

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI
FİZİKİ COĞRAFYA BİLİMDALI

**KIZILIRMAK DELTASINDA KIYI EROZYONU ÜZERİNDE BARAJLARIN
ETKİSİ**

Doktora Tezi

Ersin ATEŞ

Ankara, 2023

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI
FİZİKİ COĞRAFYA BİLİMDALI

**KIZILIRMAK DELTASINDA KIYI EROZYONU ÜZERİNDE BARAJLARIN
ETKİSİ**

Doktora Tezi
Ersin ATEŞ

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Erkan YILMAZ

Ankara, 2023

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI
FİZİKİ COĞRAFYA BİLİMDALI**

**KIZILIRMAK DELTASINDA KIYI EROZYONU ÜZERİNDE BARAJLARIN
ETKİSİ**

Doktora Tezi

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Erkan YILMAZ**

Tez Jürisi Üyeleri

Adı Soyadı

- 1- Doç.Dr. Erkan YILMAZ**
- 2- Prof.Dr. İhsan ÇİÇEK**
- 3- Prof.Dr. Necla TÜRKOĞLU**
- 4- Prof.Dr. Murat GÜL**
- 5 -Doç.Dr. Ebru AKKÖPRÜ**

**Tez Savunması Tarihi
05/09/2023**

T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYALBİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Doç.Dr. Erkan YILMAZ danışmanlığında hazırladığım “Kızılırmak Deltasında Kıyı Erozyonu Üzerinde Barajların Etkisi (Ankara, 2023)” adlı doktora tezindeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

02.10.2023

Ersin ATEŞ

İmzası

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
KISALTMALAR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLO DİZİNİ	viii
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırma Problemi.....	1
1.2. Tezin Amacı ve Önemi.....	1
1.3. Literatür İncelemesi	2
1.3.1. Kıyı Çizgisi Değişimini Etkileyen Faktörler.....	4
1.3.1.1. Barajların Etkisi	5
Ekonomik Etkiler;.....	6
Sosyal Etkiler:.....	7
Çevresel Etkiler:	8
1.3.1.2. Diğer Faktörler.....	11
1.3.2. Dünya’da ve Türkiye’deki Kıyı Çizgi Değişim Analizleri	19
1.3.3. Kızılırmak Deltasında Yapılan Kıyı Çizgisi Değişim Çalışmaları	22
1. ÇALIŞMA ALANI	25
1.1. Kızılırmak Havzasının Genel Özellikleri	25
1.2. Kızılırmak Deltasının Genel Özellikleri	33
2. MATERYAL YÖNTEM	36
2.1.1. Dijital Kıyı Analiz Sistemi (Digital Shoreline Analysis System - DSAS) ...	40
2.1.2. Kızılırmak Havzasının Erozyon Potansiyel Modeli (EPM).....	42
2.2. Kıyı Etkilenebilirliği İndeksi (Coastal Vulnerability Index - CVI).....	50
2.3. Araştırmanın Kısıtlamaları	53

3. BULGULAR.....	54
3.1. Kızılırmak Havzası Erozyon Potansiyel Modeli (Erosion Potential Model - EPM)	
54	
3.2. Kızılırmak Alt Havzalarının Barajlara Göre Yeniden Belirlenmesi.....	65
3.3. Kızılırmak Deltasının Değişim Dönemleri.....	72
3.3.1. 1664-1960 Dönemindeki Kıyı Değişimi ve Gelişimi	73
3.3.2. 1961-1990 Dönemindeki Kıyı Değişimi ve Gelişimi	83
3.3.3. 1991-2020 Dönemindeki Kıyı Değişimi ve Gelişimi	89
3.4. Kıyı Etkilenebilirliği İndeksi (Coastal Vulnerability Index, CVI)	95
3.5. Barajların Akım ve Kıyı Değişimi Üzerindeki Etkisi.....	98
4. TARTIŞMA	103
5. SONUÇ	115
6. KAYNAKÇA	117
ÖZET	131
ABSTRACT	132

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CHELSEA	: Climatologies at High Resolution for the Earth's Land Surface Areas
CPM	: Change Polygon Method
CVI	: Coastal Vulnerability Index
DSAS	: Digital Shoreline Analysis System
DSİ	: Devlet Su İşleri
EPM	: Erosion Potential Method
EOROSEM	: European Soil Erosion Model
HES	: Hidro Elektrik Santrali
IDW	: Inverse Distance Weighting
IPCC	: The Intergovernmental Panel on Climate Change
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
MUSLE	: Modified Universal Soil Loss Equation
PESERA	: Pan-European Soil Erosion Risk Assessment
PEFECT	: Productivity, Erosion and Runoff, Functions to Evaluate Conservation Techniques
RAMSAR	: Özellikle Su Kuşları Yaşama Ortamı Olarak Uluslararası Öneme Sahip Sulak Alanlar Hakkında Sözleşme
RUSLE	: Revised Universal Soil Loss Equation
SWAT	: The Soil and Water Assessment Tool
TUDES	: Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi
TUSAGA	: Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı
UA	: Uzaktan Algılama
USLE	: Universal Soil Loss Equation

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1 DSİ'nin Kızılırmak Havzasına ait alt havzaları	26
Şekil 2 Kızılırmak Havzasının yükselti basamakları (m).....	27
Şekil 3 Kızılırmak Havzasının eğim haritası (%).....	28
Şekil 4 Kızılırmak Havzasının kayalara göre sınıflandırılmış jeolojisi.....	29
Şekil 5 Kızılırmak Havzasının toprak haritası.....	31
Şekil 6 Kızılırmak Havzasına ait bitki dağılım haritası.....	32
Şekil 7. Kızılırmak Deltası koruma alanlarını ve jeomorfolojik birimlerini gösterir harita	33
Şekil 8 Kızılırmak Deltası kuş gözlem sahası	34
Şekil 9 Kızılırmak Deltasında yer alan yabani atlar (yılık atları), sazlık alanlar ve çeltik tarım alanları.....	34
Şekil 10 Kızılırmak Deltasında yer alan manda üreticiliği, büyükbaş ve küçükbaş hayvancılık faaliyetleri	35
Şekil 11 Kızılırmak Deltasında yer alan geniş ve iğne yapraklı ağaç alanları, tarım arazileri.	35
Şekil 12 Kızılırmak Deltasına yerleştirilen dikey ve yatay mahmuzlar (dalga kıranlar)	35
Şekil 13 Kızılırmak Havzası içerisinde yer alan akım gözlem istasyonları	37
Şekil 14 Kızılırmak Havzasında yer alan sediment gözlem istasyonları, barajlar ve göletler.....	37
Şekil 15 Kızılırmak Deltasının morfografya, deniz seviyesi ve dalga boyunu gösterir harita	52
Şekil 16 Kızılırmak Havzasının sıcaklık verilerine göre belirlenmiş T katsayısı (T Faktörü)	55
Şekil 17 Kızılırmak Havzasının yıllık ortalama toplam yağış verilerine göre belirlenmiş H katsayısı (H Faktörü)	56

Şekil 18 Kızılırmak Havzasının jeolojik birimlere göre belirlenmiş Y katsayısı (Y Faktörü)	58
Şekil 19 Kızılırmak Havzasının CORINE sınıflarına göre belirlenmiş X_a katsayısı (X_a Faktörü)	59
Şekil 20 Kızılırmak Havzasının tip ve alan özelliklerine göre belirlenmiş Θ katsayısı (Θ Faktörü).	60
Şekil 21 Kızılırmak Havzasının eğim sınıflarına göre belirlenmiş J_a katsayısı (J_a Faktörü)	61
Şekil 22 Kızılırmak Havzasının Y, X_a , Θ ve J_a faktörlerine göre belirlenmiş Z katsayısı (Z Faktörü).....	62
Şekil 23 Kızılırmak Havzasının yıllık erozyon hacmi $m^3/ha/yıl$ (W_a Faktörü)	64
Şekil 24 Barajlar temel alınarak düzenlenen havza alanları.....	67
Şekil 25 Kızılırmak Havzasının baraj işletme tarihleri, havzanın erozyon hacmi ve gerçek sediment iletim miktarına göre belirlenen baraj havzaları	72
Şekil 26 1664 yılına ait Türk İmparatorluğu ve Sınırlarının Haritası.....	74
Şekil 27 a) 1812 yılına ait Küçük Asya haritası b) 1816 yılına ait Delhi ve Konstantinopolis Arasındaki Ülkelerin Ana Hatları haritası.....	75
Şekil 28 a) 1829 yılına ait “Asya’da Türkiye” haritası b) 1846 yılına ait Asya’da Türkiye	75
Şekil 29 a) 1853 yılına ait Asya’daki Türk İmparatorluğu Haritası b) 1864 yılına ait Asya Türkiye’si haritası.....	76
Şekil 30 a) 1875 yılına ait Doğu Avrupa’yı içerir harita b) 1893 yılına ait Asya’da Türkiye (Küçük Asya) ve Transkafkasya haritası.....	77
Şekil 31 a) 1904 yılına ait Küçük Asya, Kafkaslar, Karadeniz haritası b) 1914 yılına ait Sinop haritası	78

Şekil 32 a) 1929 yılına ait Türkiye, Suriye, Filistin Haritası b) 1945 yılına ait Samsun/Bafra Haritası.....	79
Şekil 33 1959 yılına ait Batı Türkiye haritası.....	79
Şekil 34 Kızılırmak Deltasına ait kıyı çizgisi değişimi (m) (1954-1962)	81
Şekil 35 Yahşihan Akım Gözlem İstasyonunun aylık ortalama akım değerleri (m^3/sn) (1939-1960)	82
Şekil 36 Yahşihan Akım Gözlem İstasyonunun yıllık ortalama akım değerleri (m^3/sn) (1939-1960).....	83
Şekil 37 Yahşihan Akım Gözlem İstasyonunun aylık ortalama akım değerleri (m^3/sn) (1963-1990)	84
Şekil 38 Yahşihan Akım Gözlem İstasyonunun yıllık ortalama akım değerleri ortalaması (m^3/sn) (1963-1990)	85
Şekil 39 Kızılırmak Havzasının yıllık toplam yağış ortalaması (mm) (1979-1990)	85
Şekil 40 Kızılırmak Deltasının yıllık kıyı çizgisi değişimi (m) (1966-1990)	86
Şekil 41 Kızılırmak Deltasının doğu ve batı kıyısına ait yıllık kıyı çizgisi değişim (m) (1962-1990)	87
Şekil 42 Kızılırmak Deltasının kıyı çizgisi değişimi (m) (1966-1990).....	88
Şekil 43 Kızılırmak Deltasının yıllara göre alan değişimi (km^2) (1966-1990)	89
Şekil 44 Yahşihan Akım Gözlem İstasyonuna ait aylık ortalama akım değerleri (m^3/sn) (1991-2011).....	90
Şekil 45 Yahşihan Akım Gözlem İstasyonuna ait yıllık ortalama akım değerleri (m^3/sn) (1991-2011).....	91
Şekil 46 Kızılırmak Havzası yıllık toplam yağış ortalaması (mm) (1991-2013)	91
Şekil 47 Kızılırmak Deltasının ait kıyı çizgisi değişimi (m) (1991-2020).....	92
Şekil 48 Deltanın batı ve doğu kesiminin yıllık ortalama kıyı çizgisi değişimi (m) (1991-2020).....	93

Şekil 49 Kızılırmak Deltasının kıyı çizgisi değişim analiz (m) (1991-2020)	94
Şekil 50 Kızılırmak Deltasının yıllık ortalama alansal değişimi (km ²) (1991-2020).....	95
Şekil 51 Kızılırmak Deltasını kıyı etkilenebilirlik indeksi (CVI)	96
Şekil 52 Karadeniz kıyılarının yaz dönemine ait akıntı yönlerini gösterir harita. 1 - Siklonik kenar akıntısının ortalama konumu. 2 - Kenar akıntısı kıvrımları. 3- Antisiklonik kıyı girdapları. 4 - Siklonik girdaplar. 5-Batum antisiklonik girdapı. 6 - Kariakla antisiklonik girdapı. 7- Sivastopal antisiklonik girdapı. 8 - Kırım antisiklonik girdapı. 9 – Yarı-sabit siklonik girdaplar.....	96
Şekil 53 Karadeniz kıyılarına ait yıllık ortalama rüzgar yönü ve hızı (m/sn)	97
Şekil 54 Kızılırmak Deltasının yakın çevresine ait batimetri haritası (m)	98
Şekil 55 Kızılırmak Deltasında barajların etkisini göstermek için seçilen akım gözlem istasyonları.....	101
Şekil 56 Yamula Akım Gözlem İstasyonunun 1. ve 2. dönemlere ait akım değerleri (m ³ /sn)	102
Şekil 57 Yahşıhan Akım Gözlem İstasyonunun 1. ve 2. dönemlere ait akım değerleri (m ³ /sn)	102
Şekil 58 Kızılırmak Deltasının yıllık kıyı çizgisi değişimi (m) (1962-2020)	104
Şekil 59 Kızılırmak Deltasının batı ve doğu yıllık kıyı çizgisi değişim (m) (1962-2020)	105
Şekil 60 Kızılırmak Deltasının yıllık alan değişimi (km ²) (1954-2020)	112

TABLO DİZİNİ

Tablo 1. Dünya'daki en fazla rezervuar kapasitesine sahip ilk beş baraj.....	5
Tablo 2. IPCC AR6 verilerine göre günümüz deniz seviyesinden 2100 yılına kadar gerçekleşmesi beklenen deniz seviyesi yükselmeleri (mm/yıl).....	11
Tablo 3 Kızılırmak Havzasının bitki değişim alan miktarları	32
Tablo 4 Kızılırmak Deltasının kıyı çizgisinin elde edildiği veriler	39
Tablo 5 Y faktörü için belirlenen jeolojik birim katsayıları	44
Tablo 6 X _a faktörü için CORINE sınıflarına göre belirlenmiş katsayılar	46
Tablo 7 Gavriloviç'in 1972'de yaptığı çalışmaya göre oluşturulan erozyon tipi ve alanı	47
Tablo 8 Kullanılan eğim sınıfları ve yüzdeleri	47
Tablo 9 Erozyon tipinin ve alanının belirlenmesi için kullanılan katsayılar	47
Tablo 10 J _a faktörünün Türkiye'de kullanılan eğim sınıflarına göre tekrar sınıflandırılması	48
Tablo 11 Kıyı etkilenebilirlik indeks faktörleri ve katsayıları	51
Tablo 12 T katsayı sınıflarının Kızılırmak Havzasında kapladığı alan ve yüzdeler	55
Tablo 13 H katsayı sınıflarının Kızılırmak Havzasında kapladığı alan ve yüzdeler	57
Tablo 14 Y Faktörünün Kızılırmak Havzası içerisinde kapladığı alan ve yüzdesi	58
Tablo 15 X _a Faktörünün Kızılırmak Havzası içerisinde kapladığı alan ve yüzdesi	59
Tablo 16 Θ Faktörünün Kızılırmak Havzası içerisinde kapladığı alan ve yüzdesi	60
Tablo 17 J _a Faktörünün Kızılırmak Havzası içerisinde kapladığı alan ve yüzdesi	61
Tablo 18 Z Faktörünün Kızılırmak Havzası içerisinde kapladığı alan ve yüzdesi	63
Tablo 19 W _a Faktörünün Kızılırmak Havzası içerisinde kapladığı alan ve yüzdesi	64
Tablo 20 Kızılırmak alt havzalarındaki 143 adet baraj ve göletin sediment hacimleri (hm ³)	66
Tablo 21 Kızılırmak Havzası içerisinde en fazla sediment tutan barajlar (hm ³)	66

Tablo 22 Baraj havzalarının oluşturulması için belirlenen barajlar ve tarihleri	68
Tablo 23 Kızılırmak Havzası ve baraj havzalarının erozyon hacimleri ve gerçek sediment iletim miktarları	69
Tablo 24 Dönemlere ait aşınım ve birikim değerlerini gösteren tablo.	100
Tablo 25 Doğu ve Batı kıyısının dönemlere göre en fazla aşınım ve birikim değerleri	106
Tablo 26 Kızılırmak Havzasının ve baraj havzalarının sediment iletim miktarları	107
Tablo 27 Kızılırmak Deltasında yapılan çalışmalar	109



ÖNSÖZ

Çalışma sürecim boyunca bilgi ve birikimiyle yol göstererek çalışmama farklı bakış açılarıyla değerlendirmemi sağlayan, beraber çalışmaktan ve öğrencisi olmaktan mutluluk duyduğum danışman hocam Doç.Dr. Erkan YILMAZ'a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmayı yapmamı sağlayan fikirleriyle ve öneriyle çalışmamı daha iyi bir noktaya taşımamı sağlayan ve birikimlerini benimle paylaşan Prof.Dr. Hakan YİĞİTBAŞIOĞLU, Prof.Dr. İhsan ÇİÇEK, Prof.Dr. Murat GÜL, Prof.Dr. Necla TÜRKOĞLU ve Doç.Dr. Ebru AKKÖPRÜ hocalarıma, Arkadaşlarım Dr. Şeyma Merve KAYMAZ MÜHLİNG ve Merve ALTUNDAL ÖNCÜ'ye teşekkür ederim.

Son olarak tüm hayatım boyunca beni destekleyen ve yanımda olan başta ablam Esin K. M. ARİFOĞLU olmak üzere aileme sonsuz şükranlarımı sunar ve teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

1.1. Araştırma Problemi

Kızılırmak Deltası kıyı çizgisi, son yirmi yılda, geçmiş dönemlere göre hızla geri çekilerek, ekolojik ortamları olumsuz etkilemeye başlamıştır. Bu toprak kaybı, Kızılırmak Deltasında yer alan tarım alanlarının yok olmasına, hayvancılık yapılan alanların küçülerek hayvancılık faaliyetlerinin zarar görmesine yol açmıştır. Ayrıca deniz ilerlemesi, yeraltı sularının tuzlanmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, kıyı çizgisindeki gerileme, Kızılırmak Deltasında yer alan doğal koruma alanları ile yaban hayatını da tehdit etmektedir. Daha önce yapılan kıyı erozyonu çalışmaları (Ataol vd., 2019; Beyazıt vd., 2014; Kuleli, 2010; Öztürk ve Sesli, 2015a; Zeybek vd., 2018) Kızılırmak Deltasındaki kıyı erozyonu problemini ele almış, ancak kıyıyı etkileyen havza alanı veya denizel etki değerlendirilmemiş ve bu nedenle kıyı gerilemesi ile ilgili tam bir durum analizi yapılamamıştır. Bu nedenle, kıyı çalışmalarında kapsamlı bir bakış açısı geliştirilememiştir.

1.2. Tezin Amacı ve Önemi

Kızılırmak Deltasındaki kıyı çizgisini doğal ve insan kaynaklı olmak üzere iki temel etken bulunmaktadır (European Commission, 2004). Bu çalışma, insan kaynaklı faaliyetler arasında yer alan ve kısa zaman dilimleri içinde gözlemlenebilen verilere dayanarak barajların kıyı çizgisi değişimleri üzerindeki etkisini incelemektedir. Çalışmanın amacı, barajların delta gelişimindeki rolünü ve kıyı çizgisindeki hassas bölgeler üzerindeki etkilerini anlamak, bu etkinin derecesini belirlemek ve ortaya çıkan olumsuz durumları gidermek için gerekli önlemleri ve çözümleri belirlemektir.

Kızılırmak Deltası, zengin bir yaban hayatına ve sulak alanlara, farklı ağaç türlerini barındıran orman alanlarına, hayvancılık ve tarımsal faaliyetlerin yürütüldüğü geniş sahalar olması nedeniyle, deltanın farklı bölgelerinde 1. 2. ve 3. derece doğal ve

arkeolojik sit alanları bulunmakta ve iyi bir şekilde korunmaktadır (ÇED, 2013; KVMGM, 2019). Deltanın içinde bulunan Gernek Gölü ve yakın çevresi, 1979 yılında yaban hayatı koruma alanı olarak ilan edilmiş ve ayrıca Kızılırmak Deltası 1998 yılından itibaren RAMSAR sözleşmesi ile koruma altına alınmıştır (Yeniyurt vd., 2008). Yavuz, (2011)'e göre, Kızılırmak Deltası Türkiye'deki kuş türlerinin yaklaşık %75'ini barındırmaktadır. delta bölgesinde 341 kuş türü ve 400 bitki türü bulunmakta, dünya genelinde nesli tükenmekte olan canlı türlerinin %10'u bu alanda yaşamaktadır. Aynı çalışmada, delta alanının yerel halkın geçim kaynaklarına büyük katkı sağladığı bahsedilmektedir. Yerel halk, deltadan hayvancılık, sazıcılık, tarım, balıkçılık, yaban hayatı ve turizm sektörü gibi farklı sektör alanlarından faydalanmaktadır. Kızılırmak Deltasındaki yaban hayatının ve korunan alanların sürdürülebilir hale getirilmesi için sorunların doğru bir şekilde tespit edilmesi, bu sorunlara yönelik çözüm önerilerinin sunulması, koruma ve kullanım dengesinin gözetilmesi gerekmektedir. Kızılırmak Deltası, Türkiye'deki verimli tarım alanlarından biridir. Ancak, kıyı gerilemesi, tarım alanlarının daralması ve tuzlanma sorunu gibi risklere neden olmuştur. Sürdürülebilir kalkınma bakımından oluşturulacak stratejiler ile bu sorunların çözümü için önem arz etmektedir. Tarıma elverişli alanların kaybı, öncelikle yöre halkının sonrasında ülke ekonomisinin olumsuz olarak etkilenmesine neden olmaktadır.

1.3. Literatür İncelemesi

Kıyı ortamları, hem karaların denize yakın sahaları olması hem de denizlerin karaya yakın sahalar olması nedeniyle, insan faaliyetlerinden en çok etkilenen bölgeler olarak değerlendirilmektedir (Hinrichsen, 1998). Kıyılar, kara ile deniz-okyanus arasında kalan önemli beşeri altyapılara, ekosistemlere ve dünya nüfusunun büyük bir kesimine ev sahipliği yapan bölgelerdir (Adger vd., 2005; Martínez vd., 2007; Mentaschi vd., 2018). Dünya'da kara ve deniz-okyanus alanlarının birleştiği 1.634.701 km²'lik kıyı bölgesinde yoğun bir etkileşim mevcuttur (Burke vd., 2014). Kıyılar gevşek-tutturulmamış

sedimanlardan, kayalıklardan veya falezlerden oluşabileceği gibi dar veya geniş kıyı sahanlıklarından, sulak alanlardan, bataklıklardan veya deltalardan meydana gelebilmektedir (Schwartz, 2005). Kıyı ortamları, dalga enerjisinin emilimi, faunanın yuvalanması ve üremesi, tatlı suyun korunması ve insan faaliyetleri için çok çeşitli işlevlere sahiptir (European Commission, 2004). İnsan nüfusunun hızla artması ile beraber alçak kıyı bölgelerinin yerleşimlere açılması, insanların geçim kaynaklarının sağlanması, turizm faaliyetlerinin sürdürülmesi, deniz ticareti ve lojistiği bakımından büyük bir öneme sahiptir (Neumann vd., 2015). Bu faaliyetlere bağlı olarak kıyı bölgelerinin yoğunluğu ve kullanımı artmaktadır. Bu durum sosyo-ekonomik ve çevresel değişimi de beraberinde getirmektedir (Neumann vd., 2015). Alçak kıyı alanları dünya kara alanlarının %2'sini kapsarken, Dünya nüfusunun yaklaşık olarak %10'unu (634 milyon insan), dünya kentsel nüfusunun ise %13'ünü barındırmaktadır (Mcgranahan vd., 2007). Tüm kıyı alanları, 2003 yılı verilerine göre dünya küresel nüfusunun %41'ini barındırmaktadır (Martínez vd., 2007). Kıyı ülkelerinin %50'sinden fazlasında, toplam nüfusun %80 ile %100'ü kıyı bölgelerinde 100 km'lik mesafede yaşamaktadır (Martínez vd., 2007). Dünyadaki en kalabalık 30 şehrin 17'si, kıyı bölgelerinde (Şangay, Jakarta, Bangkok, Londra, New York gibi) bulunmaktadır (Fitzgerald vd., 2008). Türkiye'de nüfusun 2009 yılı sayımlarına göre yaklaşık %54'ü kıyılarda yaşamakta ve üretilen gayri safi milli hasılanın %60'ı kıyı bölgelerinden elde edilmektedir (Simav vd., 2015a). Türkiye'de gerçekleşen ticaretin büyük çoğunluğunun limanlardan yapılması, tarım-hayvancılık faaliyetlerinin delta alanlarında olması ve turizm amaçlı tesislerin kıyı bölgelerinde yoğunlaşması, ülkemiz için kıyıların önemini göstermektedir (Simav vd., 2015a). Kıyıların bulunduğu bölgelerdeki jeomorfolojik ve iklimsel çeşitlilik, kıyı alanlarında bulunan biyom çeşitliliğini artırmaktadır. Kıyılara 100 km mesafedeki kara alanlarının %72'sinde doğal ekosistemler bulunurken, kentsel ve ekili alanlar bu alanların sadece %28'ini kapsamaktadır (Martínez vd., 2007). Kıyıların kara kesiminde yer alan

ekosistemler içinde farklı türde ormanlarla (tropikal, ılıman, yaprak döken veya yaprak dökmeyen orman türleri) birlikte çalılar ve savanlar da bulunmaktadır. Sucul ekosistemler de ise mangrovlar, tuzlu bataklıklar, haliçler, mercan resifleri ve deniz otları yer almaktadır (Burke vd., 2014; Martínez vd., 2007; Spalding vd., 2001). Kıyı bölgelerinde Kanada en fazla karasal ekosisteme sahip ülke iken Endonezya ve Çin en fazla ekili alana sahip ülkelerdir. Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) kıyıdaki en büyük kentsel alanlara sahipken Endonezya, Avustralya, Brezilya, Bahamalar ve Yeni Kaledonya ise en geniş sucul ekosisteme sahip ülkelerdir (Costanza vd., 1997; Martínez vd., 2007).

Kıyı bölgelerinin insan faaliyetlerinden mümkün olduğunca az etkilenmesi ve sürdürülebilir bir şekilde korunması için, kıyı bölgelerindeki değişikliklerin ve erozyonun takip edilmesi gerekmektedir. Kıyı bölgelerindeki değişkenliğe bağlı olarak döngüsel bir şekilde ortaya çıkan desenlerden daha uzun zamansal ölçekte, belirli bir referans noktasına göre kıyı çizgisinin karaya doğru net bir şekilde yer değiştirmesine kıyı erozyonu denir (Stephenson, 2013). Kıyı erozyonu ve kıyı havzasında gerçekleşen toprak erozyonu, sahiller, kumullar, kıyı bataklıkları ve resiflere sediment sağlayan ana süreçler olarak değerlendirilmektedir (European Commission, 2004:2). Kıyı erozyonunu etkileyen birçok faktör bulunmaktadır.

1.3.1. Kıyı Çizgisi Değişimini Etkileyen Faktörler

Kıyı erozyonu, doğal faktörler (dalgalar, rüzgarlar, gelgit, kıyı akıntısı, fırtınalar, deniz seviyesi yükselmesi, kütle hareketleri ve tektonik hareketler) ve insan kaynaklı faktörler (kıyı koruma önlemleri ve yapılaşma – mahmuzlar, limanlar, barajlar – arazi kullanımı, dere ıslahı çalışmaları, denizden elde edilen ham madde çalışmaları, bitki örtüsünün yok edilmesi, yeraltı suyu kullanımı, gemi kaynaklı dalgalar) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (European Commission, 2004:4-7). Bu çalışma, Kızılırmak Deltası için barajların etkisini ele almaktadır, çünkü bu etki kısa dönemde gözlemlenebilir bir etkidir.

Akarsular üzerine inşa edilen barajlar, kıyı gelişimini etkileyen en önemli unsurlardan biri olan sedimentin baraj rezervuarında birikmesine neden olur ve böylece kıyı çizgisi değişikliklerini mevcut verilerle izlenebilir ve gözlemlenebilir kılar.

1.3.1.1. Barajların Etkisi

Baraj; içme suyu, tarımsal sulama, enerji üretimi veya taşkınları önlemek amacıyla vadilerin iki yamacı arasına inşa edilen, suyun biriktirilmesi ile meydana gelen antropojenik yapıdır (DSİ, 2021a). Barajlar, geleneksel olarak nehir suyu yönetiminde etkili bir araç olarak kabul edilmektedir. Büyük olarak tanımlanan barajlar, temelden tepe noktasına kadar yüksekliği 15 m'den fazla veya 5-15 m arasında olan ve 3.000.000 m³'den fazla suyu tutabilen yapılar olarak belirtilmektedir (ICOLD, 2011).

Barajlar, Dünya üzerindeki elektrik ihtiyacının yaklaşık %20'sini sağlamaktadır. Dünya genelinde 61,988 adet baraj bulunmaktadır (ICOLD, 2020). Bu barajların yaklaşık 58,000 adeti büyük barajlar sınıfına girmektedir (Mulligan vd., 2020). Büyük barajların toplam rezervuar kapasitesinin 7,000-8300 km³ arasında olduğu tahmin edilmektedir (Chao vd., 2008). Bu depolama, okyanuslara ulaşan akarsuların altıda birine denk gelmekle birlikte veri tabanlarında yer almayan ve küçük barajlar bu hesaba katılmamıştır (Hanasaki vd., 2006). Tablo 1'de 2018 yılı itibariyle Dünyadaki en fazla rezervuar alanına sahip ülkeleri ve barajları göstermektedir (Babur, 2018).

Sıra	Barajın Adı	Hacmi (10 ³ m ³)	Ülke
1	Soo Locks	342 340 039	Amerika Birleşik Devletleri
2	Kariba	180 600 000	Zambiya
3	Bratsk	169 000 000	Rusya
4	Akosombo	150 000 000	Gana
5	Daniel Johnson, Barrage	141 851 350	Kanada

Tablo 1. Dünya'daki en fazla rezervuar kapasitesine sahip ilk beş baraj

Türkiye, Norveç'ten sonra Avrupa'da yıllık hidroelektrik potansiyeli en yüksek olan ülkedir. Türkiye'deki mevcut HES potansiyeli, Avrupa'daki ülkelerin toplam hidroelektrik potansiyelinin %16,5'ine denk gelmektedir. Sadece Güneydoğu Anadolu

Projesi'nin (GAP) yıllık elektrik üretim potansiyeli, Avrupa'nın üretebileceği elektrik potansiyelinin %3,5'ine eşdeğerdir (Alam vd., 2021; Berkun vd., 2008).

Barajlar özellikle nüfusun hızlı arttığı bölgelerde gereksinim olan su ve enerjinin temininde ön plana çıkmaktadır (Shahin, 2003). Barajların çevreye olan etkileri temel olarak ekonomik, sosyal ve çevresel olarak 3'e ayrılmaktadır (Zwahlen, 2003).

Ekonomik Etkiler; insani olarak gereksinim duyduğumuz tarımsal gıdaların sürekliliğini sağlamak için mevsimlere bağlı olmadan sulama imkanı sağlanması gerekmektedir. Dünya genelindeki büyük barajları yaklaşık %50'si sulama amacıyla inşa edilmektedir ve bu barajlar küresel gıda üretiminin %12-16 arasında destek sağladığı tahmin edilmektedir (ICOLD, 2020; Mulligan vd., 2020) Artan nüfusa bağlı olarak 2050 yılına kadar Dünyanın gıda talebinin %70 artması tahmin edilmekte ve artan sulama ihtiyacına bağlı olarak daha fazla baraj ve depolama rezervuarının inşa edilmesini gerektirecektir (IIED, 2001). Ancak barajlar inşa edildiğinde, barajların kurulduğu vadi tiplerine bağlı olarak, baraj rezervuar alanları içerisinde kalan tarım arazileri, geri döndürülemeyecek şekilde yok edilmektedir (Manatunge vd., 2008). Hidroelektrik santrali olan barajlar, en ucuz elektrik enerjisi üretim kaynaklarından biridir ve termik santrallere göre yaklaşık olarak 2 kat yüksek bir verimliliğe sahip olan yapılardır. Barajlar, zehirli gazlar, katı ve sıvı atıklar bakımından nispeten ihmal edilebilir düzeyde temiz bir enerji kaynağıdır (Manatunge vd., 2008). Barajlar yapım amacına göre şehirlerin ve kasabaların içme suyu ihtiyacını ve taşkın kontrolünü sağlamak için de kullanılmaktadır (ICOLD, 2020).

Barajların rezervuar alanlarında yapılan balıkçılık faaliyetleri, yerel halk için önemli bir gelir kaynağı olabilirken, aynı zamanda plansız uygulanan faaliyetler yarardan yerine zarar getirebilmektedir. Örneğin, Endonezya'da batı Java'da Citrüm Nehri üzerinde Saguling (1986), Cirata (1988) ve Jatiluhur (1964) barajları ile yöre halkının

ekonomisinde çeşitlilik sağlamak amacıyla kafes balıkçılığı için 6.000 adet kafes dağıtılmış ve zamanla geliri artan bölgede kafes sayısı kontrolsüz bir şekilde 20.000'e ulaşmıştır. Siguling Barajının kapasitesinin üstündeki bu sayı, evsel ve endüstriyel atıkların arıtılmadan rezervuar alanına bırakılması, tarımsal faaliyetlerde kullanılan kimyasalların rezervuar alanına ulaşması gibi nedenlerle, barajdaki su kalitesini düşürmüş ve toplu balık ölümlerine neden olmuştur (Whitten vd., 1996; Zwahlen, 2003). Barajların diğer bir katkısı, turizm amaçlı kullanılabilmeleridir. Avustralya Tazmanya'da kurulan King River Development projesi kapsamında, King Nehrinin üstüne Crotty ve Darwin barajlarının yarattığı 52 km²'lik Burbury Gölünde, rotası iyi araştırılmış yolların yapımı, dikkatli seçilmiş bitkilerin dikilmesi, inşaatın kötü etkilerinin azaltılması ile doğal peyzajın oldukça zenginleşmesi sağlanmıştır. Örneğin Mt Jukes yolu üzerindeki seyir alanlarına park alanlarının yapılması, soğuk ılıman ormanların arasından göle ulaşılması, göl ve çevresini çekici hale getirmektedir. Göl kıyısına piknik alanları, tekne indirme rampaları yapılması, su sporları aktivitelerinin yapılması ve göle bırakılan alabalıklar ile hobi balıkçılığının yapılması, Burbury Gölünü turizm bakımından cazip hale getirmiştir (Gill ve Anderson, 2012). Ayrıca barajların kurulum aşamasında ve işletme dönemlerinde yarattığı istihdam bölge ekonomisine katkı sağlamaktadır.

Sosyal Etkiler: Çin de bulunan Nu Nehri üzerine inşa edilen Three Gorges Barajı bölgesinde 22 etnik azınlık yaşamaktadır. Burada yaşayan nüfus genellikle çiftçilikle uğraşmaktadır. Fakat Three Gorges Barajı inşası nedeniyle Yangtze Nehri kıyısında yer alan 12 şehir ve 106 kasabada yaşayan yaklaşık 1.3 milyon kişi göç etmek zorunda kalmıştır (Brown vd., 2008; Ni, 2013; Wang vd., 2023; Yardley, 2004). Zorunlu göç sonrasında göç eden kişiler için işlenecek arazilerinin olmaması, bölgede işsizlik, topluluk kaynaklarının kaybı, barınma sorunu, gıda güvenliğinin yok olması ve toplum içinde psikolojik sorunlar gibi sosyo-ekonomik sorunlar ortaya çıkmıştır (Brown vd., 2008). Nu Nehri, Çin'deki zarar görmemiş son doğal alan olarak kabul edilmektedir ve

Nu Nehri üzerine inşa edilen ve inşa edilmesi planlanan barajlar, dünya miras listesindeki bölgeye zarar vermiştir (UNESCO, 2003). Büyük barajlar komisyonuna göre, büyük barajların etkisiyle küresel ölçekte 40-80 milyon arasında insanın zorunlu göçe maruz kaldığı tahmin edilmektedir. Bunun yanı sıra Dünya'daki nehirlerin %60'ı, barajlardan ve barajların yarattığı sapmalardan etkilenmiştir (WCD, 2000). Büyük baraj projelerinde doğal ve sosyo-ekonomik ortamın, bilimsel çalışmalarla iyi analiz edilip gerekli çözümlerin de sivil toplum kuruluşları, bölgedeki çevreci dernekler ve yerel halkla yürütülmesi oldukça önemlidir (WCD, 2000).

Barajların inşasıyla su altında kalan yerleşim alanlarının yanı sıra arkeolojik öneme sahip alanlar da su altında kalabilmektedir. İzmir'de bulunan Alliano Antik Kenti; Yortanlı Barajı, Mardin'de bulunan Hasankeyf; Ilısu Barajı, Gaziantep'te yer alan Zeugma; Birecik Barajı nedeniyle baraj sularının altında kalmıştır (Sönmez, 2012).

Barajlar sağlık açısından da olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Özellikle tropikal iklimlerdeki durgun su alanları, ormanların yok edilmesi sonucu yerine gelen rezervuar alanı veya baraj inşaatına ulaşım için kesilen ağaçlar, Anofel sivrisinekleri için uygun yaşam ortamı sağlamaktadır. Sivrisineklerdeki bu artış sıtma hastalığının artmasına ve yayılmasına neden olarak birçok ölüme sebebiyet verebilmektedir (Zwahlen, 2003).

Çevresel Etkiler: Barajların çevreye etkilerinden birisi sera gazı salınımıdır. Sera gazları küresel iklim değişikliğinin ana nedenleri arasında yer almaktadır (Montzka vd., 2011). Bu nedenle hidroelektrik santralleri, termik santrallere göre daha az sera gazı üretse de belli bir oranda sera gazı emisyonuna katkı sağlamaktadır. Yapılan çalışmalara göre hidroelektrik santrallerinin inşaatı sırasında kullanılan çimentodan kaynaklanan karbondioksit emisyonu ve işletme esnasında santrale ulaşımdan kaynaklanan fosil yakıt tüketimi gibi faaliyetler, dolaylı olarak atmosfere kWh başına yaklaşık olarak 40 g Karbondioksit (40g CO₂/kWh) gazı salmaktadır (Kumar ve Freitas, 2011). Bu konuda

yapılan az sayıda çalışmada ise barajların niteliğine bağlı olarak ortalama kWh başına 3-7 g arasında karbondioksit salınımı olduğunu göstermektedir (Dones vd., 2007). Biyogenik olan metan gazı ise hidroelektrik santrali rezervuarlarındaki organik karbonun bozunmasından kaynaklanmaktadır (Bruckner vd., 2014). Özellikle tropikal bölgelerdeki hidroelektrik santrallerinin rezervuarlarından çıkan metan gazının aynı miktarda enerji üreten termik santrallere göre daha fazla sera etkisine sahip olabileceği belirtilmiştir. Bunun nedeni metan gazının karbondioksit göre sera etkisinin 21 kat daha fazla olmasıdır (Fearnside, 1995, 1997; Rudd vd., 1993). Baraj rezervuar alanlarının altında kalan ve çevreden rezervuar alanına ulaşan organik maddeler, metan ve karbondioksit gazlarının oluşumunu sağlamaktadır. Su altında bulunan çökeller, organik bakımından oldukça zengindir. Bu çökeller, bir yandan karbon yutağı görevi görürken (çökelmiş malzeme organik karbon bakımından zengindir) bir yandan da organiklerdeki bozunma süreci ile karbonları serbest bırakmaktadır (Tortajada vd., 2012). Baraj rezervuarındaki suyun bileşenleri de bu durumu etkilemektedir. Eğer su yapısı kireç ve diğer toprak metalleri bakımından zengin ise pH değeri yüksektir ve rezervuar alanı karbon yutağı olma eğilimindedir. Bunun tersine suyun pH değeri düşük yani asidikse, su ve toprak alkali metalleri ile yetersiz besleniyorsa rezervuar alanı karbon salma eğilimindedir (Tortajada vd., 2012).

Brezilya'da Tocantis Nehri üzerinde 1984 yılında kurulan Tucurui Barajı, Amazon Nehrindeki ilk büyük hidroelektrik projesidir (Fearnside, 1997). Tucurui Barajının 1990 yılındaki rezervuar alanı içindeki metan gazı emisyonu 90.000 ton'dur. Bunun 215 tonu termitlerden, 14.300 tonu makrofit yataklarından ve 40.200 tonu sualtı çürümüş yataklardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca rezervuar alanına mevsimlik akarsular ile yaklaşık olarak 15.000 ton metan gazı ulaşmaktadır (Fearnside, 1997).

Bunların yanında, Çoruh nehri üzerinde kurulan barajların 144 km²'lik rezervuar alanı kapladığı bölgede, açılan yollar ve rezervuar alanı nedeniyle mevcut bitki örtüsü ve

endemik türler (Beşparmak Akçaağacı, yabancı sarımsak türleri; oltense gibi, Artvin Çiğdemi) başta olmak üzere 67 bitki türünün yanı sıra Munzur vadisi milli parkına yapılacak olan baraj nedeniyle sığır kuyruğu ve geven gibi 12 tür bitkinin tehlike altında olduğu belirtilmiştir (Byfield vd., 2005; Sönmez, 2012; Yıldırım, 2005). Göç yolları engellenen ve yok olma tehlikesi ile karşı karşıya olan mersin balığının, üremek amacıyla tatlı sulara yaptığı göçün, barajlar ve setlerle engellendiği ifade edilmektedir (Berkun vd., 2008). Baraj havzalarında, flora bakımından da etkiler yaşanmakta, özellikle endemik türler baskı altında kalmaktadır. Su tahliye protokolleri barajdan çıkan suyun miktarını ayarladığı için akarsuyun debisi etkilenmektedir. Örneğin ABD'nin batısında yer alan büyük akarsuların, su gelişimi ve taşkın kontrolü uygulamaları sonucunda baraj mansabının önünde yer alan orman örtüsü değişmiş, Örneğin; *Cottonwood willow* (söğüt) ağacının yerine bölgeye özgü olmayan *Russian olive* ve *Tamarix* gibi odunsu türler yerleşmiştir (McCallister vd., 2001). Benzer bir olay Uruguay Nehrinin kenarlarında yer alan galeri ormanları içinde nesli tükenmekte olan *Anthinus albolabiatus* adlı kara salyangozunun başına gelmiş, Salto Grande Barajının kurulmasından sonra soyu tükenmiştir (McCallister vd., 2001).

Barajlar, rezervuar alanındaki suyun kalitesini de etkilemektedir. Elektrik üreten barajların türbinleri sudaki çözünmüş oksijen seviyesini düşürmekte, rezervuar alanın dibinde yer alan ve çözünmüş oksijen bakımından fakir olan su kütlesi enerji üretimi için baraj rezervuarından akarsuya verilmektedir (Berkun vd., 2008). Barajların dolu savaklarından bırakılan suyun havalanması ile su aşırı derecede çözünmüş oksijen doygunluğuna ulaşmaktadır. Yüksekten düşen sular ise havadaki azotun çözünmesi ile balıkların ölümüne sebebiyet vermektedir (Berkun ve Aras, 2007; Berkun vd., 2008). Ayrıca dinamik bir yapıya sahip olan akarsular, aktıkları yüzeyi aşındırarak elde ettikleri mineral ve organik yapıları, rezervuar alanlarının dibine bırakarak barajın etrafındaki ve

barajın sonrasında kalan tarım arazilerinde kaliteli su kullanmasını engellemektedir (Berkun vd., 2008).

Türkiye’de ise Karadeniz’e dökülen 5 büyük nehir; (Kızılırmak, Yeşilırmak, Çoruh, Filyos ve Sakarya nehirleri) yılda 41 km³/yıl su, 28x10⁶ ton/yıl sediment taşımaktadır. Hidroelektrik barajlarının inşasından önce Karadeniz’e ulaşan sediment miktarı 70x10⁶ ton/yıl’dır. Barajlardan önce Karadeniz’e ulaşan sediment miktarı sırasıyla; Sakarya nehri 8,84x10⁶ ton/yıl, Filyos nehri 4.18x10⁶ ton/yıl, Kızılırmak nehri 23,1x10⁶ ton/yıl, Yeşilırmak nehri 18,6x10⁶ ton/yıl, Çoruh nehri 8,13x10⁶ ton/yıl ve diğer akarsuların taşıdığı sediment miktarı ise ortalama 7,15x10⁶ ton/yıl olarak hesaplanmıştır (Hay, 1994).

1.3.1.2. Diğer Faktörler

1.3.1.2.1 Deniz Seviyesi Değişimlerinin Etkisi

Nüfus yoğunluğunun önemli bir kısmını barındıran alçak kıyı alanları, küresel iklim değişikliğine bağlı deniz seviyesi artışından en fazla etkilenecek bölgelerin başında gelmektedir. Deniz seviyesindeki artış ile ilgili, en iyimserden en kötümser senaryoya kadar hazırlanan IPCC AR6 raporunun sonuçları Tablo 2’de verilmiştir (Garner vd., 2021) (Tablo 2). 1995-2014 yılları temel alınarak gerçekleştirilen senaryolara göre 2100 yılına kadar deniz seviyesi, en iyi senaryoya göre 0,38 mm/yıl artarken en kötü senaryoya göre 0,77 mm/yıl deniz seviyesinde yükselme gerçekleşmesi beklenmektedir (Garner vd., 2021).

Açıklama	SSP1-1.9	SSP1-2.6	SSP1-4.5	SSP1-8.5
Termal Genleşme	0,12 (0,09–0,15)	0,14 (0,11–0,18)	0,20 (0,16–0,24)	0,29 (0,24–0,36)
Buzullar	0,08 (0,06–0,10)	0,09 (0,07–0,11)	0,12 (0,10–0,14)	0,18 (0,15–0,20)
Grönland	0,04 (0,00–0,09)	0,06 (0,01–0,10)	0,08 (0,04–0,13)	0,08 (0,04–0,13)
Antartika	0,10 (0,03–0,25)	0,11 (0,03–0,27)	0,11 (0,03–0,29)	0,12 (0,03–0,34)
2030	0,09 (0,08–0,12)	0,09 (0,08–0,12)	0,09 (0,08–0,12)	0,10 (0,09–0,12)
2050	0,18 (0,15–0,23)	0,19 (0,16–0,25)	0,20 (0,17–0,26)	0,23 (0,20–0,29)
2090	0,35 (0,26–0,49)	0,39 (0,30–0,54)	0,48 (0,38–0,65)	0,63 (0,52–0,83)
2100	0,38 (0,28–0,55)	0,44 (0,32–0,61)	0,56 (0,43–0,76)	0,77 (0,63–1,01)

Tablo 2. IPCC AR6 verilerine göre günümüz deniz seviyesinden 2100 yılına kadar gerçekleşmesi beklenen deniz seviyesi yükselmeleri (mm/yıl)

Deniz seviyesindeki yükselme, kademeli olarak artmaya devam edecek ve kıyıda bulunan büyük kent nüfusları küresel anlamda tehdit altında bırakacaktır (Montgomery vd., 2009). Yapılan diğer çalışmalarda, deniz seviyesindeki yükselmenin, küresel olarak 2100 yılına kadar 0,2-0,6 m arasında olması beklenmektedir (Alley vd., 2007). Başka bir analize göre ise küresel deniz seviyesi yükselimi 2100 yılına kadar 0,26 – 0,82 m arasında değişecek ve özellikle 2081 ile 2100 yılları arasında yıllık ortalama yükselmenin 8 mm ile 16 mm arasında değişeceği görülmektedir (Church vd, 2013).

Küresel deniz seviye değişimleri için belirlenen oranlar, konuma bağlı olarak geniş bir zaman ölçeğinde farklı derecelerde gerçekleşir (Beşel ve Tanır Kayıkçı, 2020). Bu nedenle denizlerin konumu ve özellikleri deniz seviyesi yükselme hesaplamalarında önemlidir. Bu bakımdan Karadeniz'in konumu gereği iç deniz olması ve gel-git'lerden en az etkilenmesi, yükselen küresel deniz seviyesinden farklı oranlarda etkilenmesine neden olmaktadır. 4.200.000 km²'lik alana sahip Karadeniz'in en derin noktası 2.212 m, toplam su hacmi ise 534.000 km³'tür. Fakat bu suyun yaklaşık 423.000 km³'ü anoksik (oksijensiz ortam)'tir ve H₂S (hidrojen sülfür) ile kirlenmiştir (Panin ve Popescu, 2007). Karadeniz, son buzul çağından günümüze kadar büyük değişimler yaşamış, en son yaşanan şiddetli deniz seviyesi değişimi, küresel deniz seviyesinin günümüzden 60 m daha alçakta olduğu, 7500 yıl önce erken Holosen döneminde gerçekleşmiştir (Ryan vd., 1997). Avşar vd'nin (2015) Karadeniz deniz seviyesi değişimleri için yaptığı çalışmada, 22 yıllık uydu altimetre verileri kullanılmış, analiz sonucunda Karadeniz deniz seviyesinin yükselme hızı, yıllık ortalama $3,19 \pm 0,81$ mm olarak belirlenmiştir. Bu değer küresel ortalama eğilim ile uyumludur (Avşar vd., 2015). 1993-1998 yılları arasında yapılan başka bir çalışmada, Karadeniz deniz seviyesinin yıllık ortalama $2,7 \pm 2,5$ mm yükseldiğini tespit etmiştir (Cazenave vd., 2002). Tsimplis vd'ne (2004) göre ise Karadeniz deniz seviyesi son 60 yılda 15 cm, yani yılda ortalama 2,2 mm yükselmiştir (Tsimplis vd., 2004). Karadeniz deniz seviyesindeki bu değişim oranları, Karadeniz kıyı

kesimlerinde ve Kızılırmak Deltasında yapılan faaliyetlerin (ulaşım, deniz ticaret lojistiği, doğal alan koruma ve tarımsal faaliyetler gibi) zarar görmemesi veya en az seviyede etkilenmesi için gerekli önlemlerin alınması gerektiğini göstermektedir.

1.3.1.2.2 Tektonizmanın Etkisi

Deniz seviyesi değişimleri gibi dağ oluşumu (orojenez) hareketleri de kıyı değişimlerinde etkili olabilmektedir. Dağ oluşum hareketleri, kıvrımlanma, çökme-yükselme ve farklı türdeki faylanmalar, bir bölgenin yükselmesine veya alçalmasına neden olabilmektedir. Çalışma alanı olan Kızılırmak Deltası, Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattının Orta Pontidler’de bulunmaktadır (Yılmaz vd., 1997).

KAF, Anadolu levhası ile Avrasya levhasını arasında yer alan sağ yanal atımlı bir faydır. Türkiye’nin kuzeyinde yer alan KAF, Saroz Körfezinden başlayarak Türkiye’nin doğusunda yer alan ve Doğu Anadolu Fayı ile kesiştiği Bingöl iline bağlı Karlıova ilçesine kadar 1200 km boyunca uzanmaktadır. Karadeniz kıyısına genellikle paralel seyreder ve bazı bölgelerde 100 km kadar oldukça düzgün mesafe bırakır (Şengör vd., 2005; Taymaz vd., 1991; Y. Yılmaz vd., 2000). KAF’ın sağ atımlı hareketinin ilk olarak 8-10 milyon yıl önce Geç Miyosende gerçekleştiği düşünülmektedir. Kesin olarak bilinen ise ilk hareketin 5-6 milyon yıl önce Erken Pliyosen dönemin başlarında gerçekleştiğidir (Ketin, 1948, 1976).

KAF’ın dışbükey yapısı, Karadeniz kıyı şeridinin dışbükey yapısı ile uyumluluk göstermektedir. Jeodezik olarak fayın kayma hızı 24 ± 1 mm/yıl’dır (Reilinger vd., 2006). Sinop yarım adasında 570 bin yıl boyunca yükselmiş deniz teraslarından alınan numunelere yapılan OSL yaşlandırması ile ortalama kaya yükselmesi 0,02 – 0,18 mm/yıl olarak tespit edilmiş ve kısa bir dönemde bu değer 0,26 mm/yıl’a kadar yükselmiştir (Yildirim, Melnick, vd., 2013). Son 346 bin yılda Kızılırmak Havzası içerisinde yer alan Gökırmak nehrinin bulunduğu havzada seki ve deformasyon yüzeylerinde yapılan

araştırmalarda ortalama yükselme hızı $0,28 \pm 0,01$ mm/yıl olarak tespit edilmiştir. (McClain vd., 2020; Yildirim, Schildgen, vd., 2013). Kızılırmak Nehrinin Orta Pontidlerindeki en büyük kolu olan Gökırmak Havzasındaki yükselme hızının uzun yıllar ortalaması $0,45 \pm 0,02$ mm/yıl olarak hesaplanmıştır, ancak daha yakın zaman dilimlerinde bu değer $1,52$ mm/yıl'a kadar çıkabilmektedir (McClain vd., 2020). Berndt ve arkadaşlarının yaptığı Kızılırmak Deltasındaki araştırmalarda ise delta alanının $0,28 \pm 0,07$ mm/yıl yükseldiği tespit edilmiştir. Kızılırmak Deltasının yükselmesinin arkasındaki temel faktörün tektonik süreçler olduğu, bölgesel iklim değişikliğine bağlı faktörlerin ise etkisiz kaldığı belirlenmiştir. Ayrıca Kuzey Anadolu Fayından uzaklaşıldıkça yükselme hızının düştüğü belirlenmiştir (Berndt vd., 2018).

1.3.1.2.3 Akarsuyun Akım ve Sediment Yükü

Delta ve çevresindeki kıyıların gelişiminde, nehirlerden gelen sediment ve nehirlerin akım miktarı kritik öneme sahiptir (Syvitski, 2003). Çin'in Shandong eyaletinde bulunan Sarı Nehir üzerinde yapılan çalışmalarda sediment ve akım miktarları arasındaki ilişki belirlenmiştir (Cui ve Li, 2011). Cui ve Li'nin (2011) ve Hu vd.'lerinin (1996) yaptığı çalışmada, incelenen kıyıda herhangi bir yapay koruma alanının olmaması, yapısal jeolojisinin ve akarsu dinamiklerinin değişmemesi nedeniyle sediment birikiminin doğal süreçler içinde gerçekleştiği ifade edilmektedir (Cui ve Li, 2011; Hu vd., 1996). Yapılan çalışmada, 1976-2005 yılları arasındaki veriler kullanılarak, kıyı alanındaki aşınım-birikim süreçleri ile nehrin sediment yükü arasında yüksek düzeyde ($R=0,775$, $Pb 0,001$) ilişki tespit edilmiştir. Aynı döneme ait verilerle kıyı alanındaki aşınım-birikim süreçleri ile nehrin akım miktarı arasında da yüksek düzeyde ($R=0,779$, $Pb0,001$) ilişki tespit edilmiştir (Cui ve Li, 2011).

Türkiye'de sediment miktarı ölçümü 1962 yılında başlamıştır (E.İ.E İdaresi, 2003). Kızılırmak Havzası içinde, barajların ve göletlerin inşası veya teknik sebeplerden dolayı sediment gözlem istasyonlarının yeri değiştirilmiş, kaldırılmış veya sediment

gözlemlerine ara verilmiştir. Bu nedenle sediment gözlem istasyon verileri, barajların etkisini ortaya koyabilecek zaman aralıklarına sahip olmadığı için kullanılamamıştır. Ancak sediment ile akım arasındaki yüksek korelasyon nedeniyle daha düzenli kaydedilen akım değerleri ile barajların etkisi incelenmiştir.

1.3.1.2.1 Dalga Etkisi ve Kıyı Koruma Stratejileri

Kıyıya yakın rüzgarlar, deniz yüzeyinden eserken enerjilerini su yüzeyine aktararak dalgaların oluşmasına neden olur. Bu dalgalar, kıyıya doğru hareket ederler, kıyıya vardığında kırılır ve açığa çıkan türbülans hareketi deniz yatağında biriken tortulları harekete geçirmektedir (European Commission, 2004). Güneydoğu Avustralya bölgesinde 177 km'lik kıyı çizgisinde yapılan çalışmada, fırtına öncesi ve sonrası incelenerek denizaltı kumsalında toplam 11,5 milyon m³ (ortalama 65 m³m⁻¹) kumun aşındığı tespit edilmiştir. Fırtınadan sonra bu aşınma ile kıyı çizgisi 22 m karaya doğru hareket etmiştir (Harley vd., 2017). 2012 yılında ABD'de gerçekleşen Sandy kasırgası öncesi ve sonrasında yapılan araştırmalarda Güney Avustralya'daki sonuçlara benzer bulgular elde edilmiştir. Sandy kasırgası Pelican, Fire adaları ve New York civarındaki sahilde bulunan 4 m yüksekliğindeki kum tepelerinin kesilmesine ve yeni bir koy oluşmasına neden olmuştur (Sopkin vd., 2014).

İnsan faaliyetleri sonucu doğal dengesi bozulan kıyılarda, erozyon problemi ortaya çıkmaktadır. Kıyılara inşa edilen mahmuzlar; yapıları, açısı ve kullanım amacına göre kıyı şeridinde sediment birikimini sağlamak amacıyla inşa edilebileceği gibi akarsu ağızlarında da kullanılabilmekte ve sedimenti iskelelerden uzaklaştırmak amacıyla da kullanılabilir (Seabergh ve Krock, 2003). Kıyı erozyonunu azaltmak ve kıyıyı eski dengesine ulaştırabilmek için T tipi mahmuzları gibi yapay kıyı yapıları inşa edilebilmektedir (Bayraktar vd., 2016). T tipi mahmuzlar, kıyı gelişimini ilerletmek için Türkiye'de sıkça kullanılan yapılardır. Örneğin, Manavgat'ta bulunan Çolaklı plajına inşa edilen ayırık dalga kıranlar ve mahmuzlar nedeniyle 25 m'ye kadar çekilen kıyı çizgisinde

100 m'ye kadar birikim gözlenmiştir (Küçükosmanoğlu vd., 2016). Giresun kıyı şeridinde inşa edilen mahmuzlar ise 2006-2020 yılları arasında kıyı şeridinin 60 m ile 85 m arasında ilerlemesine neden olmuştur (Apaydın ve Durmaz, 2020).

1.3.1.2.2 Toprak Erozyonu Etkisi

Toprak, insan faaliyetlerinin devamı ve ekosistemlerin hayatta kalması için hayati bir rol oynayan dinamik bir sistemdir. Bu bağlamda uygun olmayan tarım ve ormancılık uygulamaları, endüstriyel faaliyetler, turizm aktiviteleri ve kentsel genişlemeler, çevreyi ve toprağı baskı altında bırakmaktadır (EC, 2006).

Toprağın, doğal süreçlerle (su, rüzgar veya buzul gibi) veya insan faaliyetleriyle, belli bir zaman içerisinde bir yerden başka bir yere normalin çok üstünde taşındığı duruma toprak erozyonu denir (Deniz ve Ok, 2016; Yalçınkaya vd., 2022). Toprak erozyonu ile barajların ömrü kısaltmakta, topraktaki organik madde miktarı azalmakta, verimliliği düşmektedir. Dünyada her yıl yaklaşık olarak 24 milyar ton toprak, erozyonla kaybedilmektedir (OSİB, 2017). Hindistan'daki Ganj ve Çin'deki Sarı Nehir, Dünyada en çok sediment taşıyan akarsulardır. Amazon Nehrinin debisinin bu iki akarsudan daha fazla olmasına rağmen havzasındaki orman ve bitki alanlarının fazlalığı ve yoğunluğu, sediment iletimini önemli ölçüde azaltmıştır (OSİB, 2017). Türkiye'de çölleşme ve kuraklık riski taşıyan ve erozyona maruz kalan toprak miktarı yaklaşık olarak %86'dır. Aynı şekilde Türkiye'de yaşanan toprak erozyonunun %56'sı şiddetli erozyon sınıfındadır. Türkiye'de mera alanlarının %64'ünde, tarım alanlarının %59'unda ve orman alanlarının %54'ünde aktif erozyon bulunmaktadır (OSİB, 2017; Şahin vd., 2012; Taysun ve Dağdeviren, 1991). Erozyon takibi için havza ve akarsuların sediment veriminin bilinmesi gerekmektedir. Akarsulardan veya havzalardan belirli bir zamanda geçen toplam sediment miktarına, sediment verimi denir ve genellikle birim zamanda geçen ağırlıkla ifade edilir. (DSİ, 2021a). Toprak erozyonu modelleri temelde 3 farklı gruba ayrılmaktadır. Bunlar; ampirik, yarı ampirik ve fiziksel modellerdir (süreç odaklı)

(De Vente ve Poesen, 2005; Birkinshaw ve Bathurst, 2006; Tošićá vd., 2012; Borrelli vd., 2021). Ampirik modeller, küçük alanlardan ziyade, akarsu havzası gibi geniş alanlardaki toplam erozyon miktarını ve sediment verimini tespit etmede oldukça etkilidirler (Lane vd., 1997; Renschler ve Harbor, 2002; Van Rompaey ve Govers, 2002; Tošićá vd., 2012). Bu üç grup modelden türetilen erozyon risk analizleri, kullanım amaçlarına göre alt sınıflara da ayrılmaktadır. Toprak erozyonunun tespit edilmesinde arazi gözlemleri ve ölçümleri, laboratuvar deneyleri ve dünya genelinde uygulanan meta-analiz yöntemleri kullanılmaktadır (Borrelli vd., 2021; García-Ruiz vd., 2015; Mutchler vd., 1994; Toy vd., 2002; Wuepper vd., 2020). Bu analizler toprak erozyonunu biçimsel, yoğunluk ve sıklık bakımından ele almaktadır. Nitel toprak erozyonu modelleri arasında Birleşmiş Milletler Gıda Tarım Teşkilatı (FAO), ICONA, CORINE gibi modeller bulunmaktadır. Bu modeller erozyonu, çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak sınıflandırmakta, erozyonun alansal dağılışını göstermektedir (Yılmaz, 2006).

Toprak Erozyonu Modeli İzleme Küresel Uygulama (Global Applications of Soil Erosion Modelling Tracker - GASEMT) veri tabanına göre 24 adet toprak erozyonu modeli bulunmaktadır (Borrelli vd., 2021). Yapılan çalışmalarda en sık kullanılan toprak erozyon modelleri sırasıyla %17,1 ile RUSLE, %13,9 ile USLE, %6,4 ile RES, %6,2 ile SWAT ve %4,7 ile WaTEM modelleri gelmektedir. PESERA modeli, genellikle Avrupa ülkelerinde geniş alanlar için uygulanan bir modeldir (Bezak vd., 2021). Modelde kullanılan verilerin boyutu çok büyük olduğu için kullanımda sıkıntılar yaşanabilmektedir. Bu modelde toprak derinliği ve detaylı arazi örtüsü gibi veriler kullanılmakta, çıplak kayalık özelliği gösteren alanlarda erozyon miktarı hesaplanamamaktadır (Çilek ve Berberoğlu, 2013). MPSIAC modelinde ise ana kayaların erozyon duyarlılığının hesaplanması, toprak bünyesinin ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu tespitlerin yapılabilmesi için arazi çalışması esnasında Schmidt çekici ile anakaya özelliklerinin belirlenmesi ve belirlenen noktalardan alınan

toprak numunelerinin analiz edilmesi gerekmektedir (Fıçıcı ve Soykan, 2022). Doğrulama ve değerlendirmesi en sık yapılan erozyon modelleri olan ANSWER, PERFECT, USLE-M, DSESYM, ve EUROSEM modelleri çalışmalarının %85’inde arazi ölçümleri ile doğrulama teknikleri kullanılmıştır (Borrelli vd., 2021). Doğrulaması yapılan sediment verimi ölçümlerinde RUSLE modeli %63-69 doğruluğa sahip olduğu görülmüştür. Fakat bu modelin, yamaçlardaki toplam erozyon miktarını belirlerken doğruluk yüzdesi düşmektedir (RUSLE %41- USLE %34). Net erozyonu gösteren modeller, daha yüksek ve değişken sonuçlar çıkaran brüt erozyonu gösteren modellere göre daha az hata payına sahiptir. USLE tipi modeller, hem ampirik (USLE, RUSLE ve AnnAGNPS), hem de yarı ampirik model özelliklerine (SWAT, WaTEM/SEDEM, MUSLE) sahiptirler. Fiziksel tabanlı modeller ise WEPP, LISEM ve RHEM gibi modellerdir (Borrelli vd., 2021). USLE tipi modellerin sınırlılığı, çökeltme ve sediment verimini öngören algoritmaların olmamasıdır. Yarı deneysel ve fiziksel modellerin kombinasyonu olan (SWAT, WaTEM/SEDEM, MUSLE) modeller, USLE benzeri modellerden farklı olarak sediment verimini hesaplamak için gerekli denklemlerin eklenerek mevcut erozyon modellerinin eksikliklerini gidermiştir. WaTEM/SADEM modelleri, SWAT ve MUSLE’den farklı olarak uzun dönemli yıllık toprak kaybı ortalamalarının ve birikim miktarlarının mekânsal dağılışı da vermektedir (Borrelli vd., 2021). USLE ve bu modelden üretilen RUSLE, RUSLE-2 gibi modeller, uyumlu sediment iletim modeli ile birleştirilmediği sürece, içbükey yamaçlarda meydana gelen birikimi hesaba katmamaktadır. Genellikle uzun yıllara dayanan toprak kaybı tahmini için tasarlanmış olmasına rağmen bazı coğrafi bölgelerde çok iyi sonuçlar verirken bazı bölgelerde aynı performansı gösterememektedir (Kinnell, 2010). Bu çalışmada kullanılan Gavrilovic yöntemi olarak da bilinen Erozyon Potansiyeli Modeli (EPM) Sırbistan’ın Mora nehri havzasında erozyon saha araştırmasına dayalı olarak geliştirilmiştir (Dragičević vd., 2016). EPM yöntemi, su erozyonunun oluşturduğu toprak kaybını

ölçmeyi ve erozyonun zararlarını en aza indirecek uygulamaları geliştirmeyi amaçlamaktadır (Zahnoun vd., 2019). EPM yöntemi, havza ölçeğinde gerçekleştirilen ilk ampirik yöntemlerden biridir. Bu yöntem, değişkenlere verilen ampirik katsayılarla hesaplanmaktadır. Bu değişkenler; toprak direnci, toprak örtüsü, erozyonun türü ve boyutunu içermektedir. Diğer nicel faktörler, havza alanın tanımlayıcıları olarak kabul edilmektedir (Dominici vd., 2020). Yapılan saha çalışmalarında EPM yönteminin yüksek ve orta şiddetteki erozyona sahip alanları (Türkiye gibi) tespit etmekte oldukça başarılı olduğu, ancak hafif erozyon alanlarını tespit etmekte daha düşük bir doğruluk değerine sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın sonucunda, EPM yönteminin yarı kurak-kurak havzalarda uygulandığında doğruluk katsayısının 0,95 olarak tespit edilmiştir (Bagherzadeh ve Daneshvar, 2011; Bagherzadeh vd., 2010; Dragičević vd., 2016). EPM yöntemi minimum verinin bulunduğu ve daha önce fiziksel erozyon araştırmalarının yapılmadığı alanlar için uygundur. Yöntem, bu yönüyle sediment üretimi ve iletim miktarının yanı sıra erozyon yoğunluğunu da tespit edebilme özelliğine sahiptir (Dragičević vd., 2017).

1.3.2. Dünya’da ve Türkiye’deki Kıyı Çizgi Değişim Analizleri

Kıyı bölgelerinde iklimin genelde ılıman olması, bu alanlarda yoğun deniz ticareti yapılması, bu alanların tarımsal faaliyetlere uygun ve turizm için cazibe merkezi olması, kıyı bölgelerinin önemini artırmaktadır. Bahsedilen faaliyetler, kıyı bölgelerinde yaşayan insanların sosyo-ekonomik açıdan kalkınmasını sağlamıştır (Sesli, 2006). Kıyı alanlarının bu özelliklerinin korunabilmesi için kıyı çizgisi değişimlerinin tespit edilmesi ve bu değişimlerin dikkate alınarak koruma ve önleme planlarının geliştirilmesi gerekmektedir.

Kıyı çizgisi değişimleri, Dünya’da ve Türkiye’de birçok çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmalardan biri ABD’de Mississippi Deltasında yapılmıştır (Blum ve Roberts, 2009). Dünyanın en büyük deltalarından biri olan Mississippi Deltaı, ABD’nin Louisiana eyaletinin Meksika körfezi kıyılarında yer almaktadır. Delta, son birkaç

yüzyılda sulak alanlarının %25'ini (yaklaşık olarak 3.400 km² alanı) kaybetmiştir. Mississippi Havzasındaki baraj inşaatları, akarsular tarafından taşınan sedimentin %50'sini tutmaktadır (Blum ve Roberts, 2009). Sediment iletiminin azalması, delta alanın çökmesi ve deniz seviyesinin yükselmesi nedeniyle, 2100 yılına kadar, toprak kaybının 10.000-13.500 km²'ye çıkması beklenmektedir. Mevcut durumda Mississippi Deltasının eski haline gelebilmesi için 18-24 milyar ton sediment gerekmektedir (Blum ve Roberts, 2009). 1983-2016 yıllarını kapsayan diğer bir çalışmada, Mississippi deltasındaki toplam arazi kaybının 1.403,85 km² olduğu tespit edilmiştir. Bölgede meydana gelen kasırgalar, delta alanındaki ani ve büyük toprak kayıplarında etkili olmaktadır (Roy vd., 2020).

Deniz seviyesi yükselmesi gibi tektonik hareketler, delta alanlarında çökme (sübsidans) yaratabilmekte ve kıyı değişimlerine neden olabilmektedir (Hoque vd., 2007). Bangladeş'te yer alan Ganj-Brahmaputra-Meghna (GBM) Delta alanının aktif bir levha sınırında yer alması, delta alanının değişiminde etkili olmaktadır. Deltanın kuzeyinde yer alan Shillong Masifi'nin ön tarafı olan Sylhet Havzası, 7-12 mm/yıl gibi çok yüksek miktarda çökmektedir. Dhaka şehri ve yakın çevresindeki yoğun yeraltı suyu kullanımı çökme miktarının yükselmesine neden olmaktadır (Hoque vd., 2007). Deltanın kıyı kuşağındaki çökme, 3-8 mm/yıl civarındayken delta geneline bakıldığında, 0-12 mm/yıl çökme miktarlarıyla karşılaşılmaktadır. Sylhet Havzasında çöken alanlar, JURI'deki yükselen antiklinal hareketi ile açıklanabilmektedir. Bölgedeki tektonik hareketler ve aşırı yeraltı suyu kullanımı, delta yüzeyinin altında boşluklar oluşturarak çökme hareketini hızlandırmaktadır (Plant vd., 2014). 1968-2012 yıllarını kapsayan Ganj-Brahmaputra-Meghna (GBM) Delta alanındaki su seviyesindeki yükselme miktarı (3 mm/yıl), küresel deniz seviyesinin yükselme hızından (2 mm/yıl) biraz daha fazla olduğu tespit edilmiş ve 1993-2012 yılları arasında delta alanındaki çökmenin 1-7 mm/yıl olduğu belirlenmiştir (Becker vd., 2020). Bu tespit delta alanındaki kıyı değişimlerini etkileyen faktörlerin çökme, tektonizma ve yeraltı suyu çekimi gibi farklı dinamiklerden

oluşturduğunu göstermektedir. Başka bir çalışmada ise Ganj ve Brahmaputra nehirlerinin birleştiği delta alanında yer alan 1.100 km²'lik Bangladeş kıyılarının değişiminin tespiti için 1989-2009 yılları arasında kıyı değişim analizi yapılmıştır. Bangladeş'in Sundarbans kıyı bölgesinin belli bir kesiminde 7 km²'lik birikim gözlenirken, farklı bir bölgesinde 26 km²'den fazla bir alan deniz haline gelmiştir. Bu da yılda 1 km²/yıl civarında toprak kaybı olduğunu göstermektedir (Sarwar ve Woodroffe, 2013).

Türkiye'de de kıyı değişimlerinin tespit edildiği önemli delta alanları bulunmaktadır. Bu alanlar içinde Yeşilırmak, Kızılırmak, Seyhan, Ceyhan ve Göksu deltaları bulunmaktadır. Kıyı çizgisi değişimi tespiti yapılan deltalardan Seyhan ve Ceyhan nehirleri için yapılan çalışmada, 1957-2009 yıllarına ait uydu görüntülerinden yararlanılarak, Seyhan deltasının 0,4 m/yıl gerilediği tespit edilmiştir (Kocadere vd., 2013). Ceyhan Deltası ise, nehir üzerinde bulunan Aslantaş barajından (1984) öncesi ve sonrası olarak 2 dönemde incelenmiş, delta kıyı çizgisi 1984'ten önce 1,5 m/yıl aşındığı, baraj kurulumundan sonra bu değerin 1,9 m/yıl'a çıktığı belirlenmiştir (Kocadere vd., 2013). Yeşilırmak Deltasında da kıyı çizgisi değişimi analizi yapılmış, nehir üzerinde 2016 yılı itibari ile 29 baraj bulunduğu tespit edilmiştir. Yeşilırmak Delta kıyısı için 2000-2011-2015-2016 yıllarına ait Landsat ve Worldview-2 uydu görüntüleri kullanılarak yapılan çalışmada, delta kıyısında birikim ve aşınım faaliyetlerinin bir arada olduğu görülmüştür. Delta kıyısında 130 m'lik kıyı oku gelişiminin yanı sıra 13 ha'lık birikim gerçekleşmiştir. Bununla birlikte aşınımın en fazla olduğu 215 m'lik bir aşınım tespit edilmiştir ve 38 ha'lık alanın kaybedildiği görülmüştür (Kale ve Ataol, 2016). Yeşilırmak Deltasındaki kıyı çizgisinde yapılan erozyon çalışmalarında 1975-1999 yılları arasında 262 ha alan kaybı söz konusu iken 2000-2016 yılları arasında bu kayıp 116 ha olmuştur (Avcı vd., 2003; Kale ve Ataol, 2016). Mersin ili sınırları içerisinde yer alan Göksu Deltası için yapılan kıyı çizgisi değişimi çalışmasında ise 1984-1990-2000-2010 ve 2011 Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Göksu Deltasındaki İncekum burnunda 1984-

1990-2000-2010-2011 yıllarına ait Landsat uydu görüntülerinde 330 m'lik birikim gözlemlenmiş ve 54 ha'lık kumul alanı kıyıya eklenmiştir (Karabulut ve Küçükönder, 2018). Yapılan diğer bir çalışmada Göksu Deltası için 1984-1990-2000-2006-2010-2014 ve 2017 Landsat uydu görüntüleri kullanılarak Dijital Kıyı Analiz Sistemi (Digital Shoreline Analysis System - DSAS) yöntemi uygulanmıştır. Karabulut'un ve Küçükönder'in yaptığı çalışmanın aksine Göksu Deltasında yer alan Altinkum ile İncekum bölgesinde 755-396 m'lik bir aşınım, akarsu ağız kısımlarında ise 277-695 m arasında birikim söz konusu olduğu görülmüştür. Göksu Deltasında geri çekilmenin 650 m, aşınım miktarının ise 25,99 m/yıl olduğu tespit edilmiştir (Kılar ve Çiçek, 2018).

Türkiye'de delta alanlarında yapılan kıyı çizgisi değişimi çalışmalarında, kıyıda birikim ve aşınım bölgeleri genel olarak deltayı oluşturan nehrin üzerindeki barajlarla ilişkilendirilmiş, ancak analizlerde barajların etkisini ortaya koyan bir veri paylaşımı tespit edilememiştir. Ayrıca yapılan çalışmalarda belirli yıllar seçilerek, diğer yıllarda gerçekleşebilecek aşırı birikim veya aşınım durumları göz ardı edilmektedir.

1.3.3. Kızılırmak Deltasında Yapılan Kıyı Çizgisi Değişim Çalışmaları

Kızılırmak Deltasında insan faaliyetlerinin yoğun olması nedeniyle birçok çalışma yapılmıştır. 1987-1998-2002-2007 ve 2011 yıllarına ait Landsat TM-5 uydu görüntülerinden faydalanılarak kıyı erozyonunu önlemek amacıyla inşa edilen 10 adet mahmuzun etkisi incelenmiş, deltanın ağız kısmı için yapılan doğrusal regresyon (Linear Regression Rate - LRR) analizi sonucunda 29,67 m/yıl aşınım ile 1,40 km² toprak kaybı, doğu kıyısında ise 4,69 m/yıl aşınım ile 0,19 km² toprak kaybı, batı kıyısında ise 4,62 m/yıl aşınım ve 0,10 km² toprak kaybı olduğu belirlenmiştir (Beyazıt, 2014). 19,52 m/yıl olan aşınım miktarı, mahmuzların tamamı inşa edildikten sonra 9,49 m/yıl'a gerilemiştir. Meydana gelen aşınımın sebebi, Altinkaya ve Derbent barajlarındaki sediment tutulumuna bağlanmıştır (Beyazıt vd., 2014). Görüldüğü üzere mahmuzlar kıyı çizgisindeki gerilemeyi yavaşlatmış fakat tam olarak ortadan kaldıramamıştır.

1989-1999 ve 2009 yıllarına ait uydu görüntüleri kullanılarak yapılan bir diğer çalışmada ise Kızılırmak Deltasındaki aşınım 16,10 m/yıl olduğu hesaplamıştır. Kıyı çizgisindeki gerilemenin nedeni olarak, Altinkaya Barajındaki sediment tutulumu gösterilmiştir (Kuleli, 2010). Kızılırmak Deltasının doğu kıyısı için 1951-1975-1990-2004 ve 2017 yıllarına ait uydu görüntüleri kullanarak yapılan çalışmada, 1951-1975 yılları arasında 1,05 m/yıl, 2004-2017 yılları arasında 4,45 m/yıl birikim olduğu ve deltanın doğusunun bu yıllarda büyüdüğü görülmüştür. Aynı çalışmada, 1975-1990 yılları arasında 27,05 m/yıl, 1990-2004 yılları arasında ise 19,90 m/yıl aşınım olduğu belirlenmiştir. 2004-2017 yılları arasında ise mahmuz bentlerinde biriken kumullar nedeniyle 9,63 m/yıl birikim gerçekleşmiştir (Ataol vd., 2019). 2000 yılında DSİ 7. Bölge Müdürlüğü ve özel sektör ortaklığıyla yapılan erozyon önleme çalışmaları kapsamında 1 (düz) ve 2 (çatal) şeklinde 3 adet mahmuz inşa edilmiştir (daha sonraki dönemlerde 7 adet daha mahmuz inşa edilmiştir). Bu 3 mahmuz inşa edildikten sonra 2000 yılının Ocak ayından itibaren 4 ay boyunca düzenli ölçümler yapılarak kıyı erozyonu durumu tespit edilmiştir. Mahmuzlar erozyonu büyük ölçüde engellediği ortaya çıkmış ve denize doğru yer yer 50 m'lik birikim kaydedilmiştir (Uzun ve Yılmaz, 2005). 1962-1974-1987 ve 2013 yıllarına ait uydu görüntüleri değerlendirildiği diğer bir çalışmada, Kızılırmak Deltası 3 bölüme ayrılmış ve EPR yöntemine göre deltanın batı kıyısında 0,6 m/yıl, doğu kıyısında 0,5 m/yıl birikim, ağız kısmında ise 8,1 m/yıl aşınım belirlenmiş, yıllık değişim miktarı ise 2,33 m/yıl olarak hesaplanmıştır (Öztürk ve Sesli, 2015b).

Bruun yöntemine göre, deniz seviyesi yükselmesinin her 1 cm'si, 10 m'den daha alçak kıyılarda kıyı çizgisinin karaya doğru 1 m yer değiştirmesine neden olmaktadır (Uzun, 2006; Zeybek vd., 2018). IPCC verilerine göre, küresel deniz seviyesindeki yükselme, içinde bulunduğumuz yüzyıl içerisinde ortalama 50-60 cm arasında olacaktır (Jarraud ve Steiner, 2012). Bu durum, Kızılırmak Deltasındaki kıyı çizgisinin 50-60 m

aşınımına ve 3,64 km²'lik bir alanın da sular altında kalmasına neden olacaktır (Zeybek vd., 2018).

Yapılan çalışmalarda, Kızılırmak Deltasının çalışılan bölgeleri ve kıyı uzunlukları birbirinden farklıdır. Aynı zamanda DSAS modülünde oluşturulan kesitlerin sıklık tercihlerinin kullanıcıya bırakılmış olması farklı sonuçların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Yapılan çalışmalarda, uydu görüntülerine standart olarak yapılan atmosferik ve radiometrik düzeltmenin yapıp yapılmadığı hakkında herhangi bir açıklama bulunmamaktadır. Sadece 2015 yılında Öztürk ve Sesli'nin yaptığı çalışmada radiometrik düzeltme yapıldığı belirtilmiştir. Diğer bir husus, yapılan çalışmalarda kıyı erozyonunun nedeninin, Altınkaya ve Derbent barajlarındaki sediment tutumu olarak belirtilmesidir. Deniz seviyesi ile ilgili bilgiler sadece Zeybek vd. (2018) tarafından değerlendirilmiştir. Delta için, deniz seviyesi değişimi, kıyı etkilenebilirliği, Kızılırmak Havzasının erozyon miktarı, sediment iletim miktarları, Kızılırmak Nehrinin akım değerleri ve barajların etkisinin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Bütüncül bir değerlendirme sonucunda, alınması gereken önlemler konusunda daha isabetli sonuçlar elde edilecektir.

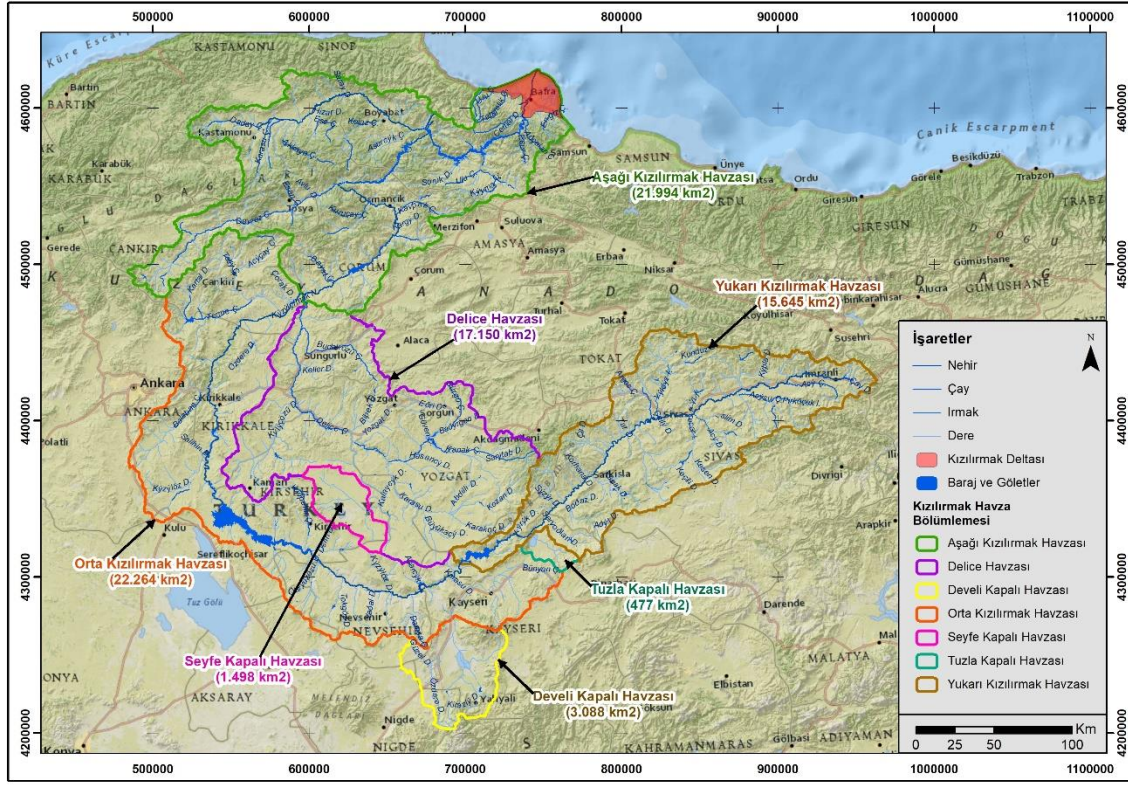
1. ÇALIŞMA ALANI

1.1. Kızılırmak Havzasının Genel Özellikleri

Sivas'ın İmranlı ilçesinde, Kızıladağ'dan doğan Kızılırmak Nehri 10 ilden geçerek Karadeniz'e ulaşmaktadır. 1.151 km uzunluğa sahip nehrin havzası, Fırat Havzasından sonra Türkiye'nin 2. büyük havzasıdır. Kızılırmak Havzasının kuzeyinde; Karadeniz, batısında; Sakarya ve Batı Karadeniz havzaları, doğusunda; Yeşilirmak ve Yukarı Fırat havzaları, güneyinde ise Orta Anadolu ve Seyhan havzaları bulunmaktadır (DSİ, 2021b).

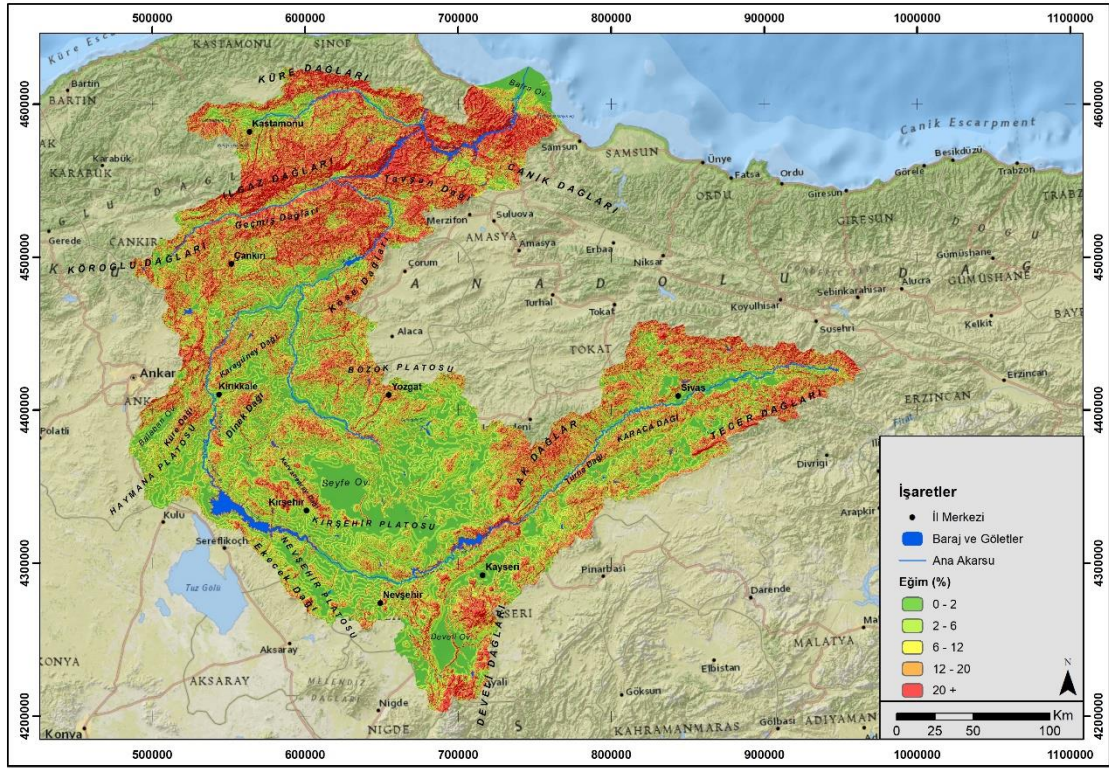
Kızılırmak Havzasının 82.118 km²'lik alanının 35.288 km²'lik alanı ovalardan ve geniş dağlık alanlardan oluşmaktadır. Kayseri ilinde yer alan Erciyes Dağı (3095 m) Kızılırmak Havzasının en yüksek noktasını, Samsun ili, Bafra Ovası kıyıları ise en alçak sahalarını oluşturmaktadır. Havzanın kuzeyi ve doğusu dağlık alanlardan oluşurken orta kesimleri nispeten daha düz alanlardan oluşmaktadır (TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, 2012). Topografyanın bu kadar engebeli ve yükselti farklarının bu kadar fazla olması Kızılırmak Havzasının ekolojik ve doğal yapısının çeşitlilik göstermesine neden olmaktadır.

Kızılırmak Havzası; DSİ tarafından, Aşağı Kızılırmak Havzası (21.994 km²), Orta Kızılırmak Havzası (22.264 km²), Delice Havzası (17.150 km²), Yukarı Kızılırmak Havzası (15.645 km²) ile Develi Havzası (3.088 km²), Seyfe Kapalı Havzası (1.498 km²) ve Tuzla Kapalı Havzası (477 km²) olmak üzere 7 alt havzaya bölünmüştür (DSİ, 2021c) (Şekil 1). Havza alanı içerisinde 53 baraj, 109 gölet ve 10.221 km uzunluğunda akarsu ağı bulunmaktadır (DSİ, 2021b).



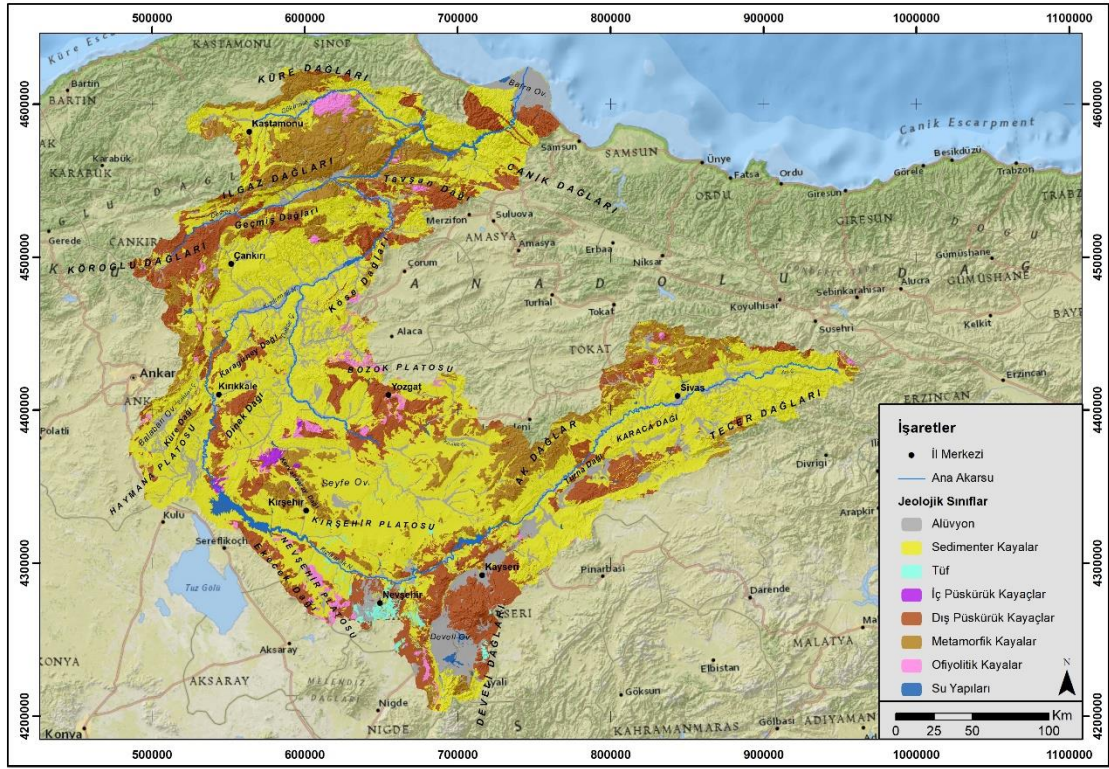
Şekil 1 DSİ'nin Kızılırmak Havzasına ait alt havzaları

Kızılırmak Havzasının kuzeyinde Küre Dağları, Canik Dağları, Ilgaz Dağları ve Köroğlu Dağları; güneyinde Develi Dağları; doğusunda ise Tecer ve Ak Dağlar bulunmaktadır. Orta kesiminde Kırşehir, Nevşehir, Haymana ve Bozok platoları; Kızılırmak, Gökırmak, Devrez ve Delice vadileri yer almakta, havzada ayrıca Bafra, Balaban, Seyfe ve Develi ovaları yer almaktadır (Şekil 2). Kızılırmak Havzasının alt havzalarının en doğusunda yer alan Yukarı Kızılırmak Havzası, Orta Kızılırmak Havzası ve Delice Havzasının aşağı bölgeleri, İç Anadolu Bölgesi'ne özgü yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlı karasal iklim özelliklerini göstermektedir (DSİ, 2021b). Bu alt havzalar içerisinde yer alan Kırıkkale, Yozgat ve Kayseri'den Sivas'a doğru gidildikçe yükseltinin artması, karasallığın etkisini artırmaktadır. Kızılırmak Havzasının kuzeyinde yer alan Küre, Canik, Ilgaz ve Köroğlu dağları, Karadeniz'in nemli-ılıman havası havzanın iç kesimlerinde etkili olmasını. Yıllık ortalama yağış miktarı 300-600 mm, yıllık sıcaklık ortalaması ise 9-12 °C'dir. Aşağı Kızılırmak Havzasının bir bölümü de içine alan Orta Karadeniz bölgesi ise karasal iklimden Karadeniz iklimine geçiş özellikleri



Şekil 3 Kızılırmak Havzasının eğim haritası (%)

Kızılırmak Havzasın, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden (MTA) temin edilen jeoloji haritasına göre (MTA, 2002), 112 farklı jeolojik birim bulunmaktadır. Bu birimler haritada belirgin bir şekilde gösterilemediği için kayaç sınıflarına göre yeniden düzenlenmiş ve daha anlaşılır hale getirilmeye çalışılmıştır (Şekil 4). Havzanın kuzeyinde metamorfik kayaçlar, Kayseri ve Çankırı çevresinde ise magmatik kayaçlar geniş alanlar kaplamaktadır. Havzanın genelinde ise sedimenter kayaçlar (breş, çört, kilaşı, traverten vb.) hakimdir. Alüvyal sahalar ise akarsular çevresinde ve özellikle Kızılırmak boyunca karşımıza çıkmaktadır (MTA, 2002).



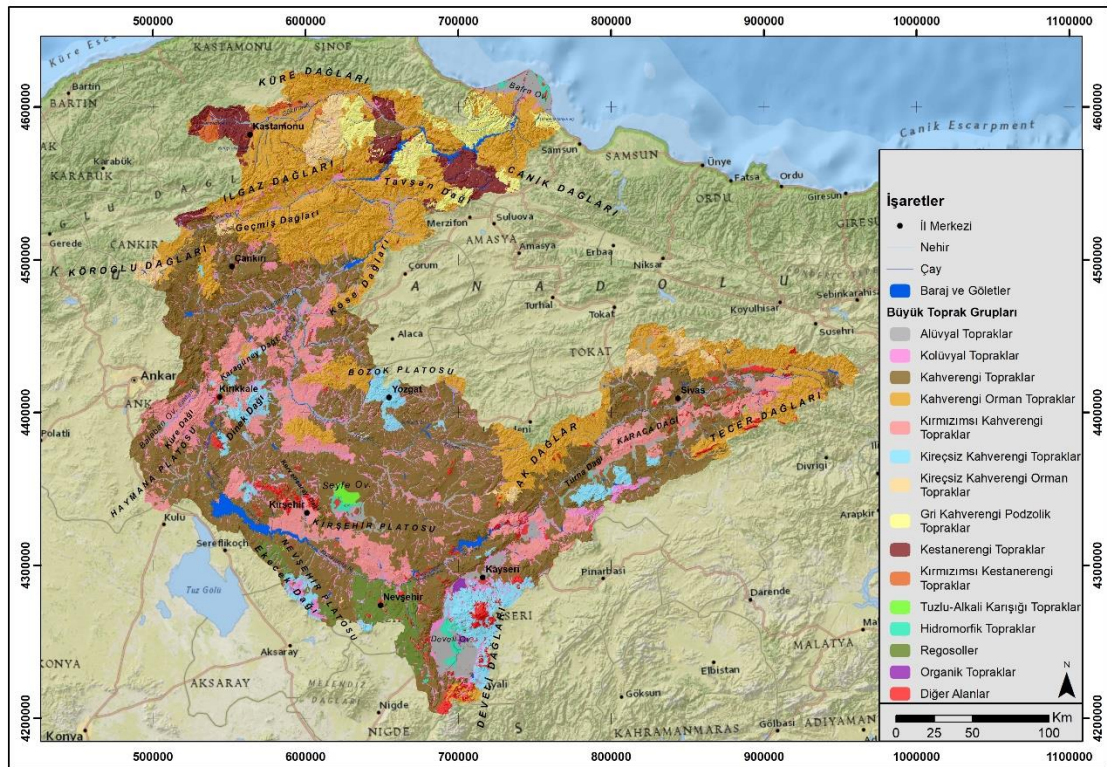
Şekil 4 Kızılırmak Havzasının kayalara göre sınıflandırılmış jeolojisi

Anakaya üzerindeki kanallarda meydana gelen erozyon, birçok karmaşık ve etkileşimli süreçlerin bir arada olması ile gerçekleşir. Bu süreçlerin başında akarsu aşındırması gelmektedir. Akarsuyun gücünü ise eğim, drenaj alanı, sediment miktarı ve aşınabilirlik direnci oluşturmaktadır. İklim ve hidrolojik etmenler ise akarsuyun aşındırıcı akışını ve kayacın aşınabilirliğini kısmen kontrol eden faktörlerdir (Small vd., 2015; Tucker, 2004). Aşınmaya karşı direnç, anakayanın özellikleri tarafından kontrol edilir (Sklar ve Dietrich, 2001). Fayların varlığı ve dağılışı, kaya yüzeyinin pürüzlülüğü, akarsu kanalının geometrisi ve kanal eğimi erozyon miktarını etkilemektedir (Han vd., 2014; Hancock ve Anderson, 1998; Huda ve Small, 2014; Small vd., 2015). Kayaçlar aşınma direncine göre az aşınabilir, orta derecede aşınabilir ve fazla aşınabilir olmak üzere 3 sınıfa ayrılmıştır. Az aşınabilir kayaç sınıfları içinde; iç püskürük (asit plütonik) kayaçlar, metamorfik kayalar, karbonatça zengin sedimentler (tortul) kayalar (1,0), dış püskürük (volkanik) kayalar (1,1), karışık sedimentler (tortul) kayalar (1,2), orta derecede aşınabilir kayaçlar içinde; iç püskürük (temel plütonik) kayaçlar ve tüm tane boyutundaki siliklastik

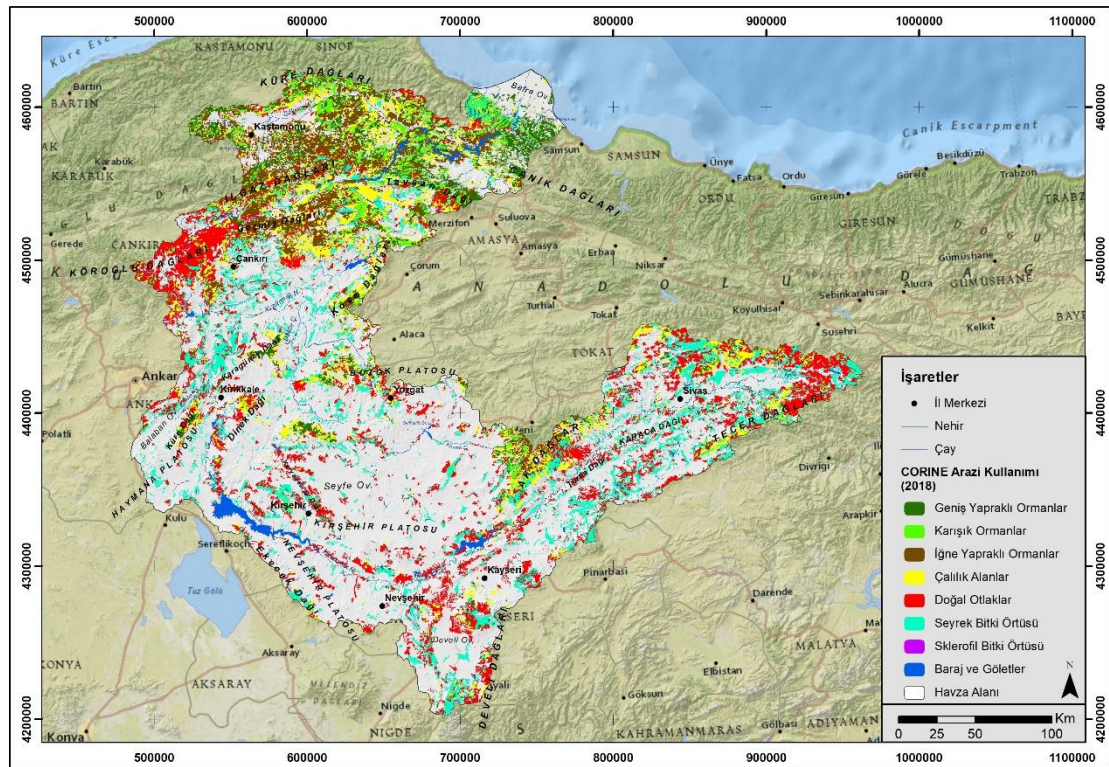
kayaçlar (1,5), dış püskürük (volkanik kayaçlar) (1,4), yüksek aşınabilir kayaç sınıfları içinde; konsolide olmayan sedimentler (tortul) (3,2) bulunmaktadır (Moosdorf vd., 2018).

Bu açıdan havzanın kuzeyinde geniş alan kaplayan dış püskürük ve metamorfik kayalar düşük aşınım derecelerine, delta alanı ise yüksek aşınım derecesine sahiptir. Havzanın orta kesimlerinde genel olarak sedimenter kayalar mevcuttur. Bunlar; kireçtaşı, breş, silt, kil, kumtaşı, çamurtaşı, şeyl, gibi orta-düşük aşınabilir jeolojik birimlerden oluşmaktadır. Çok fazla alan kaplamasa da havzada iç püskürük kayaçlar, ofiyolitik, metamorfik ve dış püskürük kayaçlardan oluşan az aşınabilir birimler bulunmaktadır. Havzanın güney kesiminde, Develi ovasının bulunduğu bölgede yüksek aşınım derecesine sahip alüvyon alanlar, az aşınım derecesine sahip dış püskürük kayaçlar bulunmaktadır (Moosdorf vd., 2018; MTA, 2002). Havzasının doğusunda ise yaygın kayaç sınıfı, orta ve az aşınım derecelerine sahip sedimentler, az aşınım derecesine sahip metamorfik ve dış püskürük kayaçlar bulunmaktadır (Şekil 4).

Kızılırmak Havzasının kuzeyinde kahverengi orman toprakları bulunurken yer yer gri kahverengi podzolik topraklar, kestanerengi topraklar ve kahverengi topraklar; orta kesiminde ağırlıklı olarak kahverengi topraklar ve kırmızımsı kahverengi topraklar bulunurken yer yer kireçsiz kahverengi topraklar, kahverengi orman toprakları ve tuzlu-alkali karışığı topraklar; doğu kesiminde ise karışık bir şekilde kahverengi orman toprakları, kırmızımsı kahverengi orman toprakları, kireçsiz kahverengi orman toprakları ve kahverengi topraklar bulunmaktadır (KHGM, 1992) (Şekil 5).



Kızıllırmak Havzasının arazi örtüsü, 2018 yılı arazi CORINE verilerine göre incelendiğinde, havzanın kuzeyinde; geniş yapraklı, iğne yapraklı ve karışık ormanların yoğun bir şekilde yer aldığı görülmektedir. Havzanın orta kesimi seyrek bitki örtüsü ve çalılıklarda oluşan bir özelliğe sahipken doğu kesiminde, doğal otlaklar seyrek bitki örtüsü hakimdir (CORINE, 2018)(Şekil 6, Tablo 3).

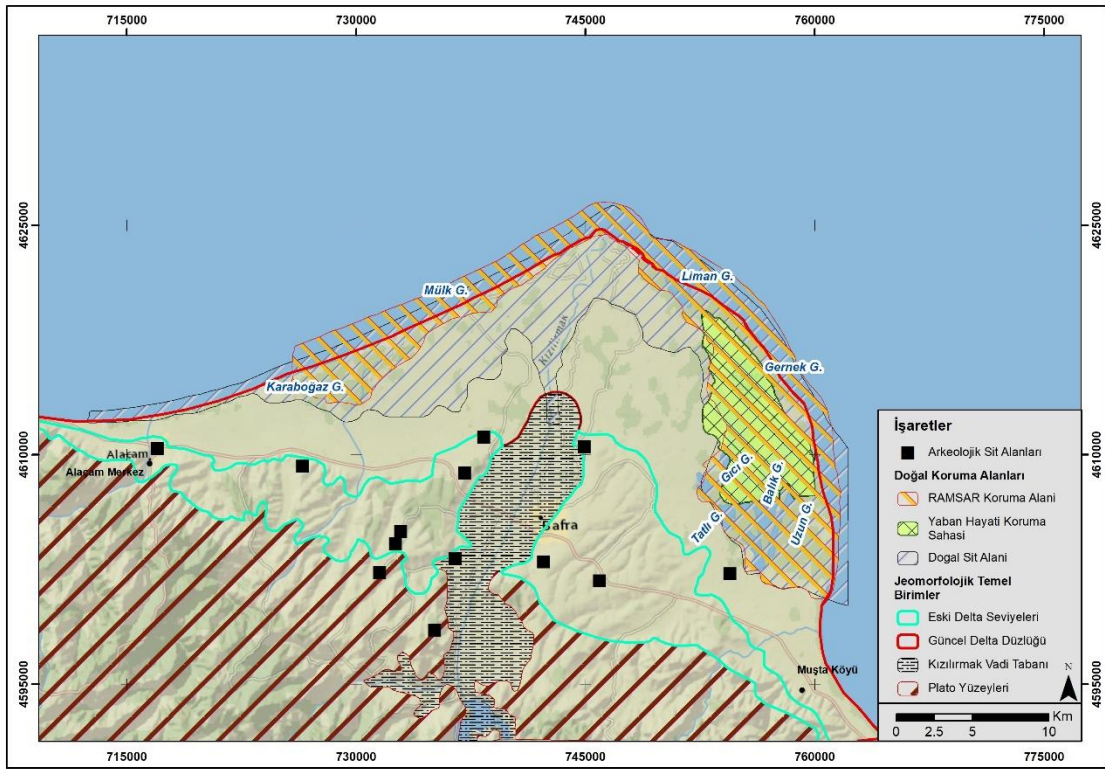


Havzada, 1990 yılından 2018 yılına kadar, toplamda %2,37'lik bitki miktarında artış olduğu tespit edilmiştir. Doğal otlak alanları (%8,57 azalma) dışında diğer bitki örtüsü alanlarında ortalama %12'lik bir artış söz konusudur. 18 yıllık verinin incelendiği dönem içerisinde en fazla artış ve azalış, 2000-2006 yılları arasında doğal otlaklarda (%-6,37) ve orman geçiş alanlarında (%15,65) gerçekleşmiştir (CORINE, 2018).

Kızılırmak Havzası Bitki Değişim Oranları					
Bitki Türü	1990 (km ²)	2000 (km ²)	1990-2000 Yüzde Değişimi (%)	2006 (km ²)	2000-2006 Yüzde Değişimi (%)
Geniş Yapraklı Orman	2.173,82	2.203,51	1,37	2.412,58	9,49
İğne Yapraklı Orman	4.272,94	4.311,8	0,91	4.794,92	11,20
Karışık Orman	1.980,49	2.022,94	2,14	2.012,05	-0,54
Doğal Otlaklar	10.585,49	10.582,72	-0,03	9.908,18	-6,37
Orman Geçiş Alanı-Çalı	5.118,31	4.992,78	-2,45	5.774,19	15,65
Toplam	24.131,04	24.113,75	-0,07	24.901,93	3,27
Bitki Türü	2012 (km ²)	2006-2012 Yüzde Değişimi (%)	2018 (km ²)	2012-2018 Yüzde Değişimi (%)	1990-2018 Yüzde Değişimi (%)
Geniş Yapraklı Orman	2.419,02	0,27	2.417,42	-0,07	11,21
İğne Yapraklı Orman	4.824,54	0,62	4.812,88	-0,24	12,64
Karışık Orman	2.047,19	1,75	2.048,58	-0,07	3,44
Doğal Otlaklar	9.713,70	-1,96	9.678,77	-0,36	-8,57
Orman Geçiş Alanı-Çalı	5.729,95	-0,77	5.744,57	-0,26	12,24
Toplam	24.734,398	-0,67	24.702,221	-0,13	2,37

1.2. Kızılırmak Deltasının Genel Özellikleri

Kızılırmak Deltası, Orta Karadeniz Bölümü'nde yer alan, Samsun iline bağlı Ondokuzmayıs, Alaçam ve Bafra ilçeleri içerisinde yer almaktadır. Kuzeye doğru burun şeklinde bir çıkıntı oluşturan delta alanı, doğuda Muştı Köyünden başlamakta, batıda Alaçam ilçe merkezine kadar devam etmektedir (Özdemir, 2010) (Şekil 7). DSİ verilerine göre; Kızılırmak Deltası 84,25 km kıyı uzunluğuna ve 738,5 km²'lik bir alana sahiptir (DSİ, 2021c). Kızılırmak Deltasında; Balık Gölü, Gernek Gölü, Liman Gölü, Gıcıcı Gölü, Tatlı Gölü, Uzun Göl, Karaboğaz Gölü ve Mülk Gölü olmak üzere 8 adet göl bulunmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Kızılırmak Deltası koruma alanlarını ve jeomorfolojik birimlerini gösterir harita

Kızılırmak Deltası, Kuvaterner dönemine ait alüvyondan meydana gelmiş düzlüklerden oluşmaktadır. Delta, gelişim açısından üç kısma ayrılır, güncel delta düzlüğü, Bafra kıyı ovasını kapsayan alandır. Bunun gerisinde, eski delta seviyeleri

bulunmakta ve Pliyosen dönemine ait kil, kum ve çakıldan oluşmaktadır. Daha güneyde ise plato yüzeyleri bulunmaktadır (Turoğlu, 2006) (Şekil 7).

Kızılırmak Deltasında doğal ve kültürel varlıkları korumaya yönelik statüler belirlenmiştir. Bunlar yaban hayatı geliştirme sahası, doğal ve arkeolojik sit alanlarıdır (ÇED, 2013; KVMGM, 2019). Deltada 1. 2. ve kısmen 3. derece doğal sit alanları 1994 yılında ilan edilmiştir. Delta, Türkiye'nin en iyi korunmuş sulak alanlarından biri olarak kabul edilmekte ve zengin yaban yaşamına ev sahipliği yapmaktadır, bu nedenle doğal sit alanı statüsünü taşımaktadır. Gernek Gölü ve yakın çevresi yaban hayatı koruma alanı olarak 1979 yılında ilan edilmiştir. Ayrıca delta, 1998 yılından itibaren RAMSAR sözleşmesi ile uluslararası koruma altına alınmıştır (Yeniyurt vd., 2008) (Şekil 7). Delta, Türkiye’de bulunan kuş türlerinin yaklaşık %75’ini barındırmaktadır. Delta alanı içerisinde 341 kuş türü ve 400 bitki türü tespit edilmiştir (Yavuz, 2011) (Şekil 8).



Şekil 8 Kızılırmak Deltası kuş gözlem sahası

Dünya genelinde nesli tükenmekte olan canlı türlerinin %10’u bu alanda bulunmaktadır. Ayrıca deltanın yerel halkın geçim ekonomisine katkısı büyüktür. Deltadan hayvancılık, sazcılık, tarım, balıkçılık, yaban hayatı ve doğal güzellikleri ile turizm potansiyeli aracılığıyla faydalanmaktadır (Yavuz, 2011) (Şekil 9-10).



Şekil 9 Kızılırmak Deltasında yer alan yabani atlar (yılkı atları), sazlık alanlar ve çeltik tarım alanları



Şekil 10 Kızılırmak Deltasında yer alan manda üreticiliği, büyükbaş ve küçükbaş hayvancılık faaliyetleri

Kızılırmak Deltasının kendine ait bir ekosistemi vardır. Deltada, geniş yapraklı ağaçların yanı sıra insan faaliyetleri sonucu meydana gelen iğne yapraklı ağaç (çam türleri) türleri de bulunmaktadır. Bu türler genellikle kıyıya çok yakın, kumullar üzerine, kıyı gerilemesini ve rüzgar erozyonu engelleyerek, yerleşmelere ve tarım alanlarına zarar gelmesini önlemek amacıyla dikilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11 Kızılırmak Deltasında yer alan geniş ve iğne yapraklı ağaç alanları, tarım arazileri.

Kızılırmak Deltası kıyı çizgisinin batısında kıyı erozyonunu engellemek için kıyıya paralel yerleştirilmiş 23 adet mahmuz (dalga kıran) tespit edilmiştir. Mahmuzların zaman içerisinde dalga enerjisini kırarak kıyı alanında sediment birikimini sağladığı gözlenmiştir. Doğu kıyısının burun kesiminde 15 adet kıyıya dik, 33 adet ise kıyıya paralel olacak şekilde mahmuz yerleştirilmiştir (Şekil 12).

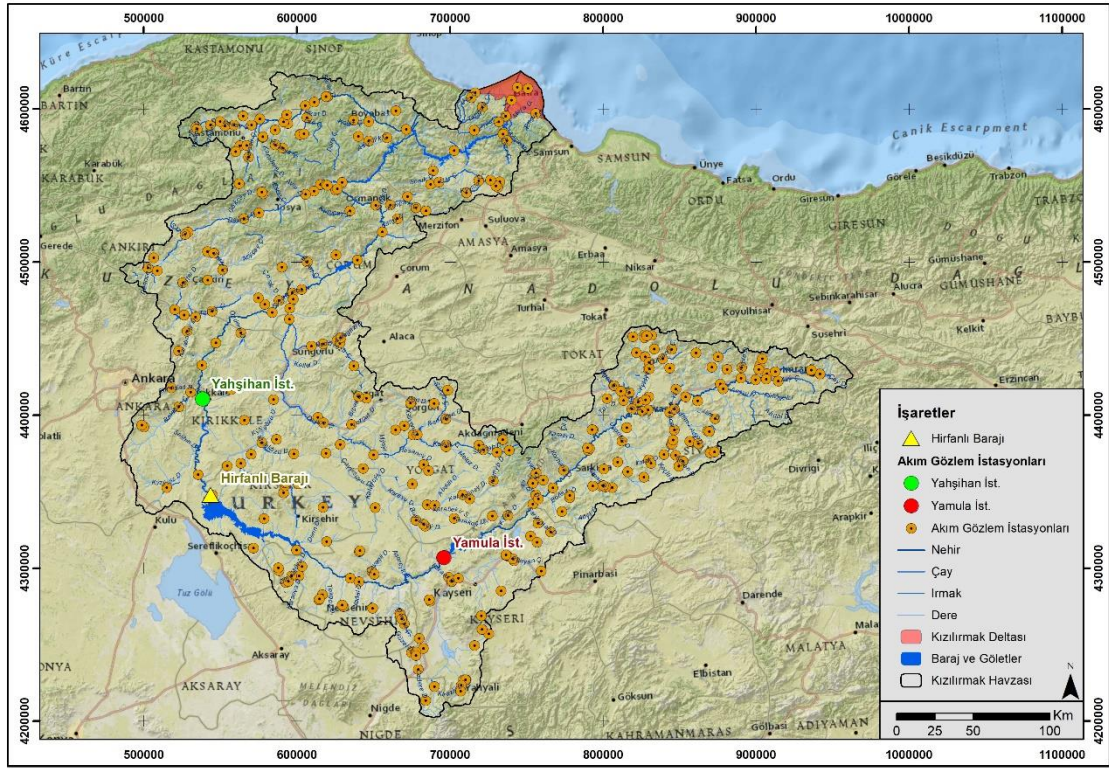


Şekil 12 Kızılırmak Deltasına yerleştirilen dikey ve yatay mahmuzlar (dalga kıranlar)

2. MATERYAL YÖNTEM

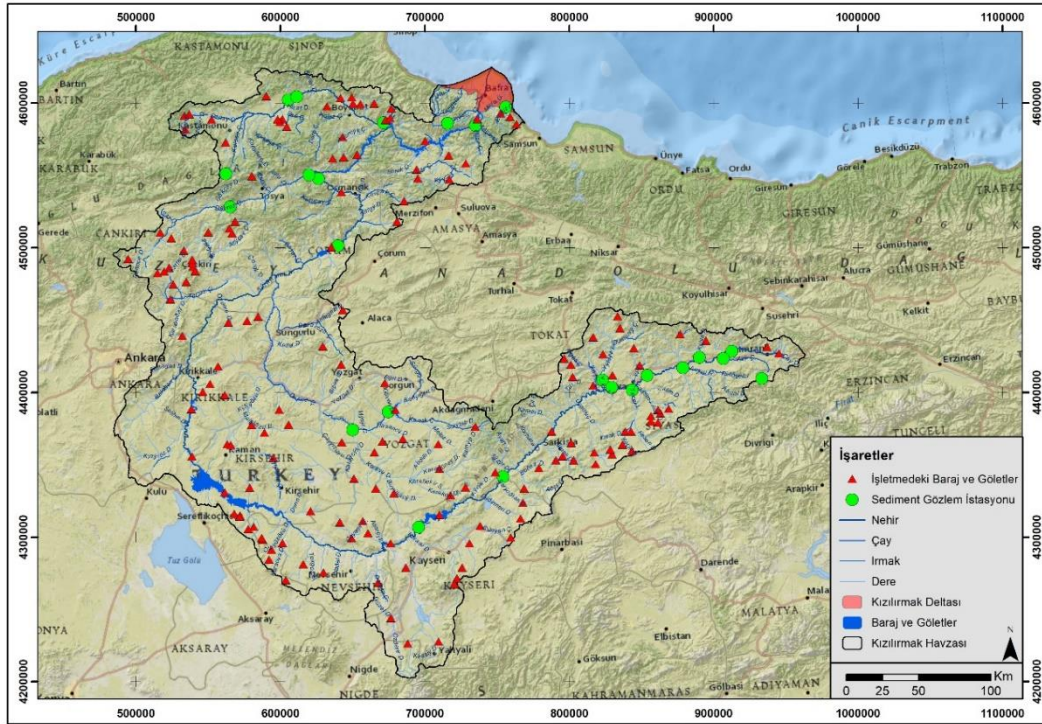
Kızılırmak Deltasında yer alan barajların etkisini ortaya koyabilmek için, 3 farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlar DSAS kıyı çizgisindeki değişimlerin durumunu tespit edebilmek için, EPM havzada üretilen erozyon hacminin ve iletilen sediment miktarının tespitinin deltadaki kıyı çizgisi değişimi üzerindeki etkisini görebilmek ve Kıyı Etkilenebilirliği İndeksi (Coastal Vulnerability Index'dir - CVI) ile deltadaki kıyı çizgisi değişiminin denizel etkisini ortaya koyabilmek için kullanılmıştır. DSİ'den temin edilen akım gözlem verisi, barajlar için hesaplanan sediment hacim miktarları barajların etkisini ölçebilmek için kullanılan verilerdir.

Kızılırmak Havzası içerisinde 360 adet akım gözlem istasyonu bulunmaktadır (DSİ, 2021c; E.İ.E İdaresi, 2003). Havza içerisindeki en büyük barajlardan biri olan Hirfanlı Barajının etkisini görebilmek için bu akım istasyonlarından Yahşıhan ve Yamula istasyonları tercih edilmiştir (Şekil 13). Yahşıhan istasyonu Hirfanlı Barajından (1960) sonra, Yamula istasyonu ise barajdan önce yer almakta olup, bu iki istasyonda Hirfanlı Barajının kurulumundan önce (1939-1960) ve sonrasına (1960-2015) ait verilerin olması, bu istasyonların Hirfanlı Barajının, akım değerleri üzerindeki baraj etkisini ortaya koyabilmek için uygun olmasını sağlamıştır (DSİ, 2021c; E.İ.E İdaresi, 2003).



Şekil 13 Kızılırmak Havzası içerisinde yer alan akım gözlem istasyonları

Havza içerisinde bulunan 25 adet sediment istasyonundan düzenli olarak numune alınamaması ve istasyonların kapatılmasından dolayı, verilerin kullanılabilir olmadığı görülmüştür (DSİ, 2021a) (Şekil 14).



Şekil 14 Kızılırmak Havzasında yer alan sediment gözlem istasyonları, barajlar ve göletler

Kızılırmak Havzasının erozyon riskini tespit edebilmek için dünyanın kara yüzey alanları için yüksek çözünürlüklü klimatolojik (climatologies at high resolution for the earth's land surface areas – CHELSA) veri tabanından 30 arc-saniye çözünürlüğünde, 1979-2013 yılları arasındaki dönemi kapsayan, yıllık ortalama sıcaklık (bio1) ve yıllık toplam yağış miktarı (bio12) verileri kullanılmıştır (Karger vd., 2019) .

Arazi kullanım verisi olarak, 2018 yılına ait Çevre Bilgilerinin Koordinasyonu (coordination of information on the environment – CORINE) veri tabanında, havzaya ait yapay alanlar, bataklıklar, su alanları, tarım alanları, orman ve yarı doğal alanlar gibi başlıklar altında 36 ayrı sınıf kullanılmıştır (CORINE, 2018).

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve eğim verisi için Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM) 1/25000 ölçekli haritalardan elde edilen izohipslerden 30x30 m çözünürlükte raster veri üretilerek SYM ve eğim verisi elde edilmiştir. MTA'dan 1/500.000 jeoloji haritasının sayısallaştırılması ile havza içerisinde 112 ayrı jeolojik birim tespit edilerek analiz edilmiştir (MTA, 2002).

Delta kıyısındaki kıyı çizgisinin değişimini tespit edebilmek için HGM'den 1954, 1962 ve 1966 yıllarına ait 60x60 cm çözünürlükte ortofotolardan ve 1975-2020 arasında her yıl için 30x30m çözünürlükte Landsat MMS-5, TM-5, ETM-7, OLI-8 uydu görüntülerinden kıyı çizgileri sayısal veri olarak çıkartılmıştır (USGS, 1900) (Tablo 4).

Delta kıyısı, CVI analizi için dalga yüksekliği, ortalama gel-git aralığı ve deniz seviyesi değişimleri literatür verileri, kıyı eğimi için HGM'den 5x5 m çözünürlükte SYM verileri ve literatürden elde edilen jeomorfoloji haritasının güncelleştirilmiş hali kullanılmıştır.

Veri Kaynağı	Tarih (gg/aa/yyyy)	Kullanılan Bant	Görüntü Çerçevesi	Açıklama
HGM	1954	30x30 Çözünürlük	COG/40	Ortofoto
HGM	1962	30x30 Çözünürlük	COG/40	Ortofoto
HGM	1966	30x30 Çözünürlük	COG/40	Ortofoto
Landsat MMS-5	22.06.1975	Bant 7	Path/189, Row/31	Yakın Kızılötesi
Landsat MMS-5	22.07.1976	Bant 7	Path/189, Row/31	Yakın Kızılötesi
Landsat MMS-5	20.06.1977	Bant 4	Path/189, Row/31	Yakın Kızılötesi
Landsat MMS-5	03.07.1978	Bant 4	Path/189, Row/31	Yakın Kızılötesi
Landsat MMS-5	10.06.1979	Bant 4	Path/189, Row/31	Yakın Kızılötesi
Landsat MMS-5	28.07.1980	Bant 4	Path/189, Row/31	Yakın Kızılötesi
Landsat MMS-5	17.06.1981	Bant 4	Path/189, Row/31	Yakın Kızılötesi
Landsat MMS-5	22.08.1982	Bant 4	Path/176, Row/31	Yakın Kızılötesi
Landsat MMS-5	08.07.1983	Bant 4	Path/176, Row/31	Yakın Kızılötesi
Landsat TM-5	12.08.1984	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat TM-5	31.08.1985	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat TM-5	25.08.1986	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat TM-5	28.08.1987	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat TM-5	14.08.1988	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat TM-5	01.08.1989	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat TM-5	20.08.1990	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat TM-5	07.08.1991	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat TM-5	08.07.1992	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat TM-5	25.06.1993	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat TM-5	28.06.1994	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat TM-5	15.06.1995	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat TM-5	03.07.1996	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat TM-5	07.08.1997	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat TM-5	23.06.1998	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat TM-5	13.08.1999	Bant 7	Path/176, Row/31	Kısa Dalga Kızılötesi
Landsat ETM-7	06.07.2000	Bant 8	Path/176, Row/31	Gapfill Düzeltmesi Yapıldı
Landsat ETM-7	10.08.2001	Bant 8	Path/176, Row/31	Gapfill Düzeltmesi Yapıldı
Landsat ETM-7	28.07.2002	Bant 8	Path/176, Row/31	Gapfill Düzeltmesi Yapıldı
Landsat ETM-7	31.07.2003	Bant 8	Path/176, Row/31	Gapfill Düzeltmesi Yapıldı
Landsat ETM-7	27.08.2004	Bant 8	Path/176, Row/31	Gapfill Düzeltmesi Yapıldı
Landsat ETM-7	18.06.2005	Bant 8	Path/176, Row/31	Gapfill Düzeltmesi Yapıldı
Landsat ETM-7	31.07.2006	Bant 8	Path/176, Row/31	Gapfill Düzeltmesi Yapıldı
Landsat ETM-7	10.07.2007	Bant 8	Path/176, Row/31	Gapfill Düzeltmesi Yapıldı
Landsat ETM-7	29.08.2008	Bant 8	Path/176, Row/31	Gapfill Düzeltmesi Yapıldı
Landsat ETM-7	23.07.2009	Bant 8	Path/176, Row/31	Gapfill Düzeltmesi Yapıldı
Landsat ETM-7	19.08.2010	Bant 8	Path/176, Row/31	Gapfill Düzeltmesi Yapıldı
Landsat ETM-7	21.07.2011	Bant 8	Path/176, Row/31	Gapfill Düzeltmesi Yapıldı
Landsat ETM-7	17.08.2012	Bant 8	Path/176, Row/31	Gapfill Düzeltmesi Yapıldı
Landsat OLI-8	11.07.2013	Bant 8	Path/176, Row/31	Pankromatik Görüntü
Landsat OLI-8	31.08.2014	Bant 8	Path/176, Row/31	Pankromatik Görüntü
Landsat OLI-8	24.07.2015	Bant 8	Path/176, Row/31	Pankromatik Görüntü
Landsat OLI-8	26.07.2016	Bant 8	Path/176, Row/31	Pankromatik Görüntü
Landsat OLI-8	13.07.2017	Bant 8	Path/176, Row/31	Pankromatik Görüntü
Landsat OLI-8	17.08.2018	Bant 8	Path/176, Row/31	Pankromatik Görüntü
Landsat OLI-8	03.07.2019	Bant 8	Path/176, Row/31	Pankromatik Görüntü
Landsat OLI-8	06.08.2020	Bant 8	Path/176, Row/31	Pankromatik Görüntü

Tablo 4 Kızılırmak Deltasının kıyı çizgisinin elde edildiği veriler

2.1.1. Dijital Kıyı Analiz Sistemi (Digital Shoreline Analysis System - DSAS)

Kıyı çizgisi değişim analizlerinin ve ölçümlerinin doğru yapılabilmesi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında DSAS ve Alan Değişim Metodu (Change Polygon Method - CPM) en çok kullanılan yöntemler arasındadır (Albuquerque vd., 2013). CPM, çokgenlerin detaylı analizine ve çokgen geometrisine dayanmaktadır. Belirli bir bölgedeki aşınmış ve durgun alanları belirlemek için iki kıyı çizgisini temel alır (Albuquerque vd., 2013). DSAS ise günümüzdeki veya geçmişteki kıyı çizgisinin geometrisini inceleyen ve ArcGIS 10.6.1 programına entegre olan bir modüldür. DSAS, kıyı çizgisinin zamansal değişimini ortaya koyarak, doğasını ve değişim eğilimlerinin değerlendirilmesi olanak sağlar (Oyedotun, 2014). Kıyının zamansal süreçler içerisindeki değişimi, temel bir referans çizgisine göre belirlenmektedir. Bu referans çizgisi temel alınarak farklı dönemlere ait kıyı çizgilerine dikine kesitler oluşturur ve bu kesitlerin aralarındaki mesafeler ortaya koyarak çeşitli istatistiksel sonuçlar elde eder (Thieler vd., 2008). Bu çalışmada, DSAS yönteminin tercih edilmesinde, modülün yaygın olarak kullanılması, ArcGIS 10.6.1 programıyla uyumlu çalışması ve daha geniş literatüre sahip olması etkili olmuştur.

DSAS modülünü kullanmak için gerekli olan Kızılırmak Deltasının kıyı çizgisi verilerinin belirlenmesinde, HGM'den elde edilen ortofotolar ile Landsat MMS-5, Landsat TM-5, Landsat ETM-7, Landsat OLI-8 uydu görüntülerinden oluşan veri seti kullanılmıştır (Tablo 4). 1954-1962-1966 yıllarına ait kıyı çizgileri, HGM'den sağlanan 60x60 cm çözünürlükteki ortofotoların sayısallaştırılması ile, 1975-1983 arasındaki her yıla ait kıyı çizgileri, Landsat MMS-5 uydu sensöründen elde edilen 30x30 m çözünürlüğe sahip yakın kızılötesi (Near Infrared, NIR) bant, 1985-1999 arasındaki her yıla ait kıyı çizgileri Landsat TM-5 uydu sensöründen elde edilen 30x30 m çözünürlüğe sahip kısa dalga kızılötesi (Shortwave Infrared-2, SWIR-2) bant, 2000-2012 arasındaki her yıla ait kıyı çizgileri, Landsat ETM-7 uydu sensöründen elde edilen 15x15 m

Çözünürlüğe sahip Panchromatic (PAN) bant sayısallaştırılarak oluşturulmuştur. Landsat ETM-7 uydu sensöründe 2003 yılında çıkan bir arıza nedeniyle tarama doğrultulu düzeltici (Scan Line Corrector - SLC) hatası oluşmuştur. Bu hata uydu görüntüsünde piksellerin %22'sinin yok olmasına ve veri boşluklarının oluşmasına neden olmaktadır (Chen vd., 2011; Yin vd., 2017). Veri boşluklarının düzeltilmesi amacıyla pikseller için yerel doğrusal eşleştirme kullanılmış ve piksellerin ortalama mutlak farkları alınarak hata tahminleri ile görüntü tekrar oluşturulmuştur (Scaramuzza vd., 2004). Kızılırmak Deltası için kullanılan uydu görüntüleri, ENVI 5.3 programının bir eklentisi olan fill-gap modülü ile bu hata düzeltilmiştir. 2013-2020 arasındaki her yıla ait kıyı çizgileri ise Landsat OLI-8 uydu sensöründen elde edilen 15x15m çözünürlüğe sahip Panchromatic (PAN) uydu görüntüleri kullanılarak elde edilmiştir.

Kızılırmak Deltasının kıyı çizgisi uzunluğu 84,25 km'dir. 1954 yılından 2020 yılına kadar oluşturulan kıyı çizgileri, 1954 yılı ile karşılaştırılarak aralarındaki mesafeler belirlenmiştir. DSAS, zaman serisi olarak vektör veri formatında çıkartılan kıyı çizgisinin değişim mesafelerinin istatistiklerini hesaplayan bir modüldür (Himmelstoss vd., 2018). DSAS modülü ile 1954 yılına göre belirlenen yıllar arasındaki mesafeler, nokta ve çizgi olarak vektör veri formatında oluşturulmuştur. Daha sonra analizi yapılan yılların çizgi vektör verileri birleştirilerek Kızılırmak Delta kıyı çizgisinin değişiminin gerçekleştiği bir alan elde edilmiştir. Bu alan içerisinde, 1954 yılına göre mesafeler, nokta vektör verileri ile ters mesafe ağırlıklı (inverse distance weighted - IDW) yöntemi kullanılarak alansal dağılış modeli yapılmıştır. IDW yöntemi, nokta verilerinin birbirine olan mesafelerinden yola çıkarak oluşturulmuş bir kestirim yöntemidir. Bu yöntemle göre birbirine yakın olan nokta verilerinin benzer özelliklere sahip olacağı varsayımı temel alınmaktadır (Setianto ve Triandini, 2015). IDW yönteminde sonuç genliği, girilen verilerin en yüksek ve en düşük değerleri ile sınırlıdır (Watson, 1985). Dağılış haritasının tahmin yüzeyini en iyi şekilde temsil edebilmesi için verilerin konumsal dağılışı ve

yoğunluğu oldukça önemlidir. IDW, komşu verilerinin konumu ve yoğunluğu yeterli sayıda olduğunda en iyi sonucu veren enterpolasyon yöntemlerinden biridir (Gunarathna vd., 2016; Watson, 1985).

2.1.2. Kızılırmak Havzasının Erozyon Potansiyel Modeli (EPM)

Çalışmada, havzadaki erozyon miktarını belirlemek amacıyla EPM yöntemi kullanılmıştır. Kızılırmak Havzasının büyük bir kesiminin kurak ve yarı kurak olması, alanının 82,118 km² ile Türkiye'nin en büyük 2. havzası olması, EPM yönteminde kullanılan yağış, sıcaklık, arazi örtüsü, jeoloji gibi verilerin kolay temin edilmesi ve coğrafi bilgi sistemleri teknikleri ile uyumlu olması, EPM yöntemi tercih edilmesinde etkili olmuştur. EPM modeli 6 ana formülden oluşmaktadır. Bu formüller ile doğal süreçleri bir katsayıya indirgeyerek, toplam erozyon hacmi ve gerçek sediment iletim miktarı elde edilmiştir. Formüllerdeki parametreler, "T" sıcaklık katsayısı (°C), H yıllık toplam yağış ortalamasını (mm) ve "Z" erozyon katsayısını, F havza çalışma alanını (km²), "Y" toprak aşınabilirlik katsayısını, "X_a" toprak koruma katsayısını, "J_a" Eğim Katsayısı (%), "Θ" erozyon tipi ve alan katsayısını, "l_p" ana akarsu uzunluğunu (km), "l_a" ana akarsuyun yan kolları uzunluğunu (km), "z" havzanın yükselti farkını (km), "o" havzanın çevre uzunluğunu (km), "D_d" drenaj yoğunluğunu göstermektedir (Gavrilovic, 1972). Parametrelere ait veriler, internet siteleri, literatür ve devlet kurumlarından temin edilerek kullanılmış, raster veri formatında 100x100 m çözünürlükte analizlere dahil edilmiştir.

T ve H katsayıları, sıcaklık ve yağış verileri ile elde edilmiş veriler, CHELSA web sitesinden indirilmiştir (Karger vd., 2019). CHELSA ERA-interm iklim verileri, sıcaklık algoritmasını atmosferik sıcaklıkların istatistiksel ölçek küçültme yöntemiyle, yağış verisini ise rüzgar alanları, vadi alanları ve yüksek katman sınırları gibi orografik tahmin edicilerin istatistiksel olarak bir algoritmaya dönüştürülmesiyle oluşturulmuştur. CHELSA ile elde edilen veriler diğer standart grid üretimleri ve küresel tarihi iklim verileri ile

karşılaştırmış, diğer sıcaklık modelleri ile aynı doğruluk değerine sahip olduğu, yağış modelinin ise diğer model üretimlerinden daha iyi doğruluk değerlerine sahip olduğu görülmüştür (Karger vd., 2017).

Y faktörü için literatür araştırması ile toprak aşınabilirlik katsayıları (Y) tespit edilmiş, Kızılırmak Havzasına ait 1/500.000 ölçekli Sinop, Samsun, Kayseri ve Sivas jeoloji haritaları (MTA, 2002) kullanılarak havzanın Y faktörü ortaya konmuştur (Dalaris vd., 2013; Dominici vd., 2020; Durlević vd., 2021; Durlevic vd., 2019; Gavrilovic, 1972; Milanesi vd., 2015) (Tablo 5).



Jeolojik Birim	(Y) Katsayısı	Jeolojik Birim	(Y) Katsayısı	Jeolojik Birim	(Y) Katsayısı
Aglomera	1,6	Bazalt	0,3	Metagabro-Amfibolit	0,6
Aglomera-Andezit-Tüf	0,9	Bazalt-Andezit	0,3	Metakırıntılı Kaya	0,6
Aglomera-Tüf	1,2	Bazalt-Andezit-Piroklastik Kaya	0,5	Metakumtaşı-Metaçakıltası-Metapelit	0,6
Aglomera-Tüf-Andezit	0,9	Bazalt-Andezit-Tüf	0,7	Metamelani	0,6
Alüvyon	2,0	Bazalt-Piroklastik Kaya	0,6	Metamelanj	0,6
Alüvyon Yelpaze Çökeli	2,0	Breş	1,7	Metaolistostrom	0,6
Amfibolitler	0,5	Çakıltası	1,3	Metaultrabazik Kaya	0,5
Andezit	0,3	Çakıltası-Kumtaşı-Çamurtaşı	1,3	Metavolkanit	0,4
Andezit-Aglomera	0,7	Çakıltası-Kumtaşı-Çamurtaşı-(Şeyl)	1,3	Monzonit	0,4
Andezit-Bazalt	0,3	Çamurtaşı	1,3	Ofiyolitik Kaya	0,6
Andezit-Bazalt-Aglomera	0,7	Çört	1,2	Olistostrom	1,3
Andezit-Bazalt-Dasit	0,4	Çört-Bazalt-Şeyl	1,0	Peridotit	0,6
Andezit-Bazalt-Piroklastik Kaya	0,5	Çörtlü Kireçtaşı	1,3	Peridotit-Harzburjlit	0,6
Andezit-Bazalt-Tüf	0,7	Dasit	0,4	Peridotit-Piroksenit-Harzburjlit	0,6
Andezit-Dasit	0,5	Dasitüriyolit	0,4	Peridotit-Piroksenit-Serpantinit	0,6
Andezit-Dasit-Tüf	0,6	Diyorit-Siyenit-Monzonit	0,5	Peridotit-Serpantinit	0,6
Andezit-Latit	0,4	Dolomit	1,0	Piroklastik Kaya	0,8
Andezit-Piroklastik Kaya	0,7	Eski Alüvyon	1,9	Piroklastik Kaya-Andezit	0,5
Andezit-Trakit-Tüf	0,6	Evaporit	1,2	Piroklastik Kaya-Andezit-Bazalt	0,5
Andezit-Tüf-Aglomera	0,9	Gabro	0,5	Piroklastik Kaya-Bazalt-Andezit	0,5
Kumtaşı	1,4	Gabro-Levha Dayk	0,5	Piroklastik Kaya-Trakiandezit	0,5
Tüf	0,8	Gabro-Levha Dayk-Peridotit	0,5	Piroslastik Kaya	0,8
Volkanotortul	2,0	Gnays	0,6	Volcano Tortul-Çökel	1,3
Riyolit-Andezit-Piroklastik Kaya	0,5	Gnays Şist	0,5	Yamaç Molozu-Birikinti Konisi	1,6
Riyolit-Dasit-Tüf	0,5	Granit	0,4	İgnimbirit	0,8
Serpantinit	0,9	Granit-Granodiyorit	0,4	Melanj	1,4
Şeyl	1,6	Granit-Granodiyorit-Monzonit	0,4	Mermer	1,1
Silt-Kil	1,8	Granitoyit	0,4	Metabazik Kaya	0,5
Şist	0,6	Granodiyorit	0,4	Tüf-Aglomera	1,2
Siyenit	0,7	Jips	1,7	Tüf-Bazalt-Andezit	1,2
Siyenit-Granit	0,7	Kalış-Taraça	1,6	Ultrabazik Kaya	0,4
Skarn-Hornfels	0,4	Killi Kireçtaşı	1,2	Volkanik Cam	0,2
Spilit	0,4	Kıltaşı	1,3	Kumtaşı-Çamurtaşı	1,5
Spilit-Tüf	0,5	Kireçtaşı	1,1	Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı	1,3
Trakit	0,7	Kum	1,3	Kuarsit-Kuars Şist	1,0
Traverten	1,0	Kum Bari	1,3	Levha Dayk	0,3

Tablo 5 Y faktörü için belirlenen jeolojik birim katsayıları

X_a faktörü, yani toprak koruma katsayısı, toprağın erozyona karşı verdiği direncini ölçmek için kullanılmaktadır. Orman alanları 0,1 katasıyla belirtilirken erozyona müsait alanlar 1,0 katsayısı ile belirtilmiştir (Zahnoun vd., 2019). Toprak koruma katsayısı için Sentinel-2 uydu görüntüsünden üretilmiş olan CORINE-2018 arazi kullanım vektör verileri (EEA, 2017), kullanılarak X_a faktör katsayıları tespit edilmiştir. Bu yöntemle göre, yapay yüzey alanları; şehir alanları, havalimanları, limanlar, kara ve demiryolları veya endüstriyel alanlar, toprak erozyonu ile ilişkili olmadığından 0 katsayı değeriyle ifade edilmektedir. Maden çıkarım alanları, açık maden faaliyetlerinin olduğu alanlar, CORINE sınıflamasına göre yapay yüzey alanı olmasına rağmen X_a katsayısının yüksek olduğu yerlerdir. İğne ve geniş yapraklı ve karışık orman alanları toprağı erozyondan koruyan en iyi bölgeler olduğundan, X_a toprak koruma katsayısına göre en düşük katsayı değerine sahiptir. Katsayının 0'a yakın olması erozyon etkisinin arazi kullanımına göre en düşük olduğunu, katsayının 1'ye yakın olması ise erozyon etkisinin çok yüksek olduğunu göstermektedir (Tošić vd., 2012; Dalaris vd., 2013; Milanesi vd., 2015; Dragičević vd., 2016; Durlevic vd., 2019; Zahnoun vd., 2019; Dominici vd., 2020; Durlević vd., 2021) (Tablo 6).

CORINE Kod	Seviye 3	Xa Katsayısı	CORINE Kod	Seviye 3	Xa Katsayısı
111	Sürekli Kentsel Doku	0,00	242	Karışık Tarım Alanları	0,40
112	Süreksiz Kentsel Alanlar	0,15	243	Bitki Örtüsüyle Karışık Tarım Alanları	0,40
121	Endüstriyel ve Ticari Birimler	0,00	311	Geniş Yapraklı Orman	0,05
122	Kara ve Demiryolları	0,00	312	İğne Yapraklı Orman	0,20
123	Limanlar	0,00	313	Karışık Orman	0,05
124	Havalimanı	0,00	321	Doğal Çayırlar	0,60
131	Maden Çıkarma Alanları	0,80	323	Sklerofilöz Bitki Örtüsü	0,30
132	Döküm Alanları	0,00	324	Ormandan Çalı Formasyonuna Geçiş Alanları	0,50
133	İnşaat Alanları	0,00	331	Plajlar, Kum Tepeleri, Kum	1,00
141	Yeşil Kentsel Alanlar	0,00	332	Çıplak Kayalıklar	0,95
142	Spor ve Eğlence Tesisleri	0,00	333	Seyrek Bitki Örtüsü Alanları	0,80
211	Sulanmayan Ekilebilir Arazi	0,90	334	Yanmış Alanlar	0,90
212	Sürekli Sulanan Arazi	0,90	411	İç Bataklıklar	0,00
213	Pirinç Tarlası	0,90	421	Tuz Bataklıkları	0,00
221	Üzüm Bağları	0,70	422	Tuzlu Sular	0,00
222	Meyve Ağaçları	0,70	511	Su Yolu	0,00
231	Mera Alanları	0,60	512	Su Kütleleri	0,00

Tablo 6 X_a faktörü için CORINE sınıflarına göre belirlenmiş katsayılar

Erozyon tipi ve alan Katsayısını (Θ) belirleyen ana unsur, havzanın büyüklüğü ve erozyondan etkilenebilecek alanların tespittir. Bu tespitin yapılabilmesi için çalışma alanının büyüklüğüne göre birden fazla arazi çalışması gerekebilmektedir. Fakat günümüzde uydu görüntülerinden elde edilen verilerle ile arazi çalışmasına ihtiyaç duymadan bu alanlar tespit edilebilmektedir. EPM kriterleri (Tablo 7) ile uydu görüntüsünden elde edilen analizler arasında büyük bir tutarlılık vardır (Laaraj vd., 2021). Havza alanı içerisinde Θ faktörünün tespit edilmesi için uydu görüntüleri ve eğim ilişkilendirilerek kullanılmaktadır (Durlević vd., 2021; Gavrilovic, 1972; Sakuno vd., 2020).

Erozyon derecesi	Katsayısı
Havza alanındaki küçük erozyon alanları	0,1-0,2
Su toplama alanının %20 ila %50'sinde su yollarında erozyon	0,3-0,5
Nehirlerde, oluklarda ve alüvyon çökellerinde erozyon, karstik erozyon	0,6-0,7
Yüzey erozyonu ve heyelanlardan etkilenen su toplama alanının %50 ila %80'i	0,8-0,9
Erozyondan etkilenen tüm havza	1

Tablo 7 Gavriloviç'in 1972'de yaptığı çalışmaya göre oluşturulan erozyon tipi ve alanı

EPM'in uyguladığı Θ faktörü içerisinde eğim sınıfları (düşük, orta, yüksek), doğrusal eğim ve heyelan alanları sınıfları vardır. Arazi çalışmaları sonucu elde edilen bu sınıflar, erozyon tip ve alan katsayılarının belirlenmesini sağlamaktadır (Dominici vd., 2020). Fakat son dönemlerde yapılan çalışmalarda Θ faktörünü tespit etmek için kullanılan CBS ve uzaktan algılama yöntemleri, Θ faktörünün tespitini kolaylaştırmıştır. Θ faktörü ile erozyon potansiyeli yüksek olan çıplak alanlar arasında uyum olduğu görülmekte ve uzaktan algılama yöntemlerinden *Çıplak Toprak İndeksi* (Bare Soil Index – BSI) ile tespit edilebilmektedir (Durlević vd., 2021; Sakuno vd., 2020). Çıplak toprak alanları ve eğim sınıflarının (Tablo 8) birleştirilmesiyle havza için erozyon tip ve alan katsayıları oluşturulmuştur (Tablo 9).

Eğim (%)	Eğim
0-2	Düz ve Düze yakın
2-6	Hafif Eğimli
6-12	Orta Eğimli
12-20	Dik Eğimli
20-30	Çok Dik Eğimli

Tablo 8 Kullanılan eğim sınıfları ve yüzdeleri

Havza alanı için belirlenen eğim sınıf dereceleri, Devlet Planlama Teşkilatının yapmış olduğu eğim sınıflarına uyarlanarak hesaplanmıştır (DPT, 2007; Topçu, 2012) (Tablo 8).

Arazi Tipi	%0-2	%2-6	%6-12	%12-20	%20 +
Çıplak Arazi	0,2	0,4	0,6	1	1
Çıplak Olmayan Arazi	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5

Tablo 9 Erozyon tipinin ve alanının belirlenmesi için kullanılan katsayılar

Havzadaki çıplak toprak alanlarının belirlenmesi için 2021 yılı, mayıs ve haziran aylarını kapsayan 12 adet Landsat 8 OLI uydu görüntüsü kullanılmıştır. Kızılırmak Havzasında, çıplak toprak alanlarının belirlenmesindeki sorun, İç Anadolu (Temmuz) ve Doğu Anadolu (Ağustos) bölgesi hasat zamanında, çıplak toprağın yansımaya değerleri ile hasat ürünlerinin yansımaya değerlerinin birbirine çok yakın olmasıdır. Bu durum çıplak toprak ile hasat ürünlerinin ayırt edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için uydu görüntü tarihleri bölgedeki yağışlara veya yağışların sonrasına denk gelen bitki canlılığının daha fazla olduğu mayıs ve haziran ayları tercih edilmiştir. Çıplak toprak alanlarının tespiti için uygulanan Landsat 8 OLI bant kombinasyonu aşağıda verilmiştir (Rasul vd., 2018) (Şekil 20).

$$BSI = \frac{\rho_{SWIR1} - \rho_{Green}}{\rho_{SWIR1} + \rho_{Green}} - NDVI$$

J_a faktörü, eğimin sınıflandırılmasıyla analize dahil edilmektedir. Erozyonun gücünü ve taşıdığı malzemenin miktarını belirleyen en önemli faktörlerden biridir (Laaraj vd., 2021). EPM modelinde kullanılan eğim sınıfları, Türkiye’deki resmi kurumlar (Tarım ve Orman Bakanlığı) tarafından kullanılan eğim sınıflarına göre tekrar oluşturulmuştur (DPT, 2007; Fanetti ve Vezzoli, 2007; Topçu, 2012) (Tablo 10).

Eğim (%)	J_a Faktör	Düzenlenen	Eğim (%)	Eğim	J_a Faktör
0-10	0,05		0-2	Düz ve Düzeye yakın	0,05
10-20	0,15		2-6	Hafif Eğimli	0,15
20-40	0,3		6-12	Orta Eğimli	0,3
40-60	0,5		12-20	Dik Eğimli	0,5
60-80	0,7		20-30	Çok Dik Eğimli	0,7

Tablo 10 J_a faktörünün Türkiye’de kullanılan eğim sınıflarına göre tekrar sınıflandırılması

EPM yöntemi toplamda 6 formülün uygulanması ile oluşmaktadır (Gavrilovic, 1972). İlk olarak, formül 1 kullanılmaktadır.

$$Wa = T * H_{yıl} * \pi * \sqrt{Z^3} * F \quad (\text{Formül-1})$$

Formülde, W_a toplam yıllık toprak hacmini ($m^3/yıl$), T sıcaklık katsayısını, $H_{yıl}$ ortalama yıllık yağışı (mm), Z erozyon katsayısını, F çalışma alanını (km^2) ifade etmektedir

Yıllık toprak hacmine ulaşmak için ilk önce sıcaklık katsayısına ulaşılması gerekmektedir. Sıcaklık katsayısına formül 2 ile ulaşılmaktadır. Formülde T_0 değeri, yıllık ortalama sıcaklığı ($^{\circ}C$) ifade etmektedir.

$$T = \sqrt{\frac{T_0}{10} + 0.1} \quad (\text{Formül-2})$$

Z faktörüne ulaşmak için jeoloji ve CORINE verileri kullanılarak formül 3 kullanılmaktadır Burada; Z erozyon katsayısını, Y toprak erozyon katsayısını, θ toprak koruma katsayısını, J_a ise çalışma alanının ortalama eğimini (%) ifade etmektedir

$$Z = Y * X_a * (\theta + \sqrt{J_a}) \quad (\text{Formül-3})$$

Sediment iletim miktarına, havzanın çevre uzunluğu (km), havzanın yükselti farkı (km) ve drenaj yoğunluğu kullanılarak formül 4 ile ulaşılmaktadır. Formül 4'te, ε sediment iletim miktarını, O havza çevre uzunluğunu (km), Z çalışma alanın ortalama yükselti farkını (km), D_d ise drenaj yoğunluğunu (km/km^2) ifade etmektedir.

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{O * Z}}{(l_p + 10)} * D_d \quad (\text{Formül-4})$$

Drenaj yoğunluğuna ulaşabilmek için ise formül 5 uygulanmaktadır. Uygulama, ana akarsu ve yan kollarının uzunluğunun km cinsinden hesaplanmasıyla bulunmaktadır. Formülde, l_p ana akarsu uzunluğunu (km), l_a ana akarsuyun yan kollarının toplam uzunluğunu (km) ifade etmektedir.

$$D_d = \frac{l_p + l_a}{F} \quad (\text{Formül-5})$$

Yıllık toplam toprak hacmi, formül 6 ile hesap edilmiştir. Bu formülde, G_y , gerçek sediment miktarını ($m^3/yıl$), ε sediment iletim miktarını, W_a ise toplam yıllık toprak hacmini ($m^3/yıl$) ifade etmektedir.

$$G_y = \varepsilon * W_a \quad (\text{Formül-6})$$

2.2. Kıyı Etkilenebilirliği İndeksi (Coastal Vulnerability Index - CVI)

Kıyı etkilenebilirliği çalışmalarındaki temel hedef; kıyının savunmasız bölgelerinin belirlenmesi, kıyı bölgesi yönetimi için planlama ve karar verme süreçlerini dahil ederek kıyı kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına yardımcı olmaktır (Doukakis, 2005). Kıyı gelişimini tahmin etmek için farklı değişkenler kullanılmaktadır. Bu değişkenler, çalışma alanın ölçeğine, kullanılan verinin detayına ve alana özgü özel ihtiyaçlara göre belirlenmektedir (Ramieri vd., 2011; Simav vd., 2015b). Kıyı çizgisi değişiminin ortaya konulmasını sağlayan çalışmalarda tarihsel kıyı çizgisi değişimleri, statik su baskını, deniz seviyesindeki yükselme hareketi, sediment dinamiklerini etkileyen faktörler gibi bir çok parametre kullanılabilir (Doukakis, 2005). Kıyı etkilenebilirliğini tespit etmek için Dünya çapında kullanılan en yaygın yöntem, CVI'dir (Gornitz vd., 1997). Bu indeks, kıyının değişen çevresel koşullara uyum sağlamasını ve bu değişime olan duyarlılığının göreceli olarak ölçüsünü verir (Jeftic vd., 1996). İndekste, 6 değişkenin 1 ile 5 arasında puanlanarak belirli bir katsayıya indirgenmesiyle kıyı etkilenebilirliği ortaya konulur (Gornitz, 1990; Hammar-Klose ve Thieler, 2001). Kullanılan faktörler arasında jeolojik özellikler, ortalama yükseklik, ortalama gel-git aralığı, ortalama kıyı çizgisi değişimi, jeomorfolojik özellikler, ortalama dalga yüksekliği temel alınmaktadır (Gornitz ve White, 1992, 1997). Bu temel değişkenlerin yanı sıra CVI'da kullanılan değişken sayısı, incelenen bölgenin özelliklerine, elde edilen veri kalitesine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin; Avustralya'da, kum tepe yüksekliği (m), bariyer türleri, kıyı tipi, ortalama deniz seviyesi değişimi (mm/yıl), kıyı çizgisindeki değişim mesafesini (m/yıl), ortalama gel-git aralığı (m), ortalama dalga yüksekliği (m)

kullanılmaktadır (Ramieri vd., 2011). ABD jeoloji kurumu (U.S. Geological Survey - USGS) tarafından kullanılan indekste ise jeomorfolojik özellikler, kıyı eğimi (%), deniz seviyesi değişikliği (mm/yıl), kıyı çizgisi değişim mesafesini (m/yıl), ortalama gelgit mesafesi (m) ve ortalama dalga yüksekliği (m) değişkenleri bulunmaktadır (Thieler ve Hammar-Klose, 1999). USGS kurumunun uyguladığı kıyı etkilenebilirliği indeksi, değişken verilerinin global ölçüde temin edilebilmesi ve ArcGIS10.6.1 programıyla uyumlu çalışması nedeniyle bu çalışmada tercih edilmiştir.

CVI formülünde yer alan; a, jeomorfolojiyi, b, kıyı eğimini (%), c, deniz seviyesi değişikliğini (mm/yıl), d, kıyı çizgisi değişim mesafesini (m/yıl), e, ortalama gelgit mesafesini (m), f, ortalama dalga yüksekliği (m) ifade etmektedir (Gornitz ve White, 1992; Thieler ve Hammar-Klose, 1999) (Tablo 11).

$$CVI = \sqrt{(a * b * c * d * e * f) / 6}$$

Kıyı Etkilenebilirliği katsayıları					
	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Değişkenler	1	2	3	4	5
Jeomorfoloji	Yüksek Kayalık Falezler, Fiyortlar	Orta Kayalık Falezler, Girintili Çıkıntılı Kıyılar	Alçak Kayalık Falezler, Buzul Birikintisi, Alüvyal Ovalar	Çakıllı Plajlar, Haliçler, Lagünler	Tuzlu Bataklıklar, Çamur Düzlükleri, Delta Alanları, Mangrovelar, Mercan Resifleri
Kıyı Eğimi (%)	>0,2	0,2 - 0,07	0,07 – 0,04	0,04 – 0,025	<0,025
Deniz Seviyesi Değişimi (mm/yıl)	<1,8	1,8 – 2,5	2,5 – 2,95	2,95 – 3,16	<3,16
Kıyı Çizgisi Değişim Mesafesi (m/yıl)	>2,0	1,0 – 2,0	-1,0 – 1,0	-1,1 - -2,0	<-2,0
Ortalama Gel-Git Aralığı (m)	>6,0	4,1 – 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,9	<1,0
Ortalama Dalga Yüksekliği (m)	>0,55	0,55 – 0,85	0,85 – 1,05	1,05 – 1,25	<1,25

Tablo 11 Kıyı etkilenebilirlik indeks faktörleri ve katsayıları

Karadeniz kıyılarında gel-git miktarının belirlendiği bir çalışmada, delta alanına yakın olan Sinop'ta yıllık ortalama 49,04 mm gel-git miktarı ve standart sapmasının da 11,26 mm olduğu hesaplanmıştır (Avşar vd., 2016). Bu durum Tablo 11'de verilen katsayı değerlendirmesinde 5 (çok yüksek) katsayısı ile ifade edilmektedir.

Delta kıyısının yıllık ortalama dalga yüksekliğinin tespit edildiği başka çalışmada, batı ve doğu kıyısının güney bölgelerinde, yıllık ortalama 0,88 – 0,99 m, burun kısmında ise 1-1,2 m değerlerine ulaşılmıştır (Akar ve Akdoğan, 2016) (Şekil 15). Dalga yüksekliği değerlendirildiğinde delta, 4. (yüksek) derecede etkilenebilir durumdadır (Tablo 11).

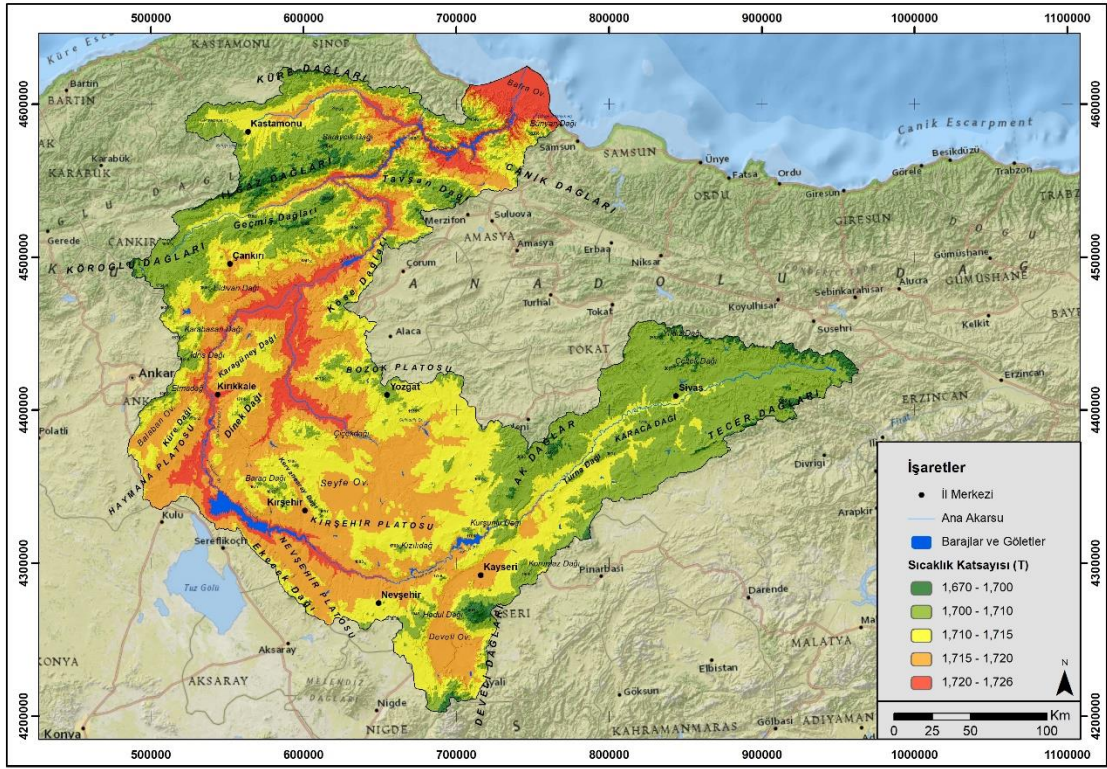
2.3. Araştırmanın Kısıtlamaları

Bu tez çalışmasında, veri sınırlılıkları ile karşılaşmıştır. Sediment gözlem istasyonlarının konumları ve veri zaman aralıkları barajların etkisini ortaya konulmasında yetersiz kalmıştır. Bu nedenle sediment gözlem verileri ile akım gözlem verileri arasındaki ilişki değerlendirilmiş ve barajlarla ilişkilendirilmiştir. Kütle hareketleri ve deniz seviyesi gibi faktörlerin incelenmesi için var olan TUSAGA ve TUDES ölçümlerinin 15-16 yıllık veri setlerinden oluşması, bu faktörlerin etkisinin ortaya konulmasında yetersiz kalmıştır. Karasal ve denizel etkilerin daha detaylı incelenebilecek alt başlıkları bulunmaktadır (jeolojik değerlendirme, toprak yapısı, arazi kullanımı, sediment yapısı gibi). Bu incelemeler için havza alanın tamamında kapsamlı arazi çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Türkiye'nin 2. en büyük havzası olan Kızılırmak havzasında bu kapsamlı arazi çalışmasının yapmak oldukça zordur. Kızılırmak havzası gibi çok geniş alanları daha hızlı analiz edebilecek coğrafi bilgi sistemleri ile uyum yöntemler tercih edilmiştir. Bu nedenle kıyı çizgisi değişimlerinin ortaya konulmasında veri kaynaklarına daha kolay ulaşılabilen, analiz ve değerlendirmelerin daha hızlı yapılabilirdiği, kıyı değişimini etkileyen faktörlerden barajların etkisi incelenmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Kızılırmak Havzası Erozyon Potansiyel Modeli (Erosion Potential Model - EPM)

T faktörü, formül 2 kullanılarak elde edilen T Sıcaklık katsayısının havza genelindeki dağılışı 1,670-1,726 arasında değişmektedir. Bu katsayısı, orman örtüsünün yoğun olduğu Ilgaz Dağları ve Erciyes Dağının olduğu sahalarda, 1,670-1,700 arasında değişmekte olup bu alanlar havzanın %2,88’ni kaplamaktadır (Tablo 12). Katsayı, Köroğlu ve Küre dağlarının doğu kesiminde, Sivas çevresinde Tecer Dağları, Akdağlar ile Tavşan dağının bulunduğu sahalarda, 1,700-1,710 arasında değişmekte ve havzanın %30,83’ünü kaplamaktadır. Havzada en geniş alanı bu katsayı aralığı oluşturmaktadır. Canik dağlarının batısı, Kervansaray ve Karagüney dağı, Kastamonu civarı ve Yozgat doğusunda sıcaklık katsayısı 1,710-1,715 arasında değişmekte ve havzanın %28,62’sini oluşturmaktadır. Havzanın orta kesimlerinde yer alan Kırşehir, Nevşehir, Haymana platoları ile Seyfe, Develi ve Balaban ovalarında sıcaklık katsayısı 1,715-1,720 arasında olup havza alanının %29,01’ini kaplamaktadır. Sıcaklık katsayısının yüksek çıktığı alanlar içinde vadiler ve delta alanı bulunmakta, buralarda katsayı 1,720-1,726 arasında değişmekte ve havzanın %8,65’ni kaplamaktadır (Şekil 16, Tablo 12). Formül 2’den yararlanılarak hesaplanan delta alanının sıcaklık katsayısı, Kızılırmak Havzasının katsayı ortalamasının oldukça üstünde çıkmış, ortalama yükseltinin fazla olduğu bölgelerde ise sıcaklık katsayısı havza ortalamasının altında belirlenmiştir.

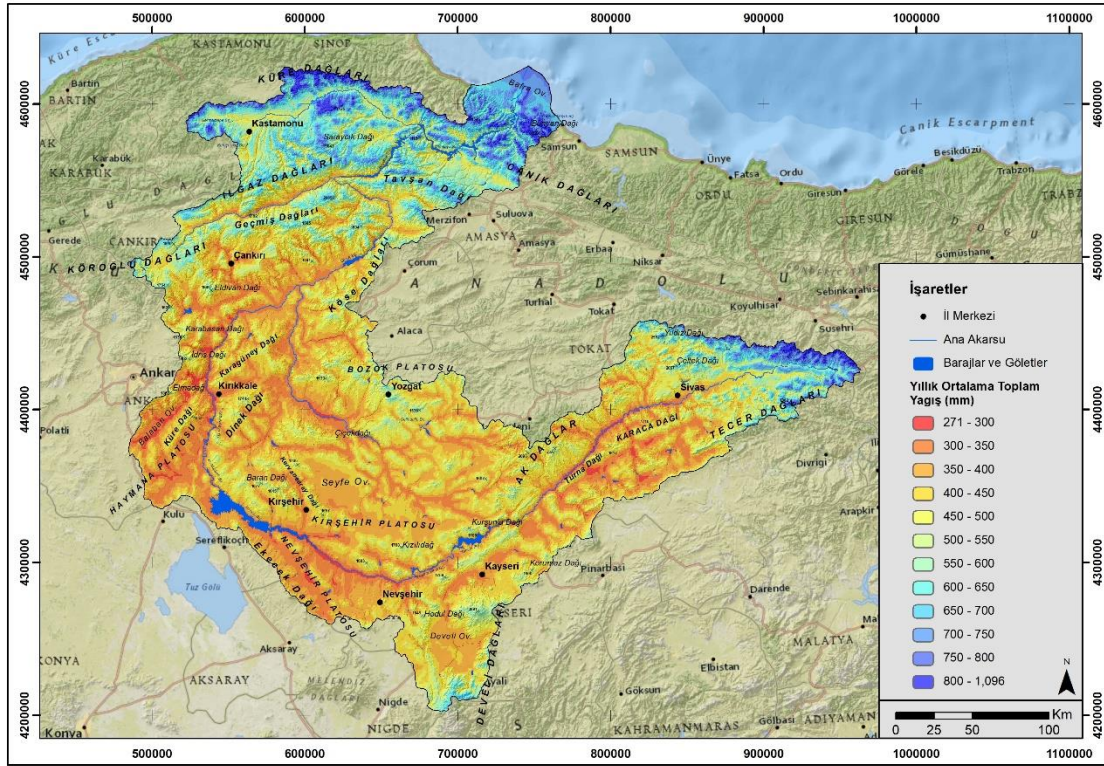


Şekil 16 Kızılırmak Havzasının sıcaklık verilerine göre belirlenmiş T katsayısı (T Faktörü)

T Faktör Katsayısı	Toplam Alan (km ²)	Toplam Alan Yüzdesi (%)
1,670 – 1,700	2.367,24	2,88
1,700 – 1,710	25.318,89	30,83
1,710 – 1,715	23.502,82	28,62
1,715 – 1,720	23.817,49	29,01
1,720 – 1,726	7.103,67	8,65

Tablo 12 T katsayısı sınıflarının Kızılırmak Havzasında kapladığı alan ve yüzdelere

H faktörü, Kızılırmak Havzasının yıllık ortalama toplam yağış (mm) miktarı (1975-2013), 271–1096 mm arasında değişmektedir (Şekil 17). Havzanın kuzeyinde yer alan, Küre ve Köroğlu Dağlarının doğu kesimi, Ilgaz Dağları, Canik Dağlarının batı kesimi, Tavşan Dağı, delta alanı ve Sivas’ın kuzey kesