ve iki görüntünün birbirinden çıkarılmasıyla kıyı bölgelerindeki değişim belirlenmiştir. Sınıflandırmanın doğruluğu, TTA Mask yöntemine dayalı hata matrisi ve kappa sayısı ile analiz edilmiştir [121]. Her bir uydu görüntüsü için elde edilen doğruluk değerleri Tablo 4.7'de verilmiştir. Her bir uydu görüntüsü için hata matrisleri Ek-A'da verilmiştir.

Değişim analizi ve sınıflandırma sonucunda kıyıların yıllık değişimleri metre ölçeğinde son nokta oranı yöntemine (End point rate) göre belirlenmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan bu yöntemde [70, 131, 132] ilk olarak, kıyı çizgileri arasındaki değişim oranını belirlemek için deniz ya da kara alanı hedef alınarak bir anahat çizilir. Şekil 4.3'de bu anahat kırmızı ile gösterilmiş ve deniz alanı temel alınarak çizilmiştir. Çizilen bu ana hattan değişimi belirlenmek istenen kıyı çizgileri yönünde dik kesitler indirilir. Bu indirilen dik boyların uzunlukları, değişimi belirlenecek iki çizgiyi de kesecek şekilde olmalıdır. Şekilde turuncu ile gösterilen diklerin çizgilerle kesişim yerlerine noktalar atılır. Atılan bu noktalar sarı ile gösterilmiş olup, aynı dik çizgi

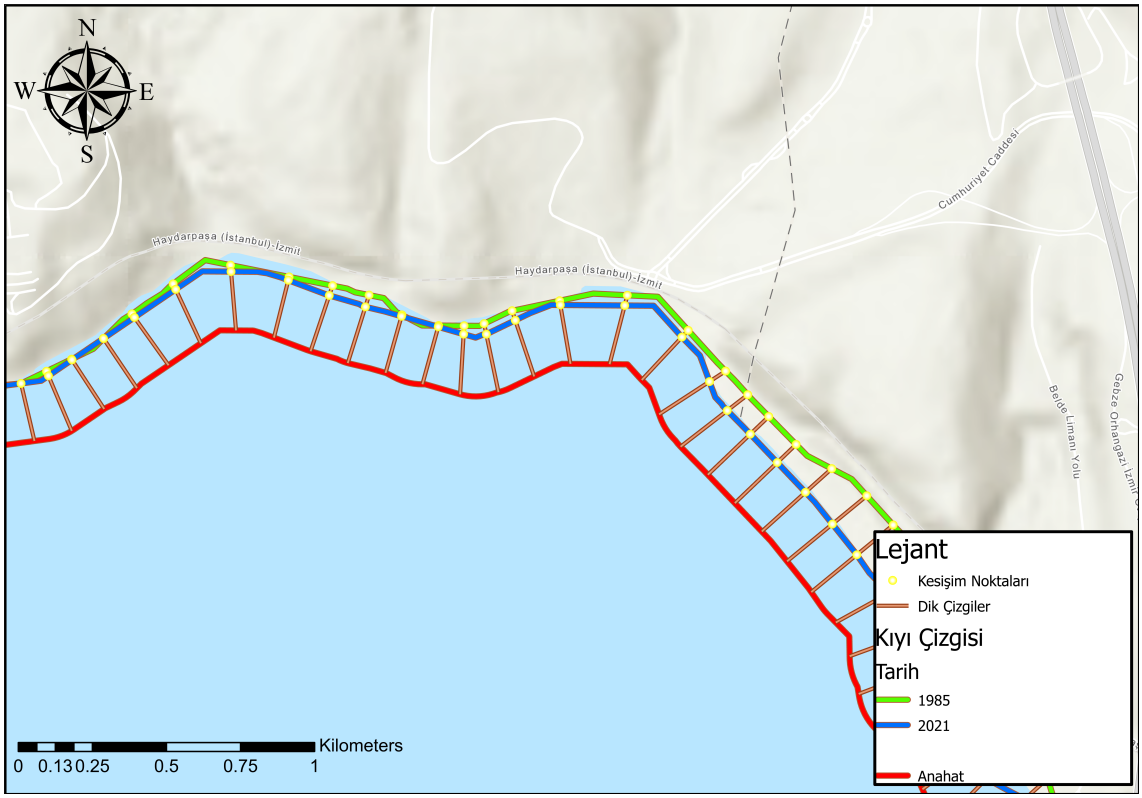
Tablo 4.6 Kural seti

No	Kullanılan Veri	Sayısal Görüntü İşleme	Segmentasyon	Sınıflandırma	Oluşan Sınıf
1	Uydu Görüntü	-	Çoklu Çözünürlüklü Segmentasyon	NIR = 0	HATALI-PIKSEL, SINIFLANDIRILMAMIŞ_1
2	SINIFLANDIRILMAMIŞ_1	-	-	AWEInsh <-0.19	KARA_1, SINIFLANDIRIl-MAMIŞ_2
3	SINIFLANDIRILMAMIŞ_2	-	-	Sınıflandırılmamış Pikseller	SU_1
4	KARA_1, SU_1	Sınıfla çevrilmiş olanı bul	-	Çevreleyen: SU_1, Çevrelenen: KARA_1	ADA_1, KARA_2
5	SU_1, KARA_2	Sınıfla çevrilmiş olanı bul	-	Çevreleyen: KARA_2, Çevrelenen: SU_1	GÖL_1, SU_2
6	ADA_1	Birleştirme	-	-	ADA_2
7	ADA_2	-	-	0.1>AWEIsh>-0.1	ADA_3, SU_3
8	GÖL_1, SU_3	Sınıfla çevrilmiş olanı bul	-	Çevreleyen: GÖL_1, Çevrelenen: SU_3	GÖL_2, SU_4
9	GÖL_2	Birleştirme	-	-	GÖL_3
10	GÖL_3,	-	-	Suya Uzaklık>150pxl GölAlan<=500pxl	GÖL_4, SU_5, KARA_3
11	ADA_3,	-	-	AWEIsh >-0.25	ADA,SU_6
12	GÖL_4, SU_6	Sınıfla çevrilmiş olanı bul	-	Çevreleyen: SU_6, Çevrelenen: GÖL_4	GÖL_5, SU_7
13	GÖL_5,	-	-	AWEInsh <-0.04	GÖL, KARA_4
14	KARA_4	Birleştirme	-	-	KARA
15	SU_7	Birleştirme	-	-	SU
16	KARA,SU, ADA,GÖL	Vektör halde dışa aktar	-	-	-

Tablo 4.7 Doğruluk değerleri

Uydu Görüntüleri	Genel Doğruluk	Kappa Sayısı
1985-1	0.924	0.829
1985-2	0.901	0.827
1985-3	0.947	0.886
1985-4	0.916	0.822
2021-1	0.907	0.800
2021-2	0.931	0.853
2021-4	0.891	0.759
2021-4	0.904	0.815

üzerinde bulunan kesişim noktaları arasındaki mesafe ile kıyının zamansal değişimi tespit edilir.



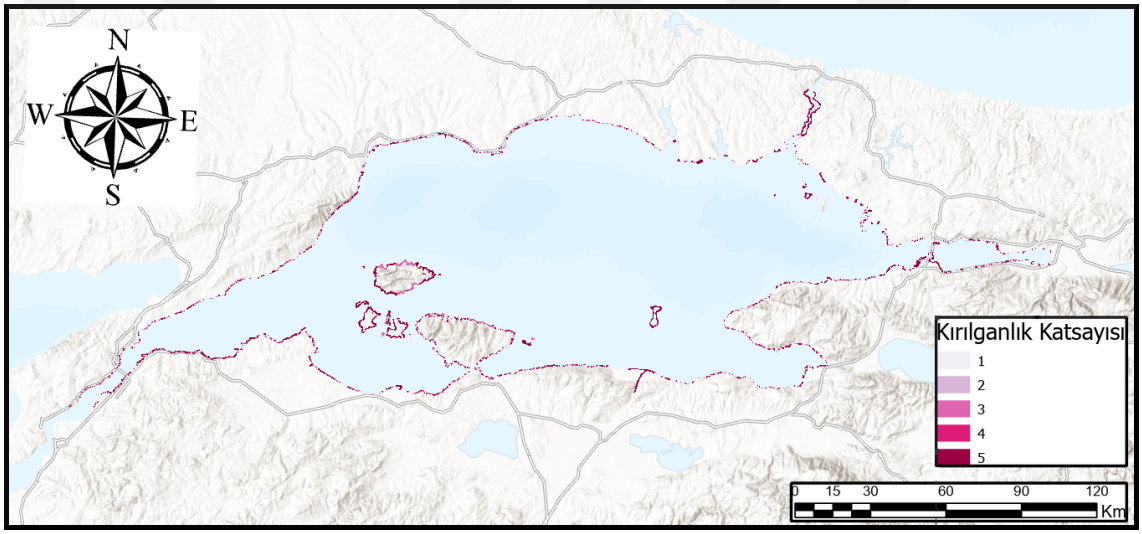
Şekil 4.3 Son nokta oranı yönteminin uygulanması

4.3.3 Karar Destek Sistemleri ile Kıyısal Kırılganlığın Analizi

Kıyısal kırılganlık analizi için öncelikle kriterlerin normalizasyonu gerekmektedir. Normalize edilen kriterler ilk olarak KKİ yöntemi ile kıyısal kırılganlık tespitinde kullanılmıştır. İkinci olarak, AHP yöntemi ile kırılganlık analizi ve son olarak da EİEKY ile kırılganlık tespit edilmiş ve yöntemler karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. AHP ve EİEKY yöntemlerinde normalize edilmiş kriterler sosyo-ekonomik kriterler ve

fiziksel kriterler olmak üzere iki farklı başlık altında toplanmıştır. Kıyısal kırılganlık analizi için bu kriterlerin kendi içinde ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Fiziksel 7 adet kriter ve sosyo-ekonomik 8 adet kriter literatür çalışması sonucunda belirlenerek kendi içinde ağırlıklandırılmıştır. Belirlenen ağırlıklara göre kriterler birleştirilerek, sosyo-ekonomik ve fiziksel kırılganlık olmak üzere iki farklı kırılganlık tespit edilmiştir. Son olarak bu iki farklı kırılganlık birleştirilerek sonuç kırılganlık tespit edilmiştir.

Değişim analizi ile tespit edilen kıyının zamana bağlı değişimi kıyısal kırılganlık analizindeki ilk kriteri oluşturmaktadır. Elde edilen yıllık değişim değerleri, kırılganlık için önemli kriterlerden biri olan zamansal değişim kriterini oluşturmaktadır. Bu değerler Tablo 2.4'de verilen kırılganlık katsayılarına göre normalize edilmiştir (Şekil 4.4).

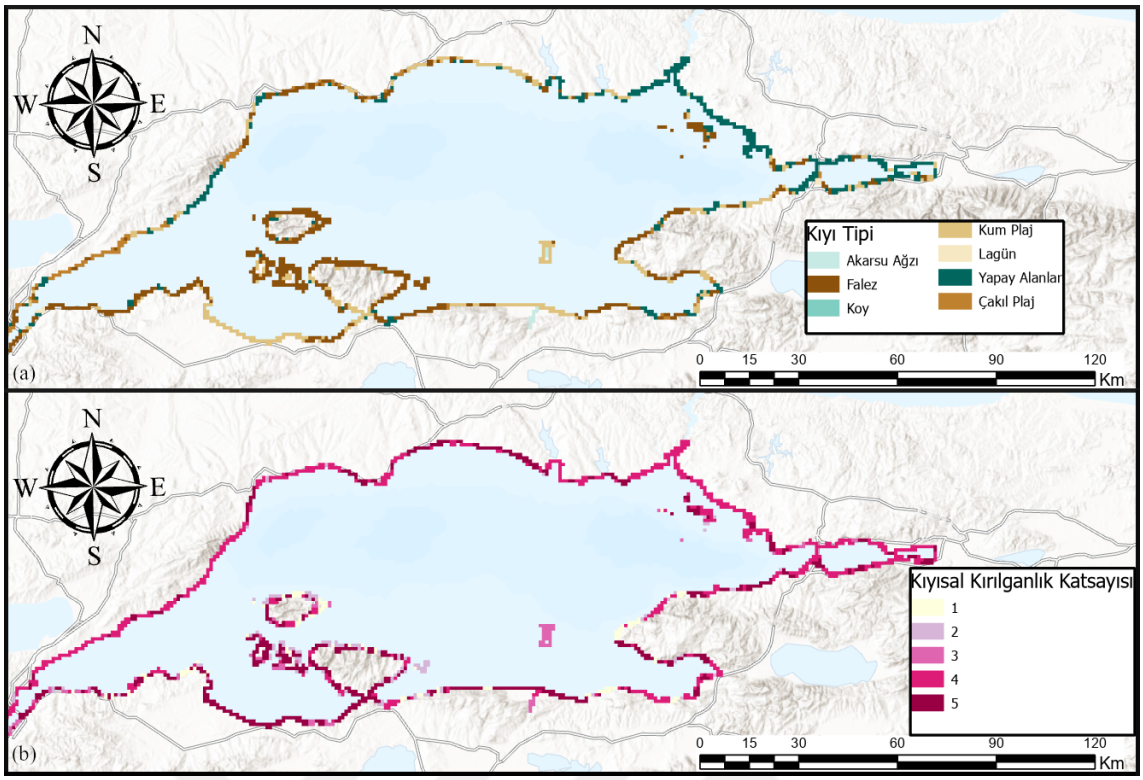


Şekil 4.4 Zamansal değişim kriterinin normalize hali

Kıyısal kırılganlık analizinde bir başka önemli kriter kıyıların jeomorfolojik tipleridir. Çalışma alanında kıyı tipleri, Google Earth ve Arcgis Imagery [133] mozaik uydu görüntüleri kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında tespit edilen, kıyı tiplerine karşılık gelen kırılganlık katsayıları Tablo 4.8'de verilmektedir.

Elde edilen kıyı tipleri 1 ile 5 değerleri arasında kıyısal kırılganlık katsayısına göre normalize edilerek, sınıflandırma sonucu elde edilen 2021 tarihli kıyı çizgisinin öznitelik tablosuna eklenmiştir. Bunun sonucunda elde edilen kırılganlık katsayılarını ifade eden kıyı çizgisi Şekil 4.5'de verilmiştir. Sayısallaştırılan kıyı tipleri ve normalize edilmiş halleri Şekil 4.5'de verilmektedir.

Yükseklik verisi olarak SRTM sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Yükseklik verileri, kırılganlık katsayılarına göre normalize edilmiştir. Literatür araştırması ile

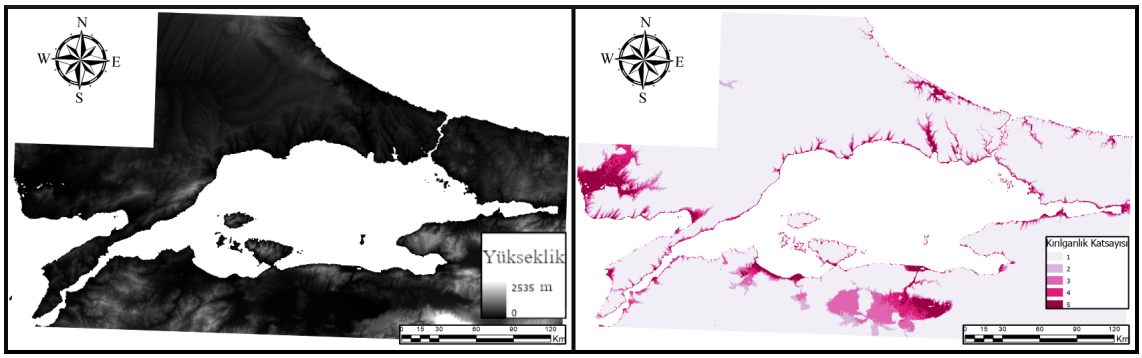


Şekil 4.5 Kıyı tipi kriterinin sayısallaştırılmış ve normalize hali

Tablo 4.8 Kıyı tipi için kırılganlık katsayıları

Kıyısal Kırılganlık Katsayısı	Kıyı Tipi
1	Yüksek Falez
2	Orta Yükseklikli Falez
3	Alçak Falez
4	Akarsu Ağzı Çakıl Plaj Yapay Yapılar
5	Değişken Kıyılar Delta Koy Kumsal Plaj Lagün Longoz

belirlenen, normalizasyon sırasında kullanılan kıyısal kırılganlık katsayıları Tablo 2.5'de verilmiştir. Kıyının yüksekliğe göre olan kırılganlığı Şekil 4.6'de verilmiştir.

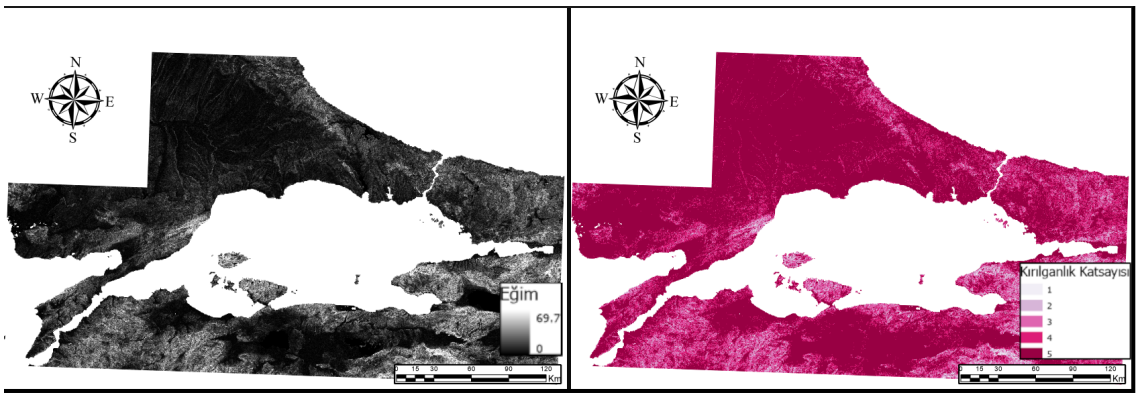


Şekil 4.6 Yükseklik kriteri ve normalize hali

Eğim verisi SRTM sayısal yükseklik modelinden türetilmiştir. Eğim verisinin oluşturulmasında kullanılan denklemler Eşitlik 4.4'de verilmiştir.

$$Egim = atan(\sqrt{\frac{dz}{dx}^2 + \frac{dz}{dy}^2}) * \frac{180}{pi} \tag{4.4}$$

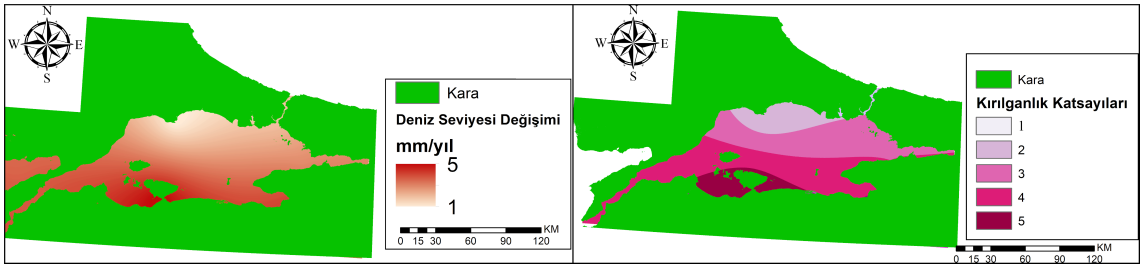
Literatür araştırması ile belirlenen Tablo 2.3'de verilen kırılganlık katsayılarına göre, 1 ve 5 değerleri arasında normalize edilmiştir. Normalize edilmiş eğim verisi kıyının eğim bazında kırılganlığını göstermektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Eğim kriteri ve normalize hali

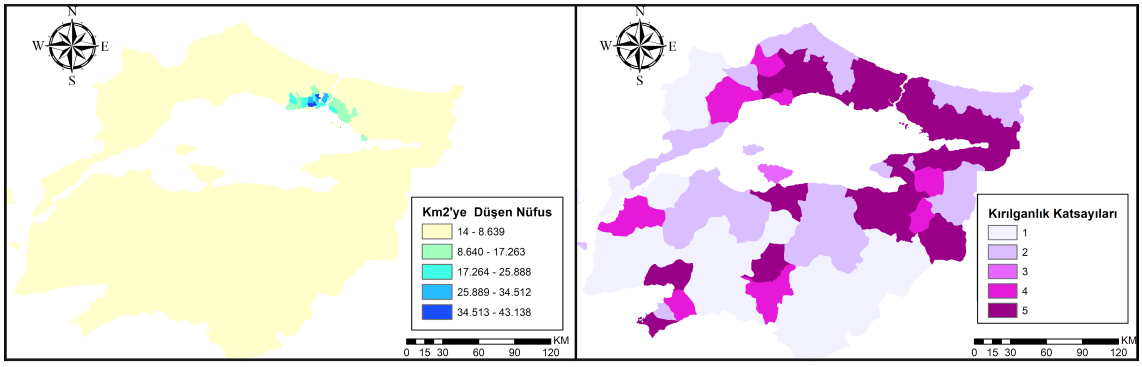
Yıllık deniz seviyesi değişimi Harita Genel Müdürlüğü (HGM) bünyesinde bulunan, Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemindeki (TUDES) deniz seviyesi verilerinden türetilmiştir. Son 3 yıllık veriler TUDES sisteminden elde edilerek, Lineer regresyon yöntemi ile yıllık deniz seviyesi yükselmeleri hesaplanmıştır. Marmara Ereğlisi istasyonunda yıllık 1 mm'den az değişim olurken, Yalova istasyonunda 3 mm, Erdek istasyonunda ise yıllık 5 mm'den fazla değişim olduğu tespit edilmiştir.

Tespit edilen bu yıllık değişimler ters mesafe ağırlıklandırma enterpolasyon yöntemi ile Marmara Denizi kıyıları için hesaplanmıştır. Enterpolasyon sonucu elde edilen sonuç görüntüsü Şekil 4.8'de verilmiştir. Sonuç görüntüsü Tablo 2.7'de verilen 1 ve 5 değerlerine göre normalize edilmiştir.



Şekil 4.8 Deniz seviyesi değişimi verisi ve normalize hali

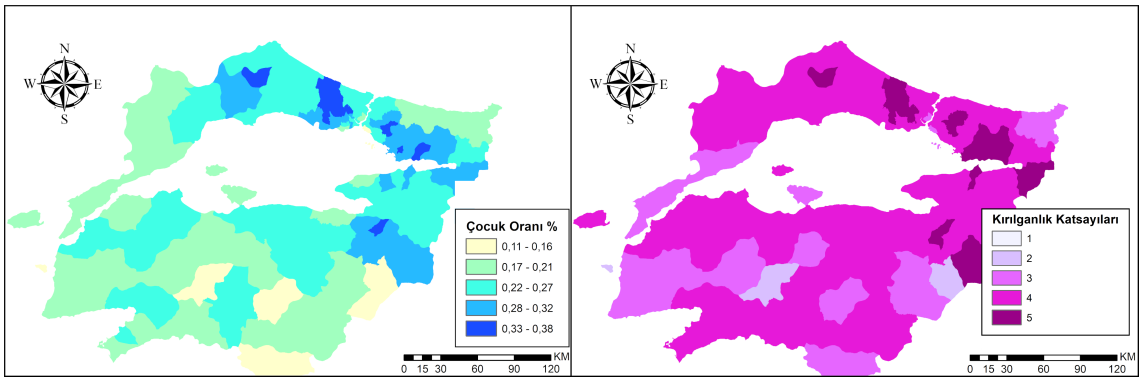
Nüfus yoğunluğu kilometrekareye düşen insan sayısı olarak ele alınmıştır. Nüfus yoğunluğu verileri, TÜİK'ten elde edilmiş olan nüfus verileri yardımıyla üretilmiştir. TÜİK'ten sağlanan verilerin mekansal bir altyapısı olmamasından dolayı, HGM tarafından ücretsiz olarak sağlanan il ve ilçe sınırlarını içeren mekansal veri ile ilçe bazında CBS ortamında birleştirilmiştir. Birleştirme sonucu oluşan verinin öznitelik tablosunda nüfus verileri de bulunmaktadır. Böylece nüfus yoğunluğu, nüfus verisinin, ilgili ilçenin yüzölçümüne bölünerek elde edilmiştir. Daha sonra bu veriler Tablo 2.14'de verilmiş olan kıyısal kırılganlık katsayıları baz alınarak 1 ile 5 değerleri arasında normalize edilmiştir. Nüfus yoğunluğunun kıyısal kırılganlığını ifade eden normalize görüntüsü ve nüfus yoğunluğu Şekil 4.9'de verilmiştir.



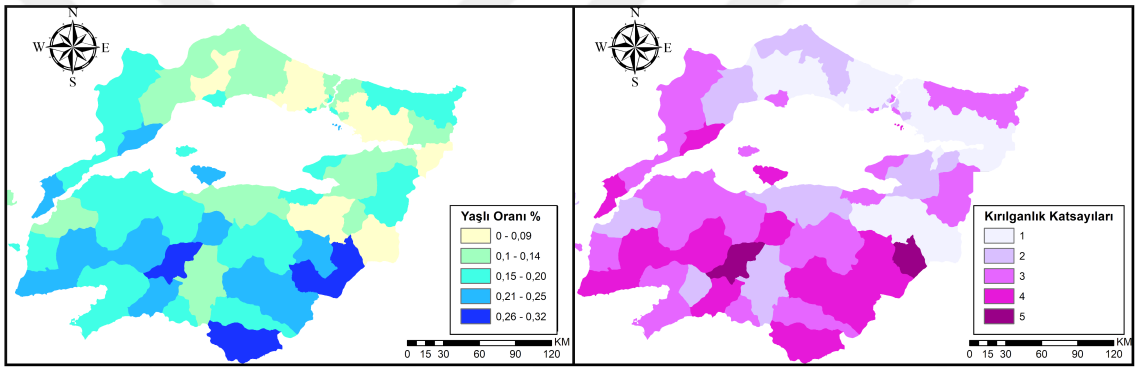
Şekil 4.9 Nüfus yoğunluğu verisi ve normalize hali

Çocuk ve yaşlı nüfus oranı verileri de TÜİK'ten sağlanmıştır. HGM tarafından ücretsiz olarak sağlanan ilçe sınırlarını içeren mekansal veri ile ilçe bazında CBS ortamında birleştirilmiştir. Veriler oran olarak sağlandığı için ek bir işlem yapılmasına gerek yoktur. Veriler önce raster veri formatına dönüştürülmüş daha sonra Tablo 2.15'te verilen kırılganlık katsayıları doğrultusunda normalize edilmiştir. Normalize edilmiş

çocuk ve yaşlı nüfusun kıyısal kırılganlığı, sırasıyla Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de verilmektedir.

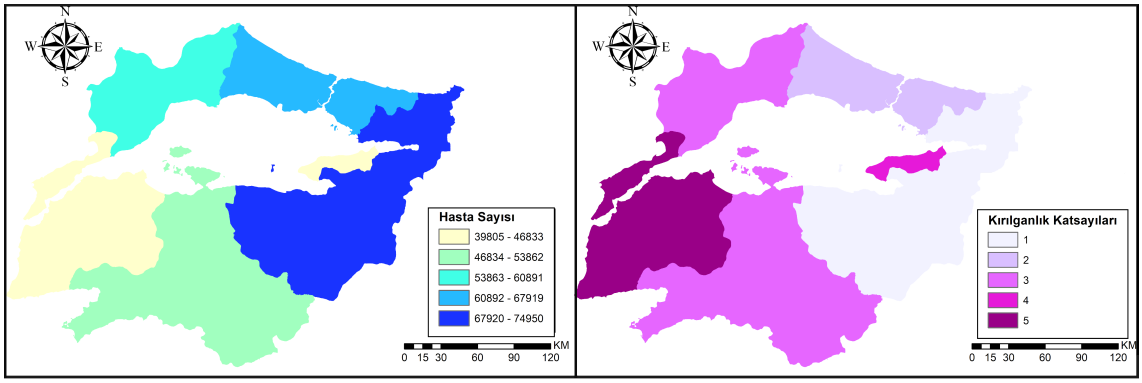


Şekil 4.10 Çocuk nüfus oranı verisi ve normalize hali

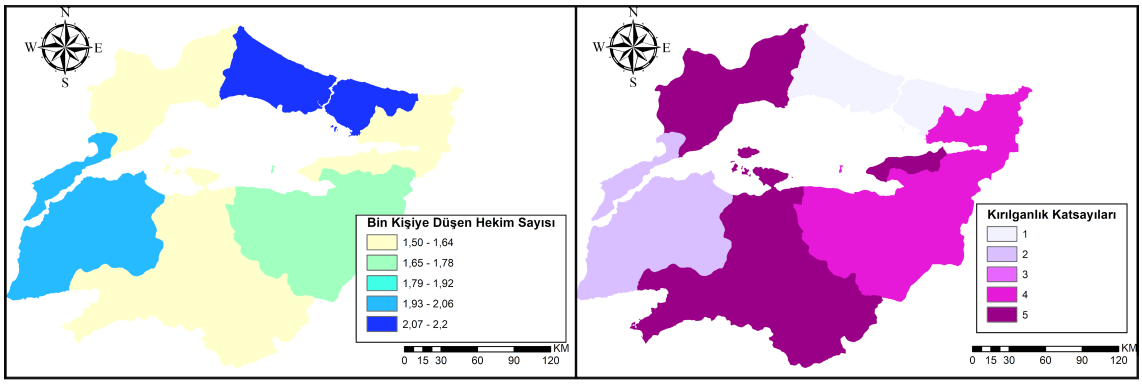


Şekil 4.11 Yaşlı nüfus oranı verisi ve normalize hali

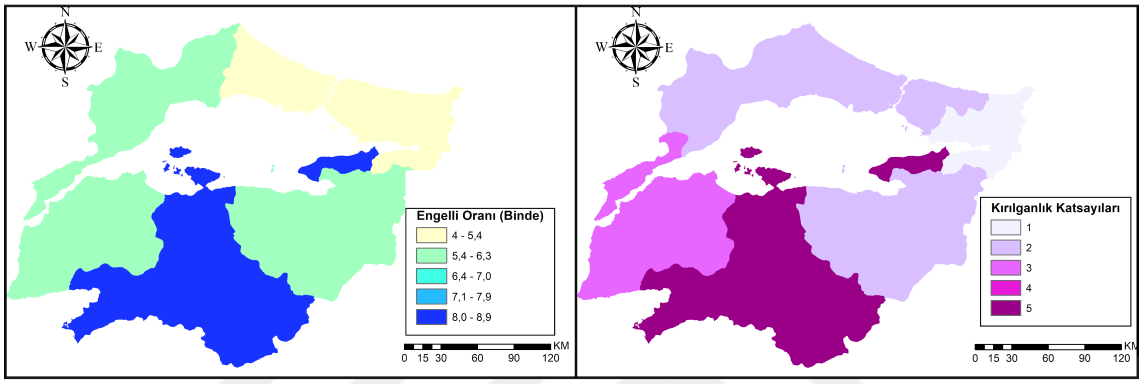
Hastane sayısı, bin kişiye düşen hekim sayısı ve engelli sayısı verileri il bazında TÜİK'ten elde edilmiştir. HGM'den sağlanan il sınırlarından üretilen poligon sınıfı ile CBS ortamında birleştirilerek il bazında haritalar oluşturulmuştur. Oluşturulan haritalar Tablo 2.16'ya göre normalize edilerek Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te sunulmuştur.



Şekil 4.12 Hastane verisi ve normalize hali



Şekil 4.13 Hekim verisi ve normalize hali



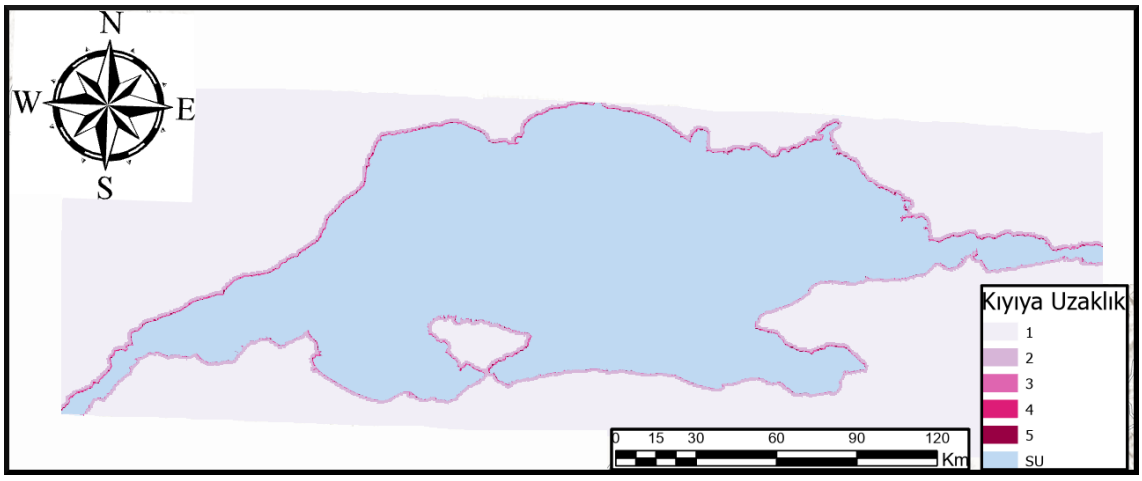
Şekil 4.14 Engelli verisi ve normalize hali

Kıyıya uzaklık kriteri, sınıflandırma ile tespit edilmiş olan 2021 yılına ait kıyı çizgisinden üretilmiştir. Kıyı çizgisine öklid mesafesi uygulanarak raster veri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu raster veri Tablo 2.9'daki değerlere göre normalize edilerek Şekil 4.15 elde edilmiştir. Nehire uzaklık da kıyıya uzaklık gibi, sayısallaştırma işlemi ile elde edilmiş olan nehirler için öklid mesafesi uygulanarak elde edilmiştir. Bu veriler tabloya göre normalize edilerek nehire uzaklığa bağlı kırılganlık Şekil 4.16 elde edilmiştir.

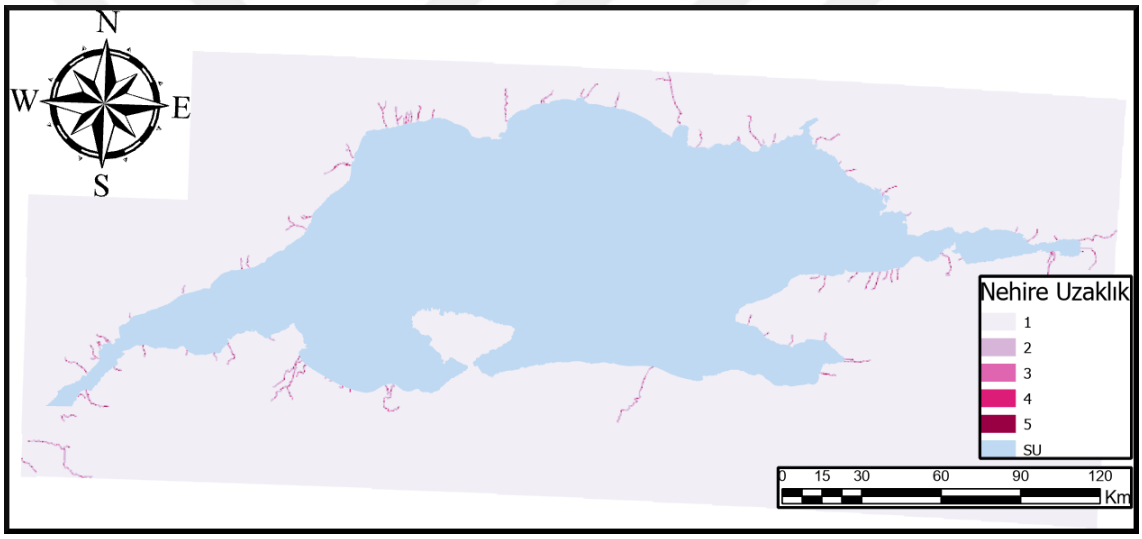
Yol verisi açık kaynak kodlu OpenStreetMap kullanılarak elde edilmiştir. Marmara Bölgesi'ne ait olan yol verileri, kıyıya olan uzaklıkları öklid mesafesi olarak tanımlanmış ve raster veri formatına dönüştürülmüştür (Şekil 4.17). Tablo 2.17'ye göre normalize edilen yol raster veri formatında verilmiştir.

Arazi kullanımı, 2018 yılına ait olan Corine land cover verisinden elde edilmiştir (Şekil 4.18). Arazi kullanımı Tablo 2.18'de bulunan kırılganlık katsayılarına göre normalize edildiğinde elde edilen veri Şekil 4.18'de verilmiştir.

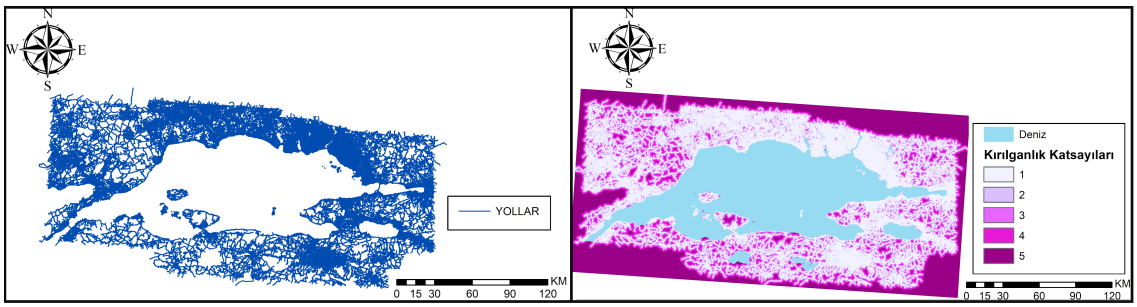
Kıyısal kırılganlığın tespitinde kriterlerin ön işlenmesi ve normalizasyon işlemleri tamamlandıktan sonra değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, KKİ, AHP ve EİEKY olmak üzere üç farklı değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak kıyısal



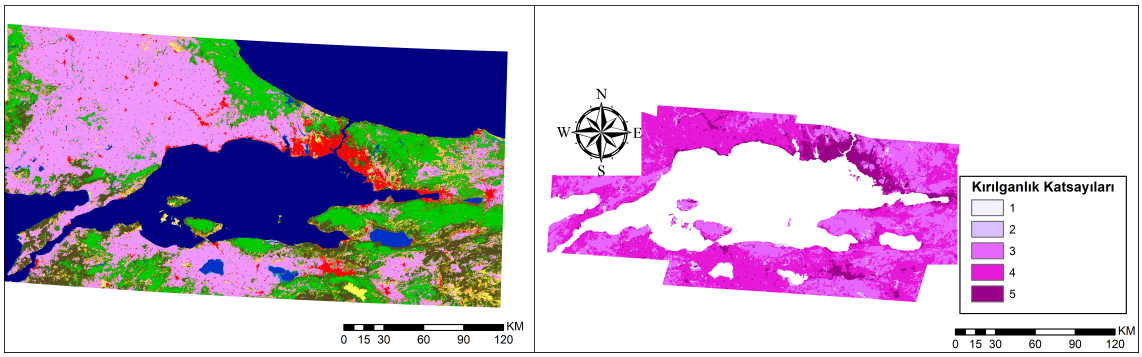
Şekil 4.15 Kıyıya uzaklık kriterinin normalize hali



Şekil 4.16 Nehire uzaklık kriterinin normalize hali



Şekil 4.17 Yol verisi ve normalize hali

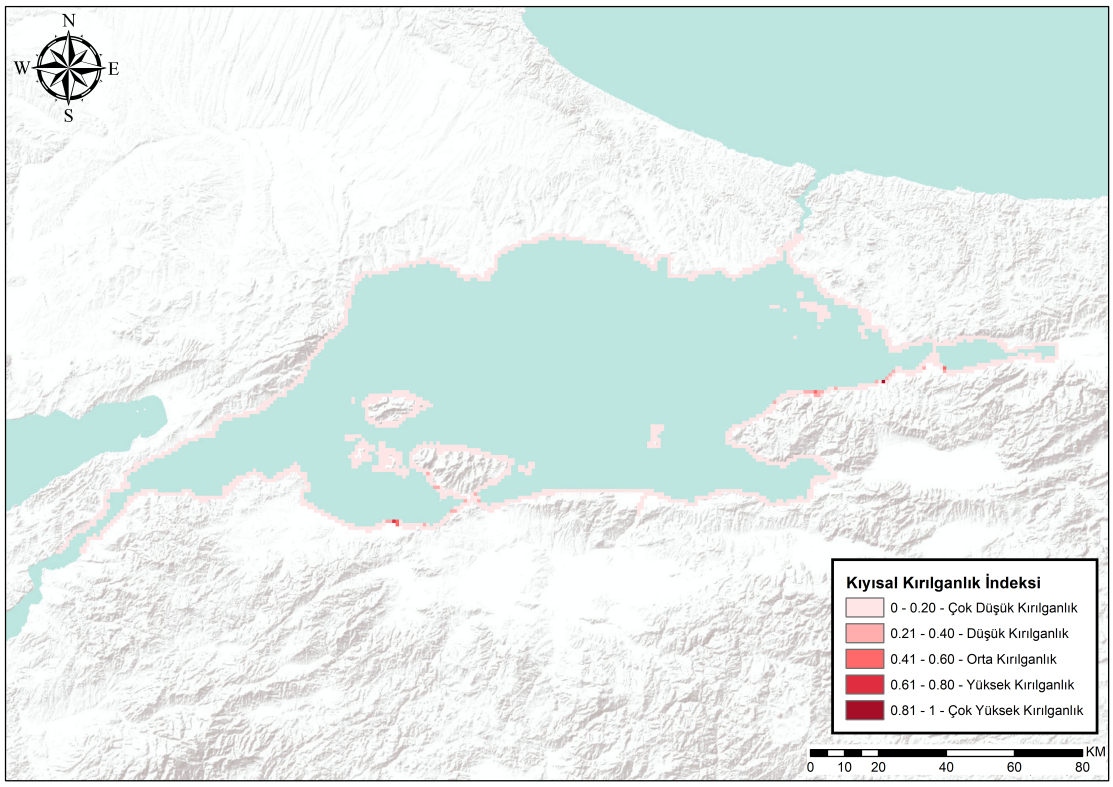


Şekil 4.18 Arazi verisi ve normalize hali

kırılganlık analizi, KKİ yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Kıyısal kırılganlık indeksinin 15 kriter için formülü eşitlik 4.5 verilmiştir.

$$KKI = \sqrt{\frac{a_1 * a_2 * a_3 * a_4 * a_5 * a_6 * a_7 * a_8 * a_9 * a_{10} * a_{11} * a_{12} * a_{13} * a_{14} * a_{15}}{15}} \quad (4.5)$$

Burada $a_1, a_2, a_3, ..., a_{15}$ kriterleri ifade etmektedir. KKİ'de herhangi bir ağırlıklandırma işlemi yapılmamaktadır, her kriter eşit ağırlığa sahiptir. Eşit ağırlıklı kriterler çarpılarak kriter sayısına bölünür ve karekökü alınarak hesaplanır. Oluşan sonuç görüntü Şekil 4.19'de verilmiştir.



Şekil 4.19 KKİ ile tespit edilen kıyısal kırılganlık

İkinci değerlendirme yöntemi olarak AHP yöntemi kullanılmıştır. AHP'de kriterlerin ağırlıklandırılması gerekmektedir. Fiziksel ve sosyo-ekonomik kriter grupları için bu ağırlıklandırma ayrı ayrı yapılmalıdır. Bunun için ilk olarak ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması gerekmektedir. İkili karşılaştırma matrisleri literatür araştırmalarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Fiziksel kriterler için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.9 verilmiştir. Fiziksel kriterler için normalize matris ve ağırlıklar Tablo 4.10'de verilmiştir. Aynı işlemlerin sosyo-ekonomik kriterler için de yapılması gerekmektedir. Sosyo-ekonomik kriterler için yapılan ikili karşılaştırma matrisi ise, Tablo 4.11'de; ağırlıklar ve normalize matris ise Tablo 4.12'de verilmiştir. Fiziksel ve sosyo-ekonomik kriterler için hesaplanan ağırlıklar tablo 4.13'de verilmiştir.

Tablo 4.9 AHP için ikili karşılaştırma tablosu

Kriter	Deniz Seviyesi Değişimi	Kıyının Zamansal Değişimi	Nehire Uzaklık	Kıyıya Uzaklık	Eğim	Yükseklik	Kıyı Tipi
Deniz Seviyesi Değişimi	1.00	2.00	7.00	5.00	3.00	3.00	2.00
Kıyının Zamansal Değişimi	0.50	1.00	5.00	4.00	3.00	4.00	1.00
Nehire Uzaklık	0.14	0.20	1.00	0.33	0.20	0.20	0.14
Kıyıya Uzaklık	0.20	0.25	3.00	1.00	0.33	0.33	0.20
Eğim	0.33	0.33	5.00	3.00	1.00	1.00	0.33
Yükseklik	0.33	0.25	5.00	3.00	1.00	1.00	0.50
Kıyı Tipi	5.00	1.00	7.00	5.00	3.00	2.00	1.00

KDS'de kullanılan yöntemlerin doğruluğu için tutarlılık analizleri gerçekleştirilmelidir. Kıyısal kırılganlığın tespitinde kullanılan her iki yöntem (AHP ve EİEKY) için de tutarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Tutarlılık analizleri her iki kriter grubu için Bölüm 3'de verilen yönteme göre ayrı olarak hesaplanmıştır. Tutarlılık analizleri sonucunda, fiziksel kriterlerin tutarlılığı 0.022, sosyo-ekonomik kriterlerin tutarlılığı 0.084 olarak elde edilmiştir. Her iki tutarlılık oranı da üst sınır olan 0.1 değerinden düşük olduğu için ikili karşılaştırmalar tutarlı kabul edilmiştir.

Kıyısal kırılganlığın tespitinde son aşama ise belirlenen ağırlıkların birleştirilmesidir. Literatür araştırması sonucunda fiziksel kriterlerin ağırlık oranı sosyo-ekonomik kriterlerin ağırlıkları oranı ile aynı alınmıştır [14, 24, 27]. Bu durum göz önüne alındığında; fiziksel kriterler birleştirilirken %50, sosyo-ekonomik kriterler de ise %50 oranında önem derecelerine göre hesaplanmıştır [24]. Birleştirme sonucu oluşan kıyısal kırılganlık değerleri Şekil 4.20'de verilmektedir.

Tablo 4.10 AHP için normalize matris tablosu

Kriter	Deniz Seviyesi Değişimi	Kıyının Zamansal Değişimi	Nehire Uzaklık	Kıyıya Uzaklık	Eğim	Yükseklik	Kıyı Tipi
Deniz Seviyesi Değişimi	0.13	0.40	0.21	0.23	0.26	0.26	0.39
Kıyının Zamansal Değişimi	0.07	0.20	0.15	0.19	0.26	0.35	0.19
Nehire Uzaklık	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03
Kıyıya Uzaklık	0.03	0.05	0.09	0.05	0.03	0.03	0.04
Eğim	0.04	0.07	0.15	0.14	0.09	0.09	0.06
Yükseklik	0.04	0.05	0.15	0.14	0.09	0.09	0.10
Kıyı Tipi	0.67	0.20	0.21	0.23	0.26	0.17	0.19

Tablo 4.11 AHP için ikili karşılaştırma tablosu

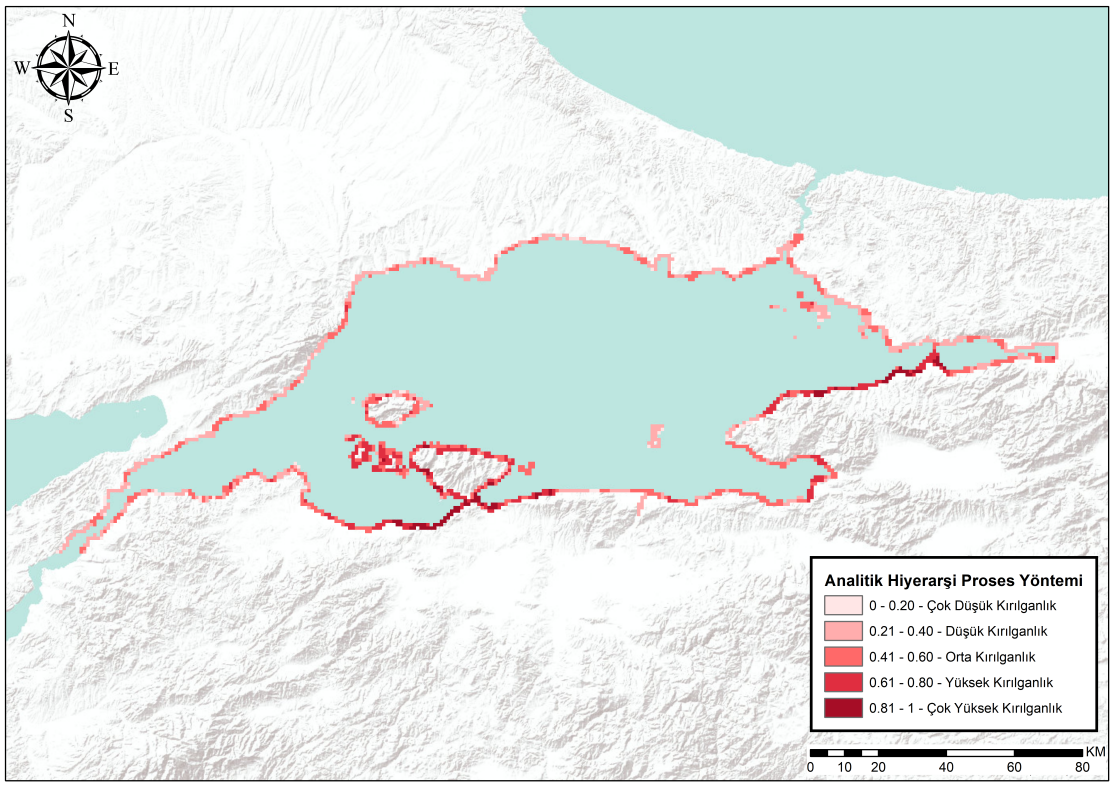
Kriter	Nüfus Yoğunluğu	Yaşlı Nüfus Oranı	Çocuk Nüfus Oranı	Engelli Nüfus Oranı	Doktor Sayısı	Hastahane Sayısı	Arazi Kullanımı	Yola Uzaklık
Nüfus Yoğunluğu	1.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	6.00	4.00
Yaşlı Nüfus Oranı	0.33	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	5.00	3.00
Çocuk Nüfus Oranı	0.33	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	5.00	3.00
Engelli Nüfus Oranı	0.33	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	4.00	3.00
Doktor Sayısı	0.25	0.33	0.33	0.33	1.00	1.00	3.00	3.00
Hastahane Sayısı	0.33	0.33	0.33	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00
Arazi Kullanımı	0.33	0.20	0.20	0.25	0.33	1.00	1.00	0.33
Yola Uzaklık	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.00	3.00	1.00

Tablo 4.12 AHP için normalize matris tablosu

Kriter	Nüfus Yoğunluğu	Yaşlı Nüfus Oranı	Çocuk Nüfus Oranı	Engelli Nüfus Oranı	Doktor Sayısı	Hastahane Sayısı	Arazi Kullanımı	Yola Uzaklık
Nüfus Yoğunluğu	0.31	0.42	0.42	0.41	0.26	0.24	0.21	0.22
Yaşlı Nüfus Oranı	0.10	0.14	0.14	0.14	0.19	0.18	0.18	0.16
Çocuk Nüfus Oranı	0.10	0.14	0.14	0.14	0.19	0.18	0.18	0.16
Engelli Nüfus Oranı	0.10	0.14	0.14	0.14	0.19	0.18	0.14	0.16
Doktor Sayısı	0.08	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.11	0.16
Hastahane Sayısı	0.10	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.04	0.05
Arazi Kullanımı	0.10	0.03	0.03	0.03	0.02	0.06	0.04	0.02
Yola Uzaklık	0.10	0.05	0.05	0.05	0.02	0.06	0.11	0.05

Tablo 4.13 AHP yöntemi ile tespit edilen kriter ağırlıkları

Kriterler	Kriter Ağırlıkları (%)
Deniz Seviyesi Değişimi	26.9
Kıyının Zamansal Değişimi	20.1
Nehire Olan Uzaklık	2.4
Kıyıya Olan Uzaklık	4.4
Eğim	9.2
Yükseklik	9.4
Kıyı Tipi	27.7
Nüfus Yoğunluğu	31
Yaşlı Nüfus Oranı	15.4
Çocuk Nüfus Oranı	15.4
Engelli Nüfus Oranı	14.9
Hekim Sayısı	7.6
Hasta Sayısı	5.7
Arazi Kullanımı	4.1
Yollara Olan Uzaklık	6



Şekil 4.20 AHP ile tespit edilen kıyısal kırılganlık

Üçüncü değerlendirme yöntemi olarak EİEKY kullanılmıştır. Bu yöntem AHP yöntemine benzer bir yapıda çalışmasına rağmen, daha az ikili karşılaştırma gerektirmektedir. Bu da karar vericiye kolaylık sağlamaktadır. Bu yöntemde de AHP'de olduğu gibi karar verme kolaylığı ve işlem kolaylığı açısından kriterler yine

sosyo-ekonomik ve fiziksel kriterler olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. EİEKY, ilk olarak en iyi ve en kötü kriterin seçimini gerektirmektedir. Fiziksel kriter grubu incelendiğinde, en iyi kriter olarak, deniz seviyesi değişimi seçilmiştir. En iyi kriter hesaplamalar sonucu en çok ağırlığı alacak olan kriterdir. En kötü olarak da nehre olan uzaklık seçilmiştir. Bu kriter de en az ağırlığı alacak olan kriterdir. En iyi ve en kötünün seçiminden sonra, en iyi karşılaştırma vektörü ve en kötü karşılaştırma vektörleri oluşturulmuştur. Oluşturulan vektörler Tablo 4.14 ve 4.15'de verilmiştir.

Tablo 4.14 En iyinin diğer kriterlere göre önceliği

En iyi - Diğerleri	Deniz Seviyesi Değişimi	Kıyının Zamansal Değişimi	Nehire Uzaklık	Kıyıya Uzaklık	Eğim	Yükseklik	Kıyı Tipi
Deniz Seviyesi Değişimi	1	2	8	6	3	3	2

Tablo 4.15 Diğer kriterlerin en kötü kritere göre önceliği

Diğerleri - En Kötü	Nehire Uzaklık
Deniz Seviyesi Değişimi	8
Kıyının Zamansal Değişimi	7
Nehire Uzaklık	1
Kıyıya Uzaklık	2
Eğim	5
Yükseklik	5
Kıyı Tiği	6

Ağırlıklar Bölüm 3'de verilen Eşitlik 3.7 doğrultusunda hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlıklar Tablo 4.18 verilmiştir.

Tutarlılık oranı "ξ" değeri yardımı ile hesaplanmaktadır. Modelin çözümlenmesi sonucu elde edilen "ξ" değeri 0.049'dur. Elde edilen "ξ" değeri ile tutarlılık oranı hesabı Eşitlik 3.7'ye göre yapılmaktadır. Burada belirtilen TI Tablo 3.4'e göre hesaplanmıştır. Tutarlılık üst sınırı Tablo 3.5 ile elde edilmektedir. Buna göre fiziksel kriterlerin tutarlılık oranı 0.013 elde edilmiştir. Bu değerin, Tablo 3.5'den elde edilen 0.4379 değerinden küçük olduğu saptanmıştır. Bu durumda fiziksel kriterlerin ağırlıklandırılmasının tutarlı olduğu kabul edilmiştir. Aynı işlemler sosyo-ekonomik kriterler için de uygulanmıştır.En iyi ve en kötü kriterler sırasıyla; nüfus yoğunluğu ve arazi kullanımı olarak seçilmiştir. Bu kriterlere göre oluşturulan en iyi ve en kötü karşılaştırma vektörleri Tablo 4.16 ve Tablo 4.17'de verilmiştir.

Ağırlıklar Eşitlik 3.7 göre çözümlenmiş ve "ξ" değeri olarak 0.052 elde edilmiştir. Tutarlılık oranı aynı yöntem ile hesaplanmış üst sınır ile karşılaştırılmıştır. Tutarlılık

Tablo 4.16 En iyi kriterin diğer kriterlere göre önceliği

En İyi - Diğerleri	Nüfus Yoğunluğu	Yaşlı Nüfus Oranı	Çocuk Nüfus Oranı	Engelli Nüfus Oranı	Doktor Sayısı	Hastahane Sayısı	Arazi Kullanımı	Yola Uzaklık
Nüfus Yoğunluğu	1	3	3	3	4	4	6	4

Tablo 4.17 Diğer kriterlerin en kötü kritere göre önceliği

Diğerleri - En Kötü	Arazi Kullanımı
Nüfus Yoğunluğu	7
Yaşlı Nüfus Oranı	4
Çocuk Nüfus Oranı	4
Engelli Nüfus Oranı	4
Doktar Sayısı	3
Hastane Sayısı	3
Arazi Kullanımı	1
Yola Uzaklık	2

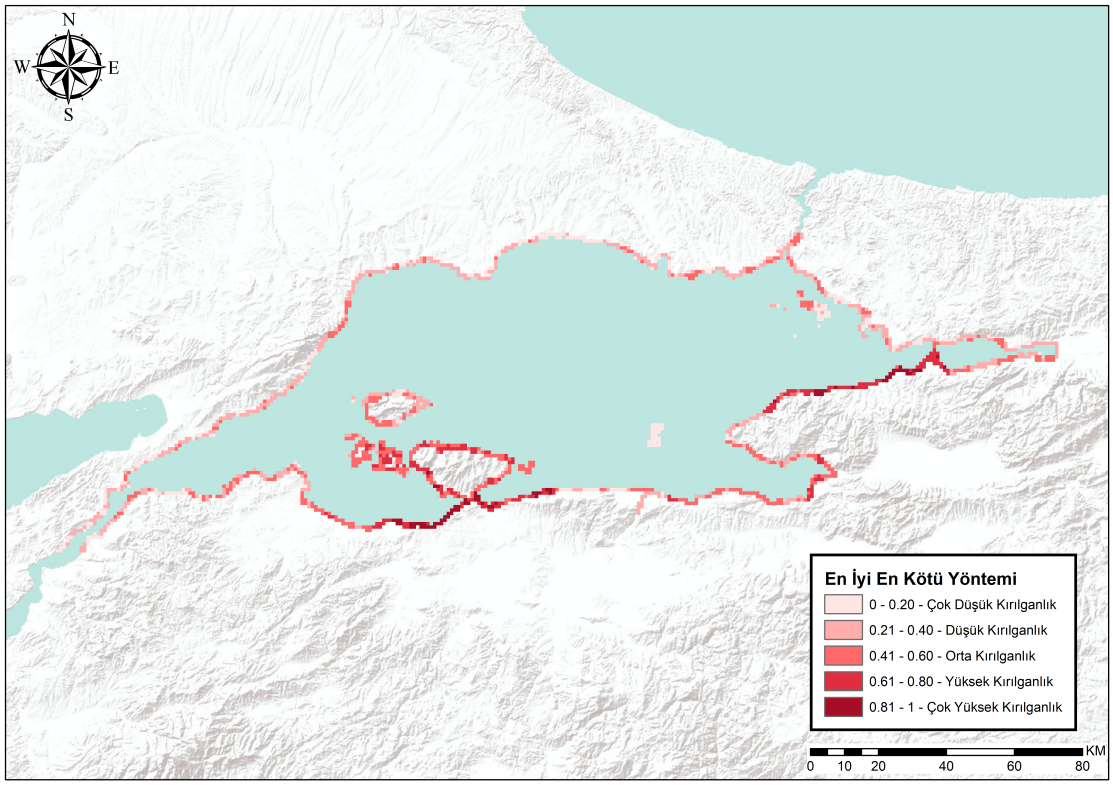
oranı sosyo-ekonomik kriterler için 0.017'dir. Üst sınır olan 0.4168 değerinin altında kaldığı için karşılaştırmalar tutarlıdır. Fiziksel ve sosyo-ekonomik kriter grupları için hesaplanan ağırlıklar Tablo 4.18'de verilmiştir.

Tablo 4.18 EİEKY ile tespit edilen kriter ağırlıkları

Kriterler	Kriter Ağırlıkları (%)
Deniz Seviyesi Değişimi	30.9
Kıyının Zamansal Değişimi	17.9
Nehire Olan Uzaklık	3.2
Kıyıya Olan Uzaklık	5.9
Eğim	11.9
Yükseklik	11.9
Kıyı Tipi	17.9
Nüfus Yoğunluğu	31.4
Yaşlı Nüfus Oranı	12.2
Çocuk Nüfus Oranı	12.2
Engelli Nüfus Oranı	12.2
Hekim Sayısı	9.1
Hasta Sayısı	9.1
Arazi Kullanımı	4.3
Yollara Olan Uzaklık	9.1

Fiziksel ve sosyo-ekonomik kriterlerin ağırlıklarının birleştirilmesinde, AHP'de olduğu

gibi %50-%50 oranı kullanılmıştır. Ağırlıklarla kriterlerin analiz edilmesi ile Şekil 4.21 sonuç kırılganlık değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.21 EİEKY ile tespit edilen kıyısal kırılganlık

Bu çalışmada, her üç yöntem ile elde edilen kıyısal kırılganlık değerleri, literatür araştırması sonucunda [70, 91, 134] yaygın olarak kullanılan minimaks normalizasyon yöntemi ile normalize edilmiştir. Normalizasyon sonucunda 0 - 0.20 değerleri arası çok düşük kırılganlık, 0.20 - 0.40 arası düşük kırılganlık, 0.40 - 0.60 arası orta kırılganlık, 0.60 - 0.80 arası yüksek kırılganlık ve 0.80 - 1.00 arası çok yüksek kırılganlık şeklinde tanımlanmıştır.

4.3.4 Kıyısal Kırılganlık Tespit Yöntemlerinin Performans Analizleri

Uzaktan algılama verilerinden yararlanılarak, KDS ile Marmara Denizi kıyılarında kıyısal kırılganlık analizi yapılmıştır. Kıyısal kırılganlığın tespit edilmesinde üç farklı yöntem olan KKİ, AHP ve EİEKY karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Hipotezde öngörüldüğü üzere kıyısal kırılganlık sonuçları incelendiğinde AHP ve EİEKY sonuçları başarılı ve birbirine çok yakın değerler vermekte iken KKİ kullanıldığında diğer iki yönteme göre daha az başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu bölümde, üç farklı yöntemin performans analizleri tüm Marmara Denizi kıyılarında uygulanmış ve örnek olarak dört farklı alan için detaylı bir şekilde verilmiştir.

İlk olarak, bu çalışma kapsamında kullanılan üç yöntem hesap yüküne göre karşılaştırıldığında, tüm yöntemler için aynı seviyede ön işleme ve normalizasyon aşamaları içerdiği görülmektedir. Ayrıca, her bir kriter için kıyısal kırılganlık katsayıları belirlenmiş ve her yöntemde aynı kırılganlık katsayıları işleme tâbi tutulmuştur. KKİ yöntemi ile en kısa sürede sonuca ulaşılabilmektedir. AHP ile EİEKY yöntemi KDS arasında yer aldığından ağırlıklandırma işlemi için ikili karşılaştırma adımı gerekmektedir. Bu adım, değerlendirmenin doğruluğunu yükseltirken, değerlendirme süresini de arttırmaktadır. AHP için yapılan ağırlıklandırmada; "n" kriter sayısı olmak üzere, n(n-1)/2 ikili karşılaştırma, EİEKY ise 2n-3 karşılaştırma yapılmaktadır. EİEKY hesaplama açısından karmaşık olmasına karşın karar verme aşamasında AHP yönteminden daha hızlı sonuca ulaşılma imkanı tanımaktadır. Kriter sayısı ile birlikte AHP'de ikili karşılaştırmanın karmaşıklığı ve aldığı süre artmaktadır. EİEKY ise bu durum, iki kriter seçip bu kriterlerin diğerleri ile karşılaştırmalarından ibaret olduğu için kriter sayısının artması çok büyük bir karışıklığa sebep olmamaktadır. EİEKY karar verici açısından AHP yöntemine göre daha hızlı ve ağırlıklandırma aşaması daha az zaman alan bir yöntemdir. Ayrıca, EİEKY'de, AHP yöntemindeki gibi kesirli sayılar kullanılmamaktadır. Sadece tam sayıların kullanılması, karar verici açısından ikili karşılaştırma sırasında oluşabilecek karar verici kaynaklı hataları önlemeye yardımcı olmaktadır. Son olarak, EİEKY, AHP yöntemine göre daha tutarlı sonuçlar vermektedir. Örnek olarak EİEKY,'de "en kötü kriter (k^1)" den 3 kat daha önem derecesine sahip iki kriter ($k^2 ve k^3$) mevcut ise, bu iki kriter hesaplama sonucunda aynı ağırlıkları almaktadır. Bu AHP yöntemi için geçerli bir durum değildir. AHP'de bu iki kriter olasılık olarak "en kötü kriter" değeri ile ya aynı ağırlığı ya da (k^1) yakın ağırlığa sahip değer alabilirler. Bu durumda, AHP kendi içinde tutarsızlık içermektedir. Bu sebeple, EİEKY ile AHP yöntemi karşılaştırıldığında EİEKY daha tutarlı sonuçlar vermektedir. bu çalışma kapsamında, performans analizleri sonucunda KKİ değerlendirildiğinde diğer iki yönteme göre daha kötü sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak KKİ, AHP ve EİEKY yöntemleri değerlendirildiğinde, AHP ve EİEKY yöntemleri birbirine yakın sonuçlar verirken, KKİ yöntemi ile anlamlı bir sonuç elde edilememiştir. Tablo 4.19'da görüldüğü üzere KKİ yöntemi ile yapılan analiz sonucunda kıyısal kırılganlık Marmara kıyılarının %97.9'unda "çok düşük" olarak elde edilmiştir. AHP ve EİEKY yöntemlerinde bu değerler sırasıyla, %3.8 ve %16.7 çıkmıştır. KKİ yöntemi kullanıldığında "çok yüksek" kırılganlık değeri %0.06 iken, AHP %6.0, EİEKY de ise %5.2 olarak hesaplanmıştır.

Performans analizi sonuçları ve elde edilen kıyısal kırılganlık oranları değerlendirildiğinde; KKİ, sadece kırılganlığa eşit ya da yakın olan kriterlerden oluşan çalışmalarda iyi performans vermektedir. Fakat, 15 parametre ve sosyo-ekonomik

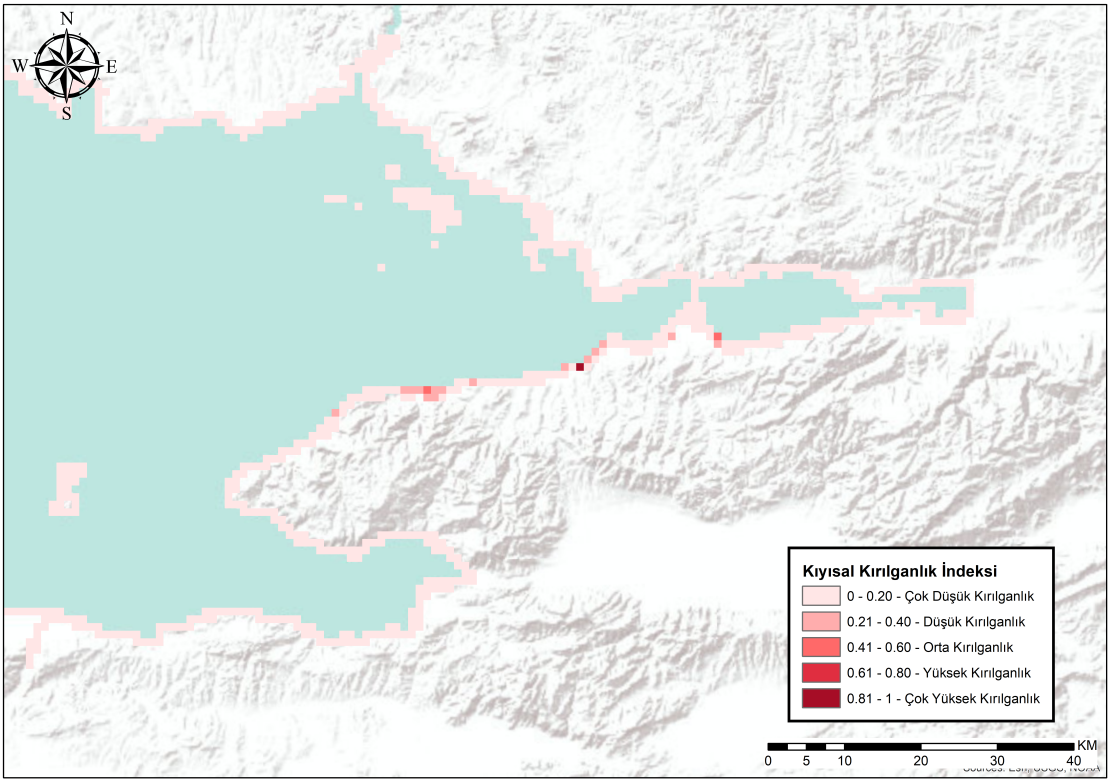
Tablo 4.19 Yönteme göre kıyısal kırılganlık oranları

Kıyısal Kırılganlık	KKİ	AHP	EİEKY
Çok Düşük Kırılganlık	%97.9	%3.8	%16.7
Düşük Kırılganlık	%1.7	%38.6	%34.4
Orta Kırılganlık	%0.2	%34.4	%30.3
Yüksek Kırılganlık	%0.06	%17.2	%13.2
Çok Yüksek Kırılganlık	%0.06	%6.0	%5.2

parametrelerin de dahil olduğu alanlarda, örneğin; Marmara kıyılarında kırılganlık düşük çıkmıştır. Bunun sebebi ise sosyal parametrelerin kırılganlığı düşürücü etkisidir. Bu etki, kriterler arasında ağırlığın az olması gereken parametrelerin eşit ağırlıkta alınmasına ve ağırlığın çok olması gereken kriterlerin ağırlıklarının hesaplamada düşmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Örneğin; kıyısal kırılganlık indeksinde her kriterin etkisi eşittir ve yaklaşık olarak %6.6'ya tekabül etmektedir. Bu AHP ve EİEKY ile karşılaştırılırsa, deniz seviyesi değişimi kriteri AHP'de %26.9, EİEKY ise %31 olarak tespit edilmiştir. Deniz seviyesinin değişimi kriteri KKİ'de etkisini kaybetmiştir, bu durum da KKİ'nin doğruluğunu düşürmüştür. Bu yüzden çok kriterli kırılganlık çalışmalarında, bu kriterlerin ağırlıklandırılması gerekmektedir. Bu ağırlıklandırma ile kıyısal kırılganlık daha doğru ve anlamlı bir şekilde tespit edilebilir. Bu sebeple, AHP ve EİEKY yöntemleri değerlendirildiğinde, kırılganlık sonuçlarının birbirine yakın sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir.

Marmara kıyı alanlarına ait 4 kıyı alanı için sonuçlar Şekil 4.22-4.29 ile verilmiştir. Şekil 4.22-4.23'de Gemlik ve İzmit Körfezleri, Şekil 4.24-4.25'de Erdek Yarımadası, Şekil 4.26-4.27'de Tekirdağ ve Çanakkale illeri, Şekil 4.28-4.29'da İstanbul ilinin kıyısal kırılganlık değerleri incelenmiştir. Şekil 4.22-4.23'de görüldüğü üzere Yalova ili, Gemlik ve İzmit Körfezleri için her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde;

- Mavi renk ile gösterilmiş olan Yalova ili geneli için kırılganlık her iki yöntemde de "çok yüksek kırılganlık" ve "yüksek kırılganlık" değerine sahiptir. İki yöntemde bu bölge için benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yalova ilinde kırılganlığın bu kadar yüksek çıkmasının sebebi ise; eğim, yükseklik, zamansal değişim, nüfus yoğunluğu kriterlerinin kırılganlık katsayılarının 5 ile en yüksek kırılganlığa sahip değeri almasıdır.
- Turuncu renk ile gösterilen Gemlik Körfezi'nde eğim, yükseklik, nüfus yoğunluğu yüksek kırılganlık katsayısına sahiptir. Bu durum, bu bölgeyi "yüksek kırılganlık" değeri ile sınıflandırılmasına sebep olmuştur. Sonuç olarak iki yöntemde de Gemlik Körfezi'ne benzer sonuçlar elde edilmiştir.

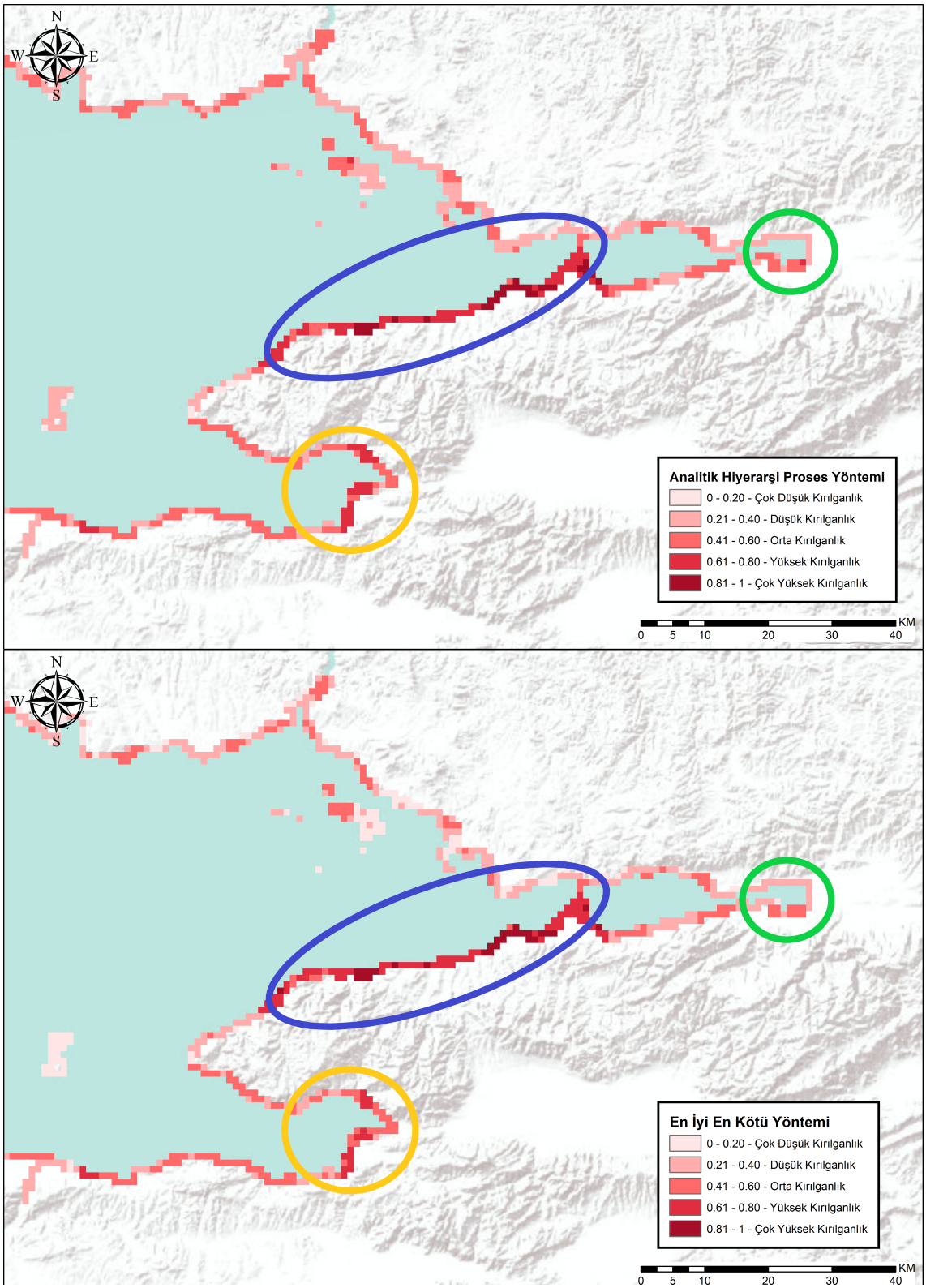


Şekil 4.22 KKİ ile tespit edilen Gemlik ve İzmit körfezlerinin kıyısal kırılganlığı

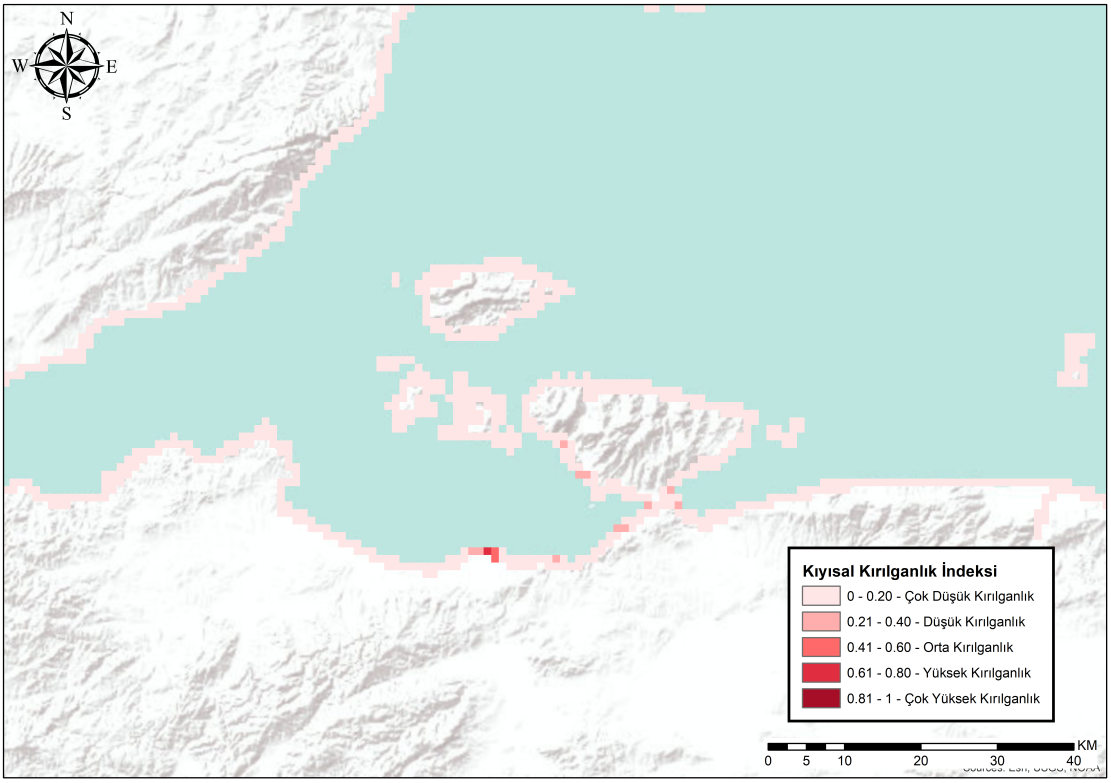
- Yeşil renk ile belirtilen İzmit Körfezi'nde ise kırılganlık "düşük" ile "orta" değer arasında değişmektedir. Bu bölgede eğim ve yükseklik değerlerinin kırılganlık katsayıları düşüktür. Bu sebeple, diğer iki bölgedeki gibi kırılganlığı yüksek çıkmamıştır.

- İstanbul ilinin Anadolu yakası incelendiğinde "düşük" ve "çok düşük" kırılganlığa sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgedeki kıyı tipi yapay yapılar içermesi ve bu durumun kırılganlığı azaltan kriterlerden biri olması sebebiyle "orta dereceli" kırılganlık tespit edilmiştir. Ayrıca, bu bölgedeki deniz seviyesi değişimi Erdek bölgesine göre daha azdır. Nüfusun yoğun olmasına karşın, diğer sosyal kriterler incelendiğinde nüfus dışında kırılganlık katsayısı yüksek bir kritere rastlanmamıştır. Bu durumda, yüksek kırılganlık katsayısı olan nüfus yoğunluğu kriterinin diğer sosyal kriterlerin kırılganlık analizine eklenmesi ile birlikte etkisi azalmıştır. Hastanelerin fazlalığı, doktor sayısı, yollar ve nüfus oranları gibi sosyal kriterlerin kırılganlığının düşük olması, nüfus yoğunluğunda bulunan yüksek kırılganlığı dengelenmiştir.

Şekil 4.24-4.25 yardımıyla, Balıkesir il sınırları içinde yer alan Erdek yarımadası incelendiğinde;



Şekil 4.23 AHP ve EİEKY ile tespit edilen Gemlik ve İzmit körfezlerinin kıyısal kırılganlığı

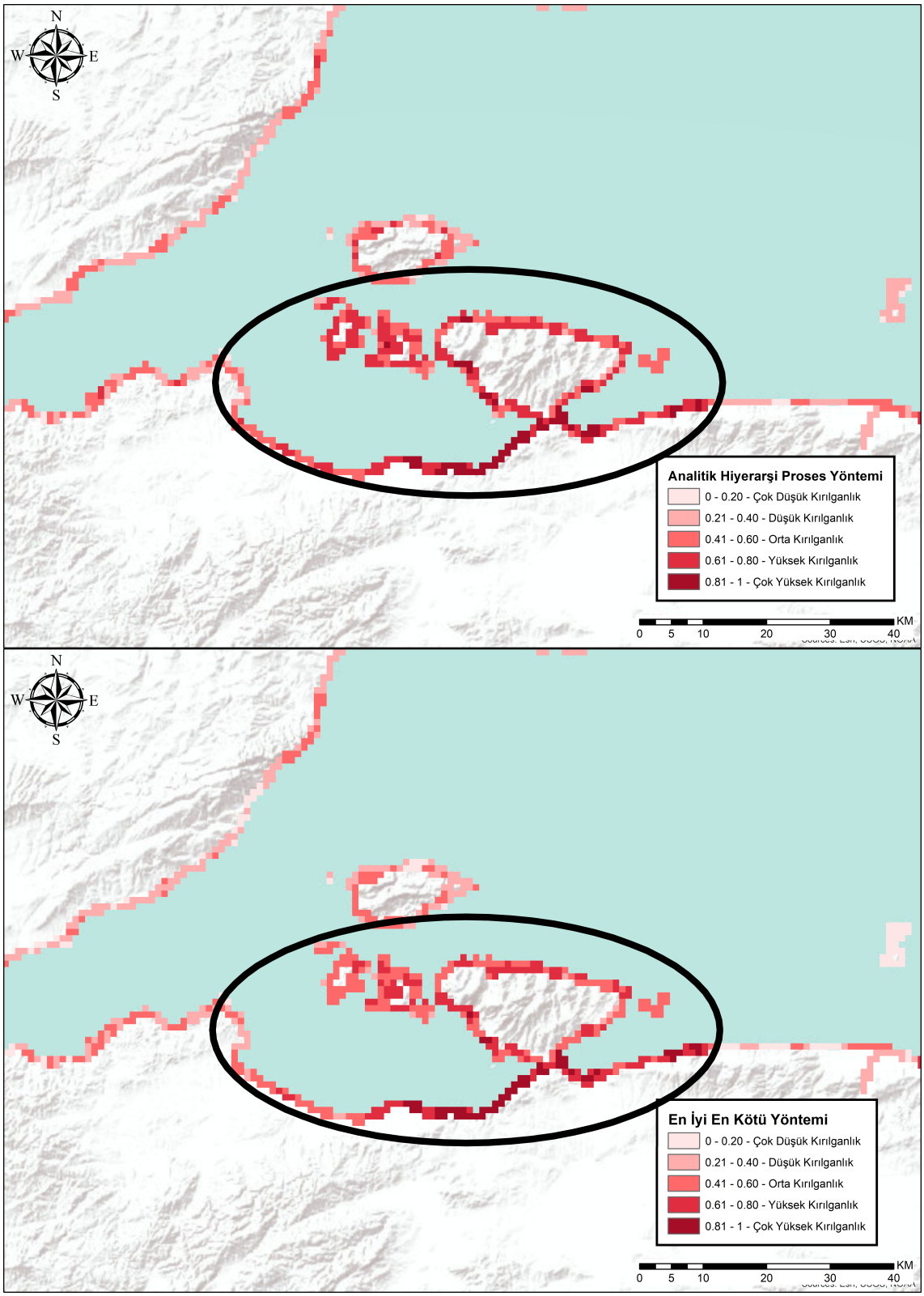


Şekil 4.24 KKİ ile tespit edilen Erdek Yarımadasının kıyısal kırılganlığı

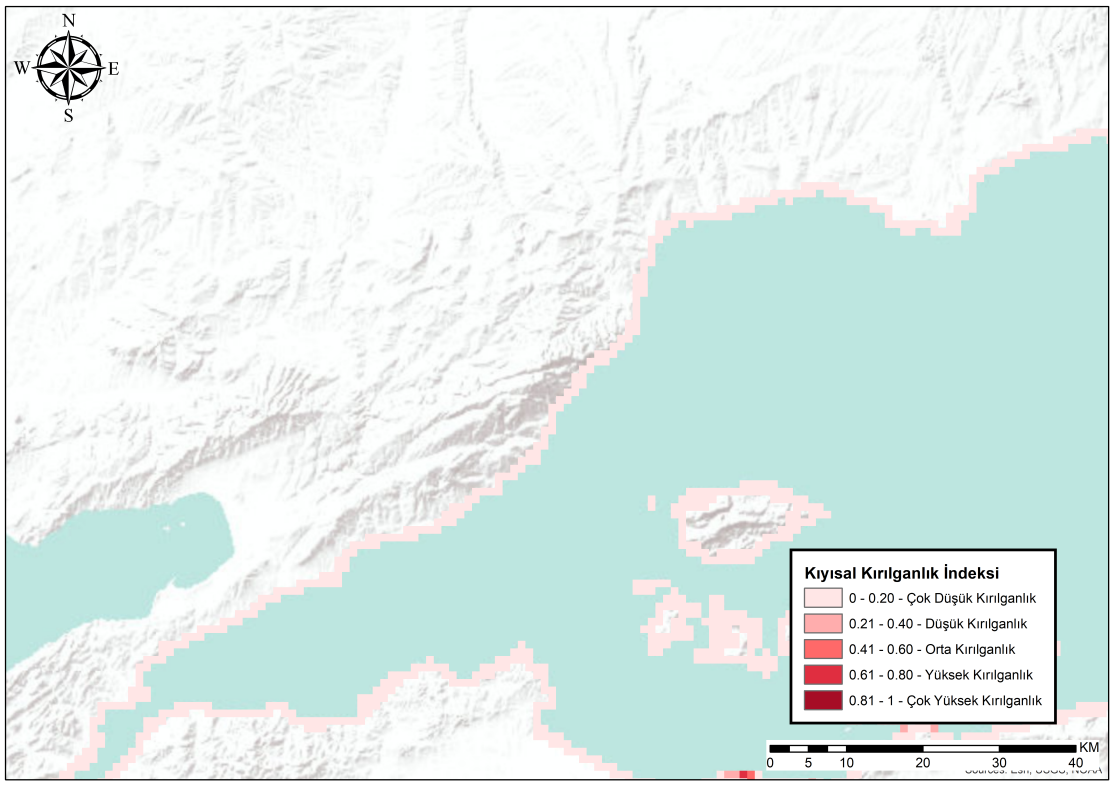
- Körfezlerde, yarımadada ve çevreleyen adalarda kırılganlığın "çok yüksek" ve "orta" değerler arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Körfezlerdeki "yüksek kırılganlık" elde edilmesinin temel sebebi "deniz seviyesi değişimi" kriterinden kaynaklanmaktadır. Bu kriter, AHP yönteminde %27, EİEKY yönteminde ise %31 ağırlığa sahiptir. Erdek mareograf istasyonundan elde edilen verilerle hesaplanan "yıllık deniz seviyesi değişimi" kriterinin değeri yıllık 5 mm'den fazla olmasından dolayı, bu bölgede "yüksek kırılganlık" tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, çevreleyen bölgelerin yüksekliğinin düşük ve eğiminin az olması da bu kırılganlığı etkileyen durumlardandır.

- Erdek bölgesinde, kıyı tipi de genellikle kumsal plaj, değişken kıyılar ve nehir deltası gibi "yüksek kırılganlık" katsayısına sahip jeomorfolojik yapılardan oluşmaktadır. Kıyı tipinin etkisi yarımadada rahatlıkla görülebilmektedir. Falez olan bölgeler "orta" ve "yüksek" kırılganlık arasında değişirken, plaj olan yerler "çok yüksek" olarak sınıflandırılmıştır.

- Susurluk nehrinin döküldüğü deltada "orta" seviyeli bir kırılganlık saptanmıştır. Delta gibi kırılgan bir yer olmasına karşın buranın "orta" seviye çıkmasının sebebi, sosyal kriterlerin kırılganlığa olan etkisidir. Burada yerleşim alanlarının olmaması nüfusun yoğunluğunun az oluşu kırılganlığı düşürmektedir.



Şekil 4.25 AHP ve EİEKY ile tespit edilen Erdek Yarımadasının kıyısal kırılganlığı



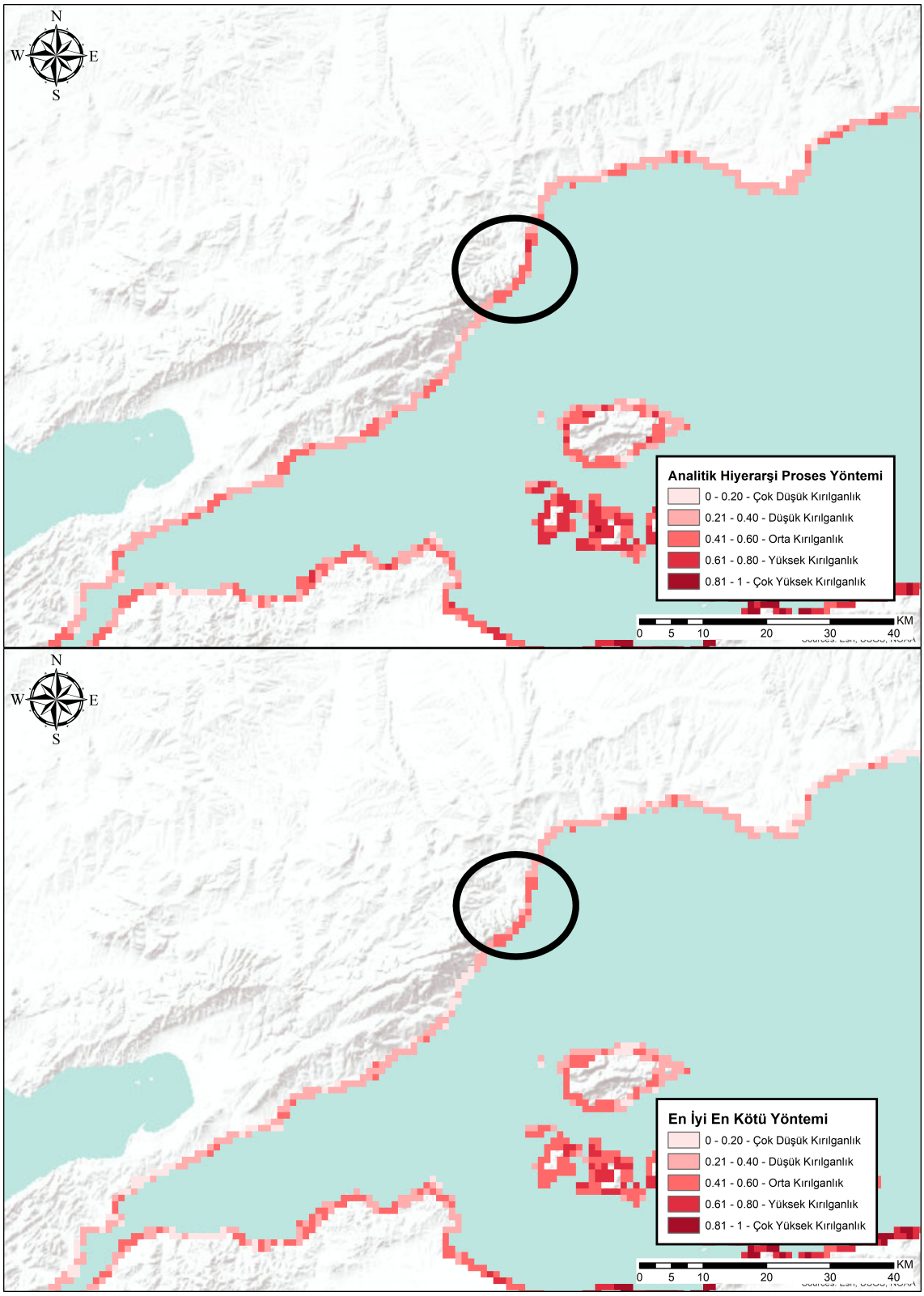
Şekil 4.26 KKİ ile tespit edilen Tekirdağ ve Çanakkale illerinin kıyısal kırılganlığı

Çanakkale ilinin kıyıları ve Tekirdağ ilinin kıyıları incelendiğinde;

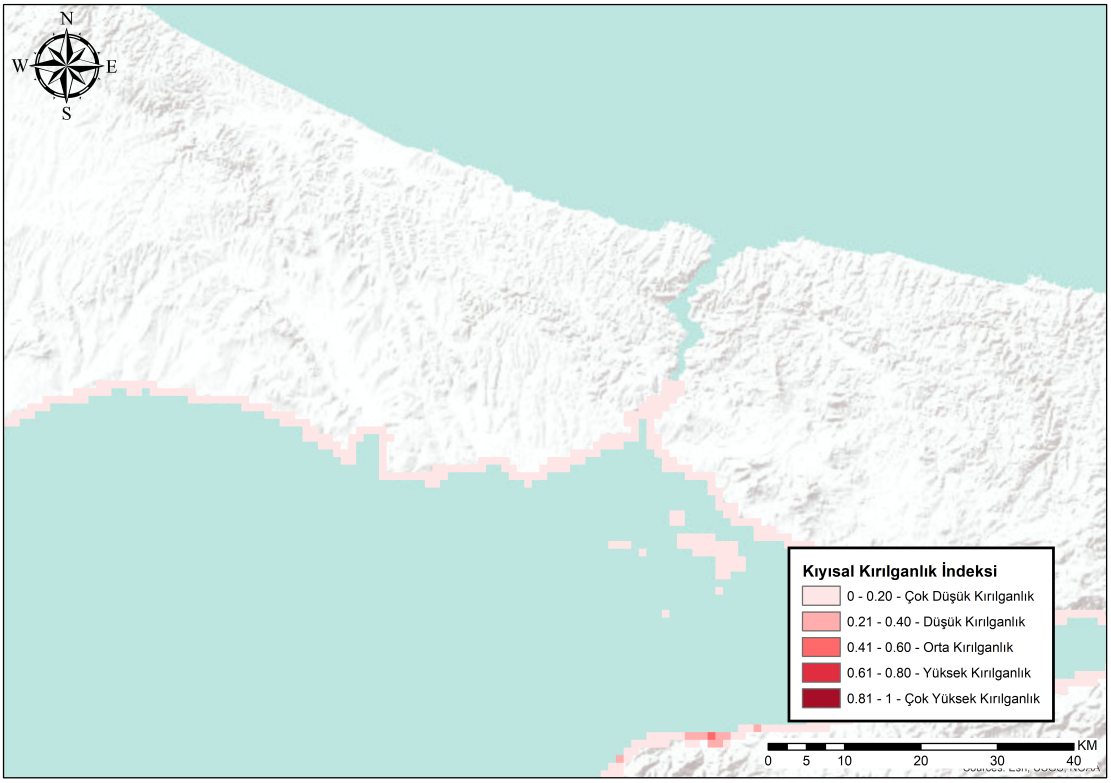
- Bu kıyıların genel olarak “düşük” ve “çok düşük” kırılganlığa sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.26 - 4.27). Bunun başlıca sebepleri, bu bölgelerin yüksek falezlerden oluşması, eğim ve yüksekliklerin kırılganlık katsayılarının düşük olması, nüfus yoğunluğunun az olmasıdır. Her iki yöntemde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.
- Tekirdağ ve Çanakkale illerinde “yüksek” kırılganlığa sahip tek bölge AHP yöntemi ile tespit edilmiş olan, Kumbağ ve Barbaros kıyı alanlarıdır. EİEKY sonucunda ise bu bölge “orta” kırılganlığa sahip olarak sınıflandırılmıştır. Bu bölgenin sonucunun “yüksek” kırılganlık olarak tespit edilmesinin sebebi ise; jeomorfolojik yapının kumsal oluşu ve yerleşim yeri bulunmasıdır. Bu yerleşim yerinin yüksekliği ve eğiminin düşük olması da kırılganlığın tespitini etkileyen önemli kriterlerden biridir.

İstanbul iline ait kıyıların kıyısal kırılganlığı incelendiğinde;

- İstanbul ili için “orta” ve “düşük” seviye kıyısal kırılganlık değerleri elde edildiği görülmektedir (Şekil 4.28-4.29).



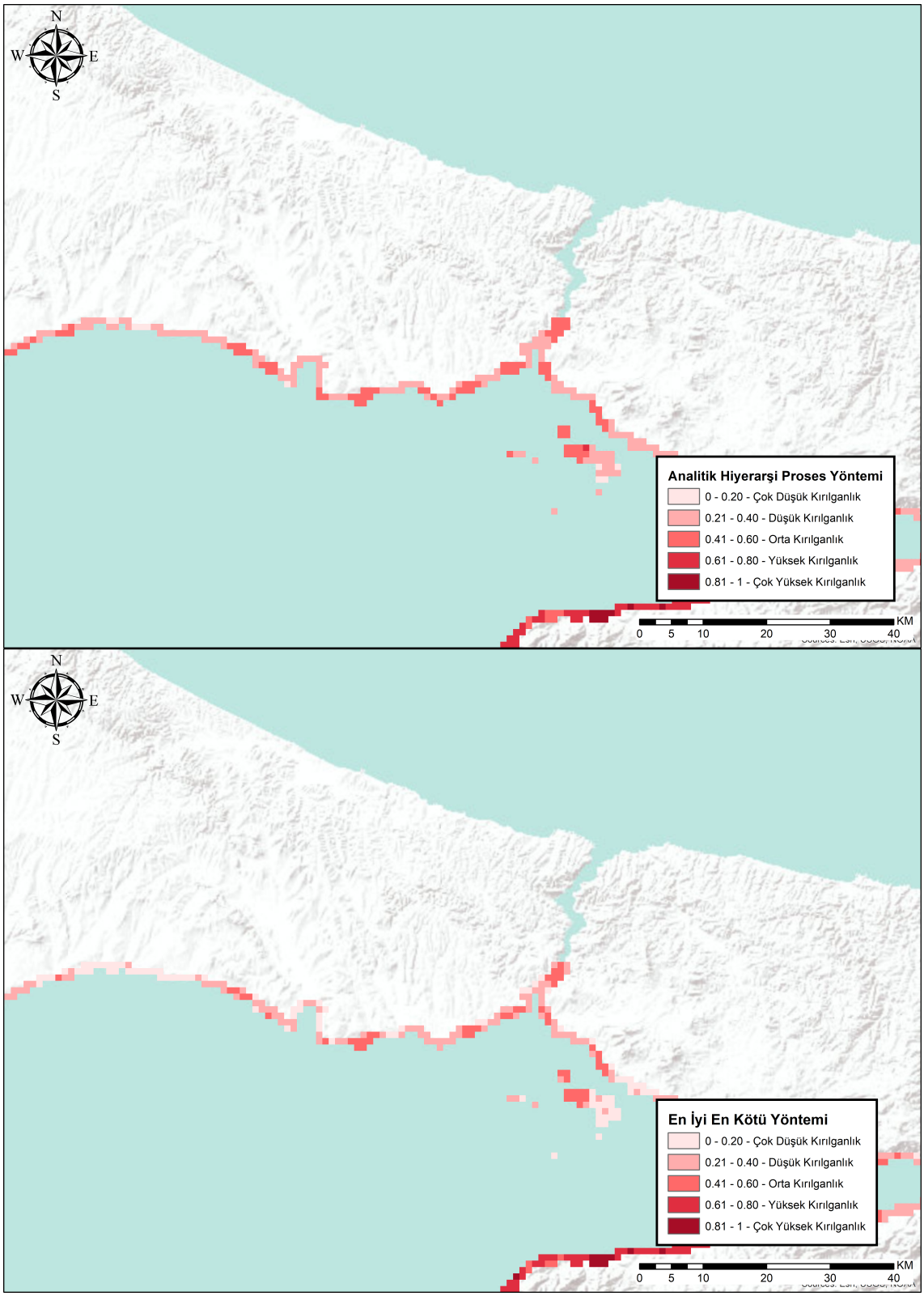
Şekil 4.27 AHP ve EİEKY ile tespit edilen Tekirdağ ve Çanakkale illerinin kıyısal kırılganlığı



Şekil 4.28 KKİ ile tespit edilen İstanbul ilinin kıyısal kırılganlığı

- Marmara Bölgesi'nde nüfusun en yoğun olduğu şehir İstanbul'dur. Bu yüzden İstanbul ilinin nüfus yoğunluğu açısından kırılganlık katsayısı yüksektir. Fakat, bunun yanında hastane sayısı, hekim sayısı ve yollar gibi kriterlerin kırılganlığı çok düşüktür. Nüfus yoğunluğunun yüksek kırılganlığını diğer sosyal kriterlerin düşük kırılganlıkları dengelemiştir. Bu sebeple, İstanbul ilinin kıyısal kırılganlığı fiziksel kriterlere göre şekillenmektedir.

- Birçok kriterin benzer kıyısal kırılganlık katsayılarına sahip olmasından dolayı, kıyı tipi kriteri kıyısal kırılganlığı belirleyen kriter olmuştur. İstanbul ilinin kıyıları yapay alanlar ve plajlardan oluşmaktadır. Her iki yöntemde de kıyı tipi kriterinin kumsal plaj olduğu alanlarda kırılganlık "orta", yapay olduğu alanlarda ise "düşük" ve "çok düşük" olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.29 AHP ve EİEKY ile tespit edilen İstanbul ilinin kıyısal kırılganlığı

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Marmara Denizi kıyıları için kıyısal alanlarda kırılganlık analizi gerçekleştirilmiştir. Kıyısal kırılganlık analizlerinde Bu konu özelinde literatürde kullanılmayan EİEKY kullanılmış ve yaygın olarak kullanılan KKİ ve AHP yöntemleri ile performans analizi irdelenmiştir. Çalışma sonucunda Marmara Denizi için kırılganlık, üç farklı yöntem ile tespit edilmiştir.

Kıyısal kırılganlığın analizinde ilk aşama olarak KKİ kullanılmıştır. Bu indeks sadece fiziksel parametreleri içeren, yakın ağırlıklı kriterlerden oluşan ve az kriter sayısının dahil edildiği çalışmalarda iyi sonuçlar vermektedir. Bu çalışma kapsamında 15 adet fiziksel ve sosyo-ekonomik kriterlerden oluşan model için KKİ analizi anlamlı bir sonuç vermemiştir. Bu yöntem sonuçları incelendiğinde tüm Marmara Denizi kıyılarının kırılganlığının düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun temel sebebi kırılganlığı farklı oranda etkileyen kriterlerin aynı ağırlıklar ile değerlendirilmesidir. Örneğin; AHP ve EİEKY'de %31 ve %32 ağırlığa sahip nüfus yoğunluğu kriteri, KKİ'de %6-7 arasındaki ağırlık değerlerine karşılık gelmektedir. Bu da nüfus yoğunluğunun sonuca etkisini düşürmekte ve analizin doğruluğunu olumsuz yönde etkilemektedir. İşlem kolaylığı için tercih edilen bu indeks çok kriterli ve geniş bir ağırlık aralığı içeren yaklaşımlarda yeterli doğrulukta sonuç vermemektedir. Bu çalışmada da KKİ ile gerçekleştirilen sonuçlar ışığında bu yöntemin yeterli olmadığı hipotezde belirtildiği şekilde ispatlanmıştır.

Marmara Denizi için kıyısal kırılganlık analizinde ikinci aşama ise KDS'nin kullanımıdır. KDS'nin arasında yer alan AHP ve EİEKY ile kıyısal kırılganlığın tespiti amaçlanmıştır. İlk olarak, AHP ile yapılan kırılganlık analizi ile Marmara kıyılarının kırılganlığı tespit edilmiştir. Kırılganlık incelendiğinde yüksek ve orta yükseklik değerlerine sahip falezleri içeren, eğimi ve yüksekliği düşük kırılganlığa sahip olan Tekirdağ ve Çanakkale'nin Trakya kısmında kırılganlık düşük olarak elde edilmiştir. Deniz seviyesi değişimi kriterinin bu sonuçta etkisi oldukça büyüktür. Balıkesir ili Erdek Yarımadası ve çevresinde çok yüksek kırılganlık değeri tespit edilmiştir. TUDES ağına ait olan Erdek istasyonunda, kestirim sonucunda çıkan 5 mm'lik su

seviyesi yükselmesi çok yüksek kırılganlık olarak değerlendirilmektedir. İstanbul ili, Ataköy, Fatih, Kadıköy, Maltepe ve Tuzla ilçelerinde yüksek kırılganlık tespit edilmiştir. İstanbul ilindeki nüfus yoğunluğu kırılganlığı etkileyen en büyük faktörlerden biridir. Bursa ilinde Gemlik Körfezi'nde ve Dalyan Gölü çevresinde yüksek kırılganlık, Kocaeli ili, Körfez'de yüksek kırılganlık, Yalova ilinin genelinde çok yüksek kırılganlık, tespit edilmiştir. Bursa ve Yalova illerindeki kırılganlığın temel sebebi, bu bölgelerde küçük ve büyük denize dökülen su kanalı ve akarsuların fazla olması, eğim ve yüksekliğin düşüklüğü yanında nüfus yoğunluğudur. Ayrıca bu bölgelerin kıyı tipi (kum plaj, delta, koy vb.) genel olarak yüksek kırılganlık gösterebilecek kıyı tiplerindendir. Bu sebeple kırılganlık değerleri yüksek çıkmıştır.

İkinci olarak EİEKY ile yapılan kırılganlık analizi ile Marmara kıyılarının kırılganlığı tespit edilmiştir. Bu analiz sonucunda hipotezde öngörüldüğü gibi AHP ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. İstanbul ili, Ataköy, Fatih, Kadıköy, Maltepe ve Tuzla ilçelerinde yüksek kırılganlık; Körfez'de yüksek kırılganlık, Yalova ilinin genelinde çok yüksek kırılganlık, Bursa ilinde Gemlik Körfezi'nde ve Dalyan gölü çevresinde yüksek kırılganlık, Balıkesir'de Erdek Yarımadası ve çevresinde çok yüksek kırılganlık tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, kıyısal kırılganlık analizleri için bu çalışma kapsamında başarılı sonuçlar elde edilen, tutarlılığı yüksek olan EİEKY önerilmektedir. Bunun temel sebebi karar vericiye sağladığı ikili karşılaştırma kolaylılığıdır.Kriter sayısı arttıkça AHP'de karşılaştırma sayısı çok hızlı olarak artmaktadır. Bu çalışma gibi çok kriterli çalışmalarda EİEKY kullanılması karar verici açısından karar verme anında zaman ve karmaşıklık açısından daha uygundur. EİEKY'nin bir diğer avantajı da ağırlıkların daha tutarlı olmasıdır. Diğer bir ifade ile; aynı önem derecesine sahip kriterlerin aynı ağırlığa sahip olmasıdır. AHP'de bu durum değişkenlik göstermektedir. Aynı önem derecesine sahip olduğu halde farklı ağırlıklara sahip kriterler (doktor ve hastane sayısı) görülmektedir. EİEKY ise karar verici açısından pratik bir yöntem olmakla birlikte, karar vericinin konu hakkında uzman olması gerekliliği vardır.

Bu çalışmada, kriterlerin otomatik olarak güncellenmesi açısından, değişim analizi ve sınıflandırma aşamaları tam otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Veri kaynaklarının genişlemesi ve teknolojinin ilerlemesi ile diğer bölgelere uygulanabilecek kıyısal kırılganlık analizlerini, uygun parametre analizleri ile tam otomatik hale getirilmesini sağlayacaktır.

Kıyısal kırılganlığın tespitinde en büyük zorluk ve engel ise kıyı tipi kriteridir. Kıyı tipi kriteri, yüksek çözünürlüklü verilerin ücretsiz sağlanamamasından ve ayırmayı kolaylaştıracak yakın kızılötesi, kısa dalga kızılötesi gibi bantları içermemesinden

dolayı manuel sayısallaştırılmıştır.

Sonuç olarak, kıyısal kırılganlığın yüksek olduğu alanlar incelenirse, İstanbul'da yüksek kırılganlık çıkan bölgelerde ortak özellik olarak, eğim ve yüksekliklerin düşük, nüfus yoğunluklarının ise yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, İstanbul ili kıyılarının neredeyse tamamı yapay kıyı tipi ile kaplıdır. Burada, kırılganlık katsayısı 3'tür ve kıyısal kırılganlığa etkisi orta düzeydedir. Benzer bir durum Yalova ili için de geçerlidir. Fakat bu bölgedeki eğim kriterinin kıyısal kırılganlık katsayısı İstanbul ili kadar yüksek değildir. Yalova ilinde eğim kriterinden ziyade kırılganlığı kıyı tipi etkilemiştir. Yapay yapıların da olmasına rağmen, nehir ağızları ve sahiller kırılganlık artıran faktörlerdir. Çınarcık kıyı alanlarında da eğim, yükseklik ve kıyı tipi kriterlerinin etkisi ile kıyısal kırılganlığı yüksek çıkmıştır. Kırılganlığı yüksek çıkan bir başka alan ise Dalyan ve Arapçiftliği Gölleri'nin olduğu bölgedir. Burada hem kıyı tipi, hem eğim, hem de yükseklik çok yüksek kırılganlık katsayısına sahiptir. Ayrıca, bu alan nehir ağzında olan bir bölgedir. Bu da kırılganlığın yüksek çıkmasına sebep olmuştur. Balıkesir ili incelendiğinde, Erdek Yarımadası ve Bandırma'da kırılganlığın yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun en önemli sebebi deniz seviyesi değişimi kriteridir. Bunun yanında eğimi ve yüksekliği düşük bir bölge olması da diğer etkileyen faktörler arasındadır. Kıyı tipi kriteri de bu bölgede yüksek kırılganlık katsayısına sahip olan kumsal plaj ağırlıklıdır. Erdek Yarımadası'nın falezler olan kısmının kırılganlığı düşük çıkmıştır. Kıyı tipinin kırılganlık üzerindeki etkisi görülebilmektedir. Çanakkale ilinin Anadolu yakasında, Balıkesir iline yakın yerlerde kırılganlık orta ve yüksek derecede belirlenmiştir. Bu bölgelerin kumsal plaj ve sulak alanlar olması, eğimin düze yakın olması ve yüksekliklerin düşük olması en büyük etkenler arasındadır.

Kıyısal kırılganlık çalışmalarındaki en büyük zorluklardan biri, verilerin sağlanmasıdır. Bu çalışmada saha çalışması olmaksızın sadece uzaktan algılama ve istatistiksel veriler kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Veri kaynakları açık ve ücretsiz olarak kullanılmıştır. Bu durum bazı olumsuz yönleri de beraberinde getirmiştir. Örneğin; kriterlerden birisi olan deniz seviyesi değişimini için sadece üç mareograf istasyonundan veri temin edilmiştir. Bu durum ise geniş çaplı bir çalışma için yeterli değildir. Karadeniz, Ege ve Marmara Denizi arasındaki yükseklik farklarından bu iki denizdeki istasyonlar çalışmaya dahil edilememiş sadece Marmara denizi içinde bulunan istasyonlar kullanılmıştır. Bu verilerden üretilmiş olan deniz seviyesi değişimi, kriter doğruluğunu düşürmektedir. Ayrıca gelgit aralığı, dalga boyu yüksekliği gibi fiziksel anlamda kıyı alanlarını etkileyen kriterler de çalışmaya dahil edilmek istenmiş fakat veri yetersizliğinden dolayı bu mümkün olamamıştır. Bu iki veri Karadeniz, Ege ve Akdeniz için bulunmakta iken, Marmara Denizi için yeterli doğrulukta bir veriye rastlanmamıştır. Bu çalışmada, mekânsal verilerin bulunmamasından dolayı çevresel kriterler doğrudan dahil edilememiştir. Bu

sebeple arazi kullanımı, kıyı tipi gibi kriterlerin altına dahil edilerek hesaplama gerçekleştirilmiştir. Bu durum çalışmada incelenen kırılganlığın çevresel yönlerindeki etkilerini az da olsa düşürmektedir.

Bu çalışmanın bilimsel değeri incelendiğinde Mayıs 2022 yılı itibari ile EİEKY kullanılarak kıyısal kırılganlık analizi gerçekleştirilen dünya da ilk çalışmalardan biridir. Ayrıca, tüm Marmara denizini kıyısal kırılganlık açısından kapsamlı bir şekilde değerlendiren ilk çalışma olması da önem arz etmektedir. Bu çalışmanın bir diğer önemli katkısı ise bu çalışmada önerilen yöntem ile elde edilen kıyısal kırılganlık, sadece Marmara Bölgesi ile sınırlı kalmayıp, bu yöntemin Türkiye'nin tüm kıyılarına uygulanabilir olmasıdır. Bu amaçla, fiziksel ve sosyal parametreler standartlaştırılabilir ve tüm kıyılarda belirlenen parametreler ile analizler yapılabilir. Standartlaştırılmış bir kıyısal kırılganlık analizi olduğu takdirde bu analizleri otomatikleştirme ve güncelleme çok daha kolay ve pratik olacaktır. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan kriterler, ücretsiz ve herkesin erişimi olan verilerden üretildiği için farklı bölgelerdeki kıyılarda da uygulanabilirliği mümkündür. Bu katkıların yanı sıra, bu çalışma kapsamında eklenmesi mümkün olmayan, gelgit aralığı ve dalga boyu gibi kriterler de ileriki çalışmalarda önerilen modele dahil edilerek kıyısal kırılganlığın doğruluğu yükseltilebilir.

Bu çalışma kapsamında günümüz kriterleri ve koşulları dikkate alınarak mevcut durum analiz edilmiş ve kırılganlık analizi gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında gerçekleştirilen değişim analizleri geliştirilerek ileriye yönelik tahmin ve gelecek projeksiyonları oluşturularak gerekli tedbir ve önlemler yerel ve özel yönetimlerin kullanımına sunulabilir. Böylece, yıllara göre olan değişimler incelenerek, afetlere karşı planlamaların yapılabilmesi için ileriye dönük acil eylem tedbirleri hazırlanabilir. Bu değerlendirmeler sonucunda olası afetlerden oluşabilecek zararlar en aza indirilebilir. İklim değişikliği kapsamında kıyı alanlarında suların yükselmesi ile ortaya çıkabilecek olan su baskınları ve taşkınların modellenmesi ile gerekli acil önlemler alınabilecektir.

KAYNAKÇA

[1] A. Hamid, A. Din, N. Abdullah, N. Yusof, M. Hamid, A. Shah, "Exploring space geodetic technology for physical coastal vulnerability index and management strategies: A review," *Ocean & Coastal Management*, vol. 214, p. 105 916, 2021.

[2] A. Bevacqua, D. Yu, Y. Zhang, "Coastal vulnerability: Evolving concepts in understanding vulnerable people and places," *Environmental Science & Policy*, vol. 82, pp. 19–29, 2018.

[3] V. Gornitz, "Global coastal hazards from future sea level rise," *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 89, no. 4, pp. 379–398, 1991.

[4] V. M. Gornitz, R. C. Daniels, T. W. White, K. R. Birdwell, "The development of a coastal risk assessment database: Vulnerability to sea-level rise in the us southeast," *Journal of coastal research*, pp. 327–338, 1994.

[5] T. S. Kumar, R. Mahendra, S. Nayak, K. Radhakrishnan, K. Sahu, "Coastal vulnerability assessment for orissa state, east coast of india," *Journal of Coastal Research*, vol. 26, no. 3, pp. 523–534, 2010.

[6] K. Gaki-Papanastassiou, E. Karymbalis, S. E. Poulos, A. Seni, C. Zouva, "Coastal vulnerability assessment to sea-level rise bαsed on geomorphological and oceanographical parameters: The case of argolikos gulf, peloponnese, greece," *Hellenic Journal of Geosciences*, vol. 45, no. 45, pp. 109–122, 2010.

[7] G. Ozyurt, A. Ergin, C. Baykal, "Coastal vulnerability assessment to sea level rise integrated with analytical hierarchy process," *Coastal Engineering Proceedings*, no. 32, pp. 6–6, 2010.

[8] B. Palmer *et al.*, "Preliminary coastal vulnerability assessment for kwazulu-natal, south africa," *Journal of Coastal Research*, pp. 1390–1395, 2011.

[9] F. Duriyapong, K. Nakhapakorn, "Coastal vulnerability assessment: A case study of samut sakhon coastal zone.," *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, vol. 33, no. 4, 2011.

[10] A. Arun Kumar, P. D. Kunte, "Coastal vulnerability assessment for chennai, east coast of india using geospatial techniques," *Natural Hazards*, vol. 64, no. 1, pp. 853–872, 2012.

[11] J. Yin, Z. Yin, J. Wang, S. Xu, "National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise for the chinese coast," *Journal of Coastal Conservation*, vol. 16, no. 1, pp. 123–133, 2012.

[12] K. A. Addo, “Assessing coastal vulnerability index to climate change: The case of accra–ghana,” *Journal of Coastal Research*, no. 65 (10065), pp. 1892–1897, 2013.

[13] G. Le Cozannet *et al.*, “An ahp-derived method for mapping the physical vulnerability of coastal areas at regional scales,” *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 13, no. 5, pp. 1209–1227, 2013.

[14] P. M. Orencio, M. Fujii, “A localized disaster-resilience index to assess coastal communities based on an analytic hierarchy process (ahp),” *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 3, pp. 62–75, 2013.

[15] F. A. Loinenak, A. Hartoko, M. R. Muskananfola, “Mapping of coastal vulnerability using the coastal vulnerability index and geographic information system,” *International Journal of Technology*, vol. 6, no. 5, pp. 819–827, 2015.

[16] I. Bagdanavičiūtė, L. Kelpšaitė, T. Soomere, “Multi-criteria evaluation approach to coastal vulnerability index development in micro-tidal low-lying areas,” *Ocean & Coastal Management*, vol. 104, pp. 124–135, 2015.

[17] M. M. El-Hattab *et al.*, “Improving coastal vulnerability index of the nile delta coastal zone, egypt,” *Journal of Earth Science & Climatic Change*, vol. 6, no. 8, p. 293, 2015.

[18] M. Mahapatra, R. Ramakrishnan, A. Rajawat, “Coastal vulnerability assessment using analytical hierarchical process for south gujarat coast, india,” *Natural Hazards*, vol. 76, no. 1, pp. 139–159, 2015.

[19] L. Lin, P. Pussella, “Assessment of vulnerability for coastal erosion with gis and ahp techniques case study: Southern coastline of sri lanka,” *Natural Resource Modeling*, vol. 30, no. 4, e12146, 2017.

[20] D. L. Moffitt, L. Kumar, “Remote sensing of a shallow, fringing reef platform for analysis of island sector susceptibility and development of a coastal vulnerability index,” *Journal of Coastal Research*, vol. 34, no. 1, pp. 122–135, 2018.

[21] D. Pantusa, F. D’Alessandro, L. Riefolo, F. Principato, G. R. Tomasicchio, “Application of a coastal vulnerability index. a case study along the apulian coastline, italy,” *Water*, vol. 10, no. 9, p. 1218, 2018.

[22] R. A. Tano, A. Aman, E. Toualy, Y. K. Kouadio, B. B. D. François-Xavier, K. A. Addo, “Development of an integrated coastal vulnerability index for the ivorian coast in west africa,” *Journal of Environmental Protection*, vol. 9, no. 11, pp. 1171–1184, 2018.

[23] K. Kantamaneni, M. Phillips, T. Thomas, R. Jenkins, “Assessing coastal vulnerability: Development of a combined physical and economic index,” *Ocean & Coastal Management*, vol. 158, pp. 164–175, 2018.

[24] R. Mani Murali, M. Ankita, S. Amrita, P. Vethamony, “Coastal vulnerability assessment of puducherry coast, india, using the analytical hierarchical process,” *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 13, no. 12, pp. 3291–3311, 2013.

[25] A. Ghosh, S. K. Kar, “Application of analytical hierarchy process (ahp) for flood risk assessment: A case study in malda district of west bengal, india,” *Natural Hazards*, vol. 94, no. 1, pp. 349–368, 2018.

[26] M. R. I. Baig, I. A. Ahmad, M. Tayyab, M. S. Asgher, A. Rahman, *et al.*, "Coastal vulnerability mapping by integrating geospatial techniques and analytical hierarchy process (ahp) along the vishakhapatnam coastal tract, andhra pradesh, india," *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, vol. 49, no. 2, pp. 215–231, 2021.

[27] J. C. Araujo, F. F. Dias, "Multicriterial method of ahp analysis for the identification of coastal vulnerability regarding the rise of sea level: Case study in ilha grande bay, rio de janeiro, brazil," *Natural Hazards*, vol. 107, no. 1, pp. 53–72, 2021.

[28] E. Furlan, P. Dalla Pozza, M. Michetti, S. Torresan, A. Critto, A. Marcomini, "Development of a multi-dimensional coastal vulnerability index: Assessing vulnerability to inundation scenarios in the italian coast," *Science of The Total Environment*, vol. 772, p. 144 650, 2021.

[29] P. Godwyn-Paulson *et al.*, "Multi-hazard risk assessment of coastal municipalities of oaxaca, southwestern mexico: An index based remote sensing and geospatial technique," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, p. 103 041, 2022.

[30] S. Rajakumari, A. Minnu, K. Sarunjith, "Determination of vulnerable zones along brahmapur coast, odisha using ahp and gis with validation against multiple cyclones," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 194, no. 4, pp. 1–19, 2022.

[31] S. A. Hossain, I. Mondal, S. Thakur, A. M. F. Al-Quraishi, "Coastal vulnerability assessment of india's purba medinipur-balasore coastal stretch: A comparative study using empirical models," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, p. 103 065, 2022.

[32] J. Wu, X. Chen, J. Lu, "Assessment of long and short-term flood risk using the multi-criteria analysis model with the ahp-entropy method in poyang lake basin," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 75, p. 102 968, 2022.

[33] T. A. Ngo, X. H. Nguyen, P. T. T. Truong, T. V. Phan, "Flood risk mapping based on ahp, fuzzy and geomatics technology for lai giang basin in south-central coastal vietnam," in *CIGOS 2021, Emerging Technologies and Applications for Green Infrastructure*, Springer, 2022, pp. 1075–1083.

[34] B. C. Carvalho, J. V. Guerra, "Coastal vulnerability of rio de janeiro shoreline (se brazil) due to natural and social impacts," *Journal of Coastal Research*, vol. 95, no. SI, pp. 759–763, 2020.

[35] B. Sahoo, P. K. Bhaskaran, "Multi-hazard risk assessment of coastal vulnerability from tropical cyclones–a gis based approach for the odisha coast," *Journal of environmental management*, vol. 206, pp. 1166–1178, 2018.

[36] B. J. Boruff, C. Emrich, S. L. Cutter, "Erosion hazard vulnerability of us coastal counties," *Journal of Coastal research*, vol. 21, no. 5, pp. 932–942, 2005.

[37] A. Tragaki, C. Gallousi, E. Karymbalis, "Coastal hazard vulnerability assessment based on geomorphic, oceanographic and demographic parameters: The case of the peloponnese (southern greece)," *Land*, vol. 7, no. 2, p. 56, 2018.

[38] K. Ng, P. Borges, M. R. Phillips, A. Medeiros, H. Calado, "An integrated coastal vulnerability approach to small islands: The azores case," *Science of The Total Environment*, vol. 690, pp. 1218–1227, 2019.

[39] D. Idier *et al.*, "Vulnerability of sandy coasts to climate variability," *Climate research*, vol. 57, no. 1, pp. 19–44, 2013.

[40] J. A. DiLeo, "Vulnerability of caribbean island-nations to future climate change," Ph.D. dissertation, University of Miami, 2017.

[41] A. Sandhyavitri, F. Fatnanta, R. R. Husaini, I. Suprayogi, "Combination of a coastal vulnerability index (cvi) and social economic approaches in prioritizing the development of riau coastlines, indonesia," in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, vol. 276, 2019, p. 02 006.

[42] W. Yang, K. Xu, J. Lian, C. Ma, L. Bin, "Integrated flood vulnerability assessment approach based on topsis and shannon entropy methods," *Ecological Indicators*, vol. 89, pp. 269–280, 2018.

[43] C. Luu, J. von Meding, M. Mojtahedi, "Analyzing vietnam's national disaster loss database for flood risk assessment using multiple linear regression-topsis," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 40, p. 101 153, 2019.

[44] G. Lee, K.-S. Jun, E.-S. Chung, "Integrated multi-criteria flood vulnerability approach using fuzzy topsis and delphi technique," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 13, no. 5, pp. 1293–1312, 2013.

[45] G. Lee, K. S. Jun, E.-S. Chung, "Robust spatial flood vulnerability assessment for han river using fuzzy topsis with α-cut level set," *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 2, pp. 644–654, 2014.

[46] Z. Morteza, F. M. Reza, M. M. Seddiq, P. Sharareh, G. Jamal, "Selection of the optimal tourism site using the anp and fuzzy topsis in the framework of integrated coastal zone management: A case of qeshm island," *Ocean & coastal management*, vol. 130, pp. 179–187, 2016.

[47] T. Saaty, "The analytic hierarchy process (ahp) for decision making," in *Kobe, Japan*, 1980, pp. 1–69.

[48] M. Uzar, Z. Şener, "Suitable map analysis for wind energy projects using remote sensing and gis: A case study in turkey," *Environmental monitoring and assessment*, vol. 191, no. 7, pp. 1–17, 2019.

[49] G. Wang, L. Qin, G. Li, L. Chen, "Landfill site selection using spatial information technologies and ahp: A case study in beijing, china," *Journal of environmental management*, vol. 90, no. 8, pp. 2414–2421, 2009.

[50] X. Hu, C. Ma, P. Huang, X. Guo, "Ecological vulnerability assessment based on ahp-psr method and analysis of its single parameter sensitivity and spatial autocorrelation for ecological protection–a case of weifang city, china," *Ecological Indicators*, vol. 125, p. 107 464, 2021.

[51] B. Halder, J. Bandyopadhyay, P. Banik, "Assessment of hospital sites' suitability by spatial information technologies using ahp and gis-based multi-criteria approach of rajpur–sonarpur municipality," *Modeling Earth Systems and Environment*, vol. 6, no. 4, pp. 2581–2596, 2020.

[52] G. Palka, E. Oliveira, S. Pagliarin, A. M. Hersperger, "Strategic spatial planning and efficacy: An analytic hierarchy process (ahp) approach in lyon and copenhagen," *European planning studies*, vol. 29, no. 6, pp. 1174–1192, 2021.

[53] G. P. Siddayao, S. E. Valdez, P. L. Fernandez, "Analytic hierarchy process (ahp) in spatial modeling for floodplain risk assessment," *International Journal of Machine Learning and Computing*, vol. 4, no. 5, p. 450, 2014.

[54] H. Pasalari, R. N. Nodehi, A. H. Mahvi, K. Yaghmaeian, Z. Charrahi, "Landfill site selection using a hybrid system of ahp-fuzzy in gis environment: A case study in shiraz city, iran," *MethodsX*, vol. 6, pp. 1454–1466, 2019.

[55] J. J. Buckley, "Fuzzy hierarchical analysis," *Fuzzy sets and systems*, vol. 17, no. 3, pp. 233–247, 1985.

[56] S.-M. Chen, "Evaluating weapon systems using fuzzy arithmetic operations," *Fuzzy sets and systems*, vol. 77, no. 3, pp. 265–276, 1996.

[57] T. L. Saaty, "A scaling method for priorities in hierarchical structures," *Journal of mathematical psychology*, vol. 15, no. 3, pp. 234–281, 1977.

[58] J. Rezaei, "Best-worst multi-criteria decision-making method," *Omega*, vol. 53, pp. 49–57, 2015.

[59] M. Deveci, E. Özcan, R. John, D. Pamucar, H. Karaman, "Offshore wind farm site selection using interval rough numbers based best-worst method and marcos," *Applied Soft Computing*, vol. 109, p. 107 532, 2021.

[60] M. Golestani, F. Amiri, "Suitable site selection for avicennia marina plantation in the coastal region of bushehr, using best-worst multi-criteria decision-making method," *Iranian Journal of Applied Ecology*, vol. 10, no. 1, pp. 15–33, 2021.

[61] D. Chen, H. Xie, "Fire safety evaluation for scenic spots: An evidential best-worst method," *Journal of Mathematics*, vol. 2021, 2021.

[62] S. Kheybari, M. Kazemi, J. Rezaei, "Bioethanol facility location selection using best-worst method," *Applied energy*, vol. 242, pp. 612–623, 2019.

[63] S. Moslem, T. Campisi, A. Szmelter-Jarosz, S. Duleba, K. M. Nahiduzzaman, G. Tesoriere, "Best–worst method for modelling mobility choice after covid-19: Evidence from italy," *Sustainability*, vol. 12, no. 17, p. 6824, 2020.

[64] J. Rezaei, "Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model," *Omega*, vol. 64, pp. 126–130, 2016.

[65] M. Nazeer, M. Waqas, M. I. Shahzad, I. Zia, W. Wu, "Coastline vulnerability assessment through landsat and cubesats in a coastal mega city," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 5, p. 749, 2020.

[66] C. Gómez, M. A. Wulder, A. G. Dawson, W. Ritchie, D. R. Green, "Shoreline change and coastal vulnerability characterization with landsat imagery: A case study in the outer hebrides, scotland," *Scottish Geographical Journal*, vol. 130, no. 4, pp. 279–299, 2014.

[67] S. Kulp, B. H. Strauss, "Global dem errors underpredict coastal vulnerability to sea level rise and flooding," *Frontiers in Earth Science*, vol. 4, p. 36, 2016.

[68] K. Zhang *et al.*, "Accuracy assessment of aster, srtm, alos, and tdx dems for hispaniola and implications for mapping vulnerability to coastal flooding," *Remote Sensing of Environment*, vol. 225, pp. 290–306, 2019.

[69] F. Tătui *et al.*, "The black sea coastline erosion: Index-based sensitivity assessment and management-related issues," *Ocean & Coastal Management*, vol. 182, p. 104 949, 2019.

[70] T. Görmüş, B. Ayat, "Vulnerability assessment of southwestern black sea," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 35, no. 2, pp. 663–681, 2020.

[71] G. Özyurt, A. Ergin, "Application of sea level rise vulnerability assessment model to selected coastal areas of turkey," *Journal of Coastal Research*, pp. 248–251, 2009.

[72] A. C. Demirkesen, F. Evrendilek, S. Berberoglu, "Quantifying coastal inundation vulnerability of turkey to sea-level rise," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 138, no. 1, pp. 101–106, 2008.

[73] E. D. Kahraman, S. Aydın, "Deniz seviyesinin yükselmesi tehdidine karşı kıyı kentlerinin morfolojik açıdan kırılganlık düzeylerinin belirlenmesi," *TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*, pp. 675–681, 2016.

[74] Y. Atasoy Özdemir, "Vulnerability of coastal areas to climate change: Planning reconsidered at the case of fethiye-göcek special environmental protection area," M.S. thesis, Middle East Technical University, 2017.

[75] T. Görmüş, "Güney batı karadeniz kıyılarının deniz seviyesi yükselmelerine karşı kırılganlığının belirlenmesi," M.S. thesis, Yıldız Teknik Üniversitesi, Dec. 2017.

[76] A. Vespremeanu-Stroe, *Bs-stema: Changes in storminess and coastal erosion induced by climate variability along the black sea coasts. management and adaptation,*
`http://www.coastalresearch.ro/bs-stema/`, 2016.

[77] F. Aykut, "Coastal vulnerability assessment for mersin and iskenderun bays, northeastern mediterranean," M.S. thesis, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Feb. 2021.

[78] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Kıyı kanununun uygulanmasına dair yönetmelik*, `https://www.mevzuat.gov.tr/anasayfa/MevzuatFihristDetayIframe?MevzuatTur=7&MevzuatNo=4897&MevzuatTertip=5`, 2022.

[79] Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, *7121 sayılı kıyı kanunu*,
`https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.3621.pdf`, 2022.

[80] R. Pachauri, L. Meyer, *IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2014.

[81] J. Houghton *et al.*, *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press:Intergovernmental Panel on Climate Change., 2001.

[82] V. Paravolidakis, L. Ragia, K. Moirogiorgou, M. E. Zervakis, "Automatic coastline extraction using edge detection and optimization procedures," *Geosciences*, vol. 8, no. 11, p. 407, 2018.

[83] A. Koroglu, R. Ranasinghe, J. A. Jiménez, A. Dastgheib, "Comparison of coastal vulnerability index applications for barcelona province," *Ocean & coastal management*, vol. 178, p. 104 799, 2019.

[84] T. Zhang, X. Yang, S. Hu, F. Su, "Extraction of coastline in aquaculture coast from multispectral remote sensing images: Object-based region growing integrating edge detection," *Remote sensing*, vol. 5, no. 9, pp. 4470–4487, 2013.

[85] B. W. Heumann, "An object-based classification of mangroves using a hybrid decision tree—support vector machine approach," *Remote Sensing*, vol. 3, no. 11, pp. 2440–2460, 2011.

[86] A. Vittal Hegde, V. Radhakrishnan Reju, "Development of coastal vulnerability index for mangalore coast, india," *Journal of Coastal Research*, vol. 23, no. 5, pp. 1106–1111, 2007.

[87] S. L. Cutter, B. J. Boruff, W. L. Shirley, "Social vulnerability to environmental hazards," in *Hazards vulnerability and environmental justice*, Routledge, 2012, pp. 143–160.

[88] H. Ku, T. Kim, Y.-i. Song, "Coastal vulnerability assessment of sea-level rise associated with typhoon-induced surges in south korea," *Ocean & Coastal Management*, vol. 213, p. 105 884, 2021.

[89] E. R. Thieler, E. S. Hammar-Klose, "National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise; preliminary results for the us pacific coast," Tech. Rep., 2000.

[90] E. A. Pendleton, "Coastal vulnerability assessment of the northern gulf of mexico to sea-level rise and coastal change," 2010.

[91] M. R. A. Mullick, A. Tanim, S. S. Islam, "Coastal vulnerability analysis of bangladesh coast using fuzzy logic based geospatial techniques," *Ocean & Coastal Management*, vol. 174, pp. 154–169, 2019.

[92] K. Kantamaneni, A. Gallagher, X. Du, "Assessing and mapping regional coastal vulnerability for port environments and coastal cities," *Journal of Coastal Conservation*, vol. 23, no. 1, pp. 59–70, 2019.

[93] R. Bera, R. Maiti, "An assessment of coastal vulnerability using geospatial techniques," *Environmental Earth Sciences*, vol. 80, no. 8, pp. 1–18, 2021.

[94] H. İ. Zeybek, H. R. Bağcı, M. Bahadır, "Kızılırmak deltasında (samsun) kıyı çizgisi değişimlerinin bruun kuralına göre değerlendirilmesi," *The Journal of International Social Research*, vol. 11, no. 58, 2018.

[95] V. Sathiya Bama, S. Rajakumari, R. Ramesh, "Coastal vulnerability assessment of vedaranyam swamp coast based on land use and shoreline dynamics," *Natural Hazards*, vol. 100, no. 2, pp. 829–842, 2020.

[96] M. O. Oloyede, A. B. Williams, G. O. Ode, N. U. Benson, "Coastal vulnerability assessment: A case study of the nigerian coastline," *Sustainability*, vol. 14, no. 4, p. 2097, 2022.

[97] B. T. Gutierrez, N. G. Plant, E. R. Thieler, "A bayesian network to predict coastal vulnerability to sea level rise," *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, vol. 116, no. F2, 2011.

[98] B. Bryan, N. Harvey, T. Belperio, B. Bourman, "Distributed process modeling for regional assessment of coastal vulnerability to sea-level rise," *Environmental Modeling & Assessment*, vol. 6, no. 1, pp. 57–65, 2001.

[99] A. M. Martinez-Grana, T. Boski, J. L. Goy, C. Zazo, C. J. Dabrio, "Coastal-flood risk management in central algarve: Vulnerability and flood risk indices (south portugal)," *Ecological Indicators*, vol. 71, pp. 302–316, 2016.

[100] J. R. Bathi, H. S. Das, "Vulnerability of coastal communities from storm surge and flood disasters," *International journal of environmental research and public health*, vol. 13, no. 2, p. 239, 2016.

[101] C. Antunes, C. Rocha, C. Catita, "Coastal flood assessment due to sea level rise and extreme storm events: A case study of the atlantic coast of portugal's mainland," *Geosciences*, vol. 9, no. 5, p. 239, 2019.

[102] C. Rocha, C. Antunes, C. Catita, "Coastal vulnerability assessment due to sea level rise: The case study of the atlantic coast of mainland portugal," *Water*, vol. 12, no. 2, p. 360, 2020.

[103] M. Palmer, C. Domingues, A. Slangen, F. B. Dias, "An ensemble approach to quantify global mean sea-level rise over the 20th century from tide gauge reconstructions," *Environmental Research Letters*, vol. 16, no. 4, p. 044 043, 2021.

[104] V. Gornitz, T. W. White, R. M. Cushman, "Vulnerability of the us to future sea level rise," Oak Ridge National Lab., TN (USA), Tech. Rep., 1991.

[105] J. Hinkel, R. J. Klein, "Integrating knowledge to assess coastal vulnerability to sea-level rise: The development of the diva tool," *Global Environmental Change*, vol. 19, no. 3, pp. 384–395, 2009.

[106] M. López Royo, R. Ranasinghe, J. A. Jiménez, "A rapid, low-cost approach to coastal vulnerability assessment at a national level," *Journal of coastal research*, vol. 32, no. 4, pp. 932–945, 2016.

[107] B. Satyanarayana *et al.*, "Island-wide coastal vulnerability assessment of sri lanka reveals that sand dunes, planted trees and natural vegetation may play a role as potential barriers against ocean surges," *Global Ecology and Conservation*, vol. 12, pp. 144–157, 2017.

[108] N. Tanaka, "Vegetation bioshields for tsunami mitigation: Review of effectiveness, limitations, construction, and sustainable management," *Landscape and Ecological Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 71–79, 2009.

[109] M. Kaplan, F. Renaud, G. Lüchters, "Vulnerability assessment and protective effects of coastal vegetation during the 2004 tsunami in sri lanka," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 9, no. 4, pp. 1479–1494, 2009.

[110] D. R. Schoolmaster, C. L. Stagg, L. A. Sharp, T. E. McGinnis, B. Wood, S. C. Piazza, "Vegetation cover, tidal amplitude and land area predict short-term marsh vulnerability in coastal louisiana," *Ecosystems*, vol. 21, no. 7, pp. 1335–1347, 2018.

[111] M. Sahana, S. Rehman, A. K. Paul, H. Sajjad, "Assessing socio-economic vulnerability to climate change-induced disasters: Evidence from sundarban biosphere reserve, india," *Geology, Ecology, and Landscapes*, vol. 5, no. 1, pp. 40–52, 2021.

[112] M. Z. Hoque, M. E. Haque, M. S. Islam, "Mapping integrated vulnerability of coastal agricultural livelihood to climate change in bangladesh: Implications for spatial adaptation planning," *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vol. 125, p. 103 080, 2022.

[113] Y. Huang, F. Li, X. Bai, S. Cui, "Comparing vulnerability of coastal communities to land use change: Analytical framework and a case study in china," *Environmental Science & Policy*, vol. 23, pp. 133–143, 2012.

[114] A. Singh, "Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data," *International journal of remote sensing*, vol. 10, no. 6, pp. 989–1003, 1989.

[115] D. Mao *et al.*, "National wetland mapping in china: A new product resulting from object-based and hierarchical classification of landsat 8 oli images," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 164, pp. 11–25, 2020.

[116] A. Hedayati, M. H. Vahidnia, S. Behzadi, "Paddy lands detection using landsat-8 satellite images and object-based classification in rasht city, iran," *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, vol. 25, no. 1, pp. 73–84, 2022.

[117] A. Zaki, I. Buchori, A. W. Sejati, Y. Liu, "An object-based image analysis in qgis for image classification and assessment of coastal spatial planning," *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, vol. 25, no. 2, pp. 349–359, 2022.

[118] M. Uzar, "Otomatik bina çıkarımı uygulamalarında çoklu algılama sistemi verilerinin kullanım olanaklarının analizi," Ph.D. dissertation, Yıldız Teknik Üniversites, Jul. 2012.

[119] Z. Şener, "Çoklu algılama sistemi verilerinden mekansal nesne çıkarımında ontoloji kullanımı ve değerlendirilmesi," Ph.D. dissertation, Yıldız Teknik Üniversites, Nov. 2019.

[120] Trimble, *eCognition Developer Reference Book*. Trimble, 2014.

[121] R. G. Congalton, K. Green, *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC press, 2019.

[122] P. Rastgoo, B. Ramezani, P. Rezaei, "Comparison of cvi and ahp methods in drought assessment and climate vulnerability assessment of guilan province," *Physical Geography Quarterly*, vol. 14, no. 54, pp. 73–86, 2022.

[123] J. Malczewski, *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons, 1999.

[124] J. Malczewski, C. Rinner, *Multicriteria decision analysis in geographic information science*. Springer, 2015, vol. 1.

[125] R. Sugumaran, J. Degroote, *Spatial decision support systems: principles and practices*. Crc Press, 2010.

[126] T. Saaty, W. Roseanna, "The analytic hierarchy process—what it is and how it is used," *Mathematical modelling*, vol. 9, no. 3-5, pp. 161–176, 1987.

[127] M. Uzar, H. Koca, "Güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi için uygunluk haritasının oluşturulmasında klasik ve bulanık mantığa dayalı yöntemlerin analizi: Menemen örneği," *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, vol. 7, no. 1, pp. 11–28, 2020.

[128] A. Wicaksono, P. Wicaksono, "Geometric accuracy assessment for shoreline derived from ndwi, mndwi, and awei transformation on various coastal physical typology in jepara regency using landsat 8 oli imagery in 2018," *Geoplanning J. Geomat. Plan*, vol. 6, no. 1, pp. 55–72, 2019.

[129] T. I. Colak, G. Senel, C. Goksel, "Coastline zone extraction using landsat-8 oli imagery, case study: Bodrum peninsula, turkey," *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 42, pp. 101–104, 2019.

[130] U. N. Nguyen, L. T. Pham, T. D. Dang, "An automatic water detection approach using landsat 8 oli and google earth engine cloud computing to map lakes and reservoirs in new zealand," *Environmental monitoring and assessment*, vol. 191, no. 4, pp. 1–12, 2019.

[131] M. R. I. Baig, I. A. Ahmad, Shahfahad, M. Tayyab, A. Rahman, "Analysis of shoreline changes in vishakhapatnam coastal tract of andhra pradesh, india: An application of digital shoreline analysis system (dsas)," *Annals of GIS*, vol. 26, no. 4, pp. 361–376, 2020.

[132] A. G. Al-Zubieri, I. M. Ghandour, R. A. Bantan, A. S. Basaham, "Shoreline evolution between al lith and ras mahāsin on the red sea coast, saudi arabia using gis and dsas techniques," *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, vol. 48, no. 10, pp. 1455–1470, 2020.

[133] ESRI, *Arcgis imagery basemap*, `https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9`, 2022.

[134] A. Singh, S. Pathirana, H. Shi, *Assessing coastal vulnerability: developing a global index for measuring risk*. UNEP/Earthprint, 2005.

A
HATA MATRİSLERİ

1985-1 uydu görüntüsü için hata matrisi

Sınıf	Deniz	Kara	Göl	Ada	Toplam	Kullanıcı
Deniz	231	14	1	10	256	0.902
Kara	12	273	0	0	285	0.958
Göl	9	1	91	0	101	0.901
Ada	4	5	0	89	98	0.908
Toplam	256	293	92	99	740	
Üretici	0.902	0.932	0.989	0.899		
Genel Doğruluk	0.924		Kappa	0.830		

1985-2 uydu görüntüsü için hata matrisi

Sınıf	Deniz	Kara	Göl	Ada	Toplam	Kullanıcı
Deniz	168	10	3	0	181	0.928
Kara	19	145	1	1	166	0.873
Göl	0	5	45	0	50	0.900
Ada	0	1	0	10	11	0.909
Toplam	187	161	49	11	408	
Üretici	0.898	0.901	0.918	0.909		
Genel Doğruluk	0.902		Kappa	0.827		

1985-3 uydu görüntüsü için hata matrisi

Sınıf	Deniz	Kara	Göl	Ada	Toplam	Kullanıcı
Deniz	233	10	1	2	246	0.947
Kara	15	273	0	0	288	0.948
Göl	4	1	70	0	75	0.933
Ada	2	1	0	69	72	0.958
Toplam	254	285	71	71	681	
Üretici	0.917	0.958	0.986	0.972		
Genel Doğruluk	0.947		Kappa	0.887		

1985-4 uydu görüntüsü için hata matrisi

Sınıf	Deniz	Kara	Göl	Ada	Toplam	Kullanıcı
Deniz	224	15	3	2	244	0.918
Kara	9	250	4	0	263	0.951
Göl	3	5	60	1	69	0.870
Ada	7	2	3	59	71	0.831
Toplam	243	272	70	62	647	
Üretici	0.922	0.919	0.857	0.952		
Genel Doğruluk	0.917		Kappa	0.823		

2021-1 uydu görüntüsü için hata matrisi

Sınıf	Deniz	Kara	Göl	Ada	Toplam	Kullanıcı
Deniz	198	8	0	7	213	0.930
Kara	5	211	0	2	218	0.968
Göl	0	1	35	0	36	0.972
Ada	8	1	3	35	47	0.745
Toplam	211	221	38	44	514	
Üretici	0.938	0.955	0.921	0.795		
Genel Doğruluk	0.932		Kappa	0.854		

2021-2 uydu görüntüsü için hata matrisi

Sınıf	Deniz	Kara	Göl	Ada	Toplam	Kullanıcı
Deniz	177	11	0	7	195	0.908
Kara	3	209	0	1	213	0.981
Göl	1	4	46	3	54	0.852
Ada	9	5	4	40	58	0.690
Toplam	190	229	50	51	520	
Üretici	0.932	0.913	0.920	0.784		
Genel Doğruluk	0.908		Kappa	0.801		

2021-3 uydu görüntüsü için hata matrisi

Sınıf	Deniz	Kara	Göl	Ada	Toplam	Kullanıcı
Deniz	152	5	1	2	160	0.950
Kara	21	167	3	2	193	0.865
Göl	0	2	66	1	69	0.957
Ada	0	5	2	33	40	0.825
Toplam	173	179	72	38	462	
Üretici	0.879	0.933	0.917	0.868		
Genel Doğruluk	0.905		Kappa	0.816		

2021-4 uydu görüntüsü için hata matrisi

Sınıf	Deniz	Kara	Göl	Ada	Toplam	Kullanıcı
Deniz	208	16	1	7	232	0.897
Kara	7	240	2	6	255	0.941
Göl	3	2	56	2	63	0.889
Ada	13	2	7	54	76	0.711
Toplam	231	260	66	69	626	
Üretici	0.900	0.923	0.848	0.783		
Genel Doğruluk	0.891		Kappa	0.760		

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirisi

1. Arda T. ve Uzar M., (2021). "Monitoring the Change of Coastline with Remote Sensing and GIS: A Case Study from Izmit and Gemlik Gulfs, Turkey", Intercontinental Geoinformation Days (IGD), s. 97-100, Mersin, Turkey.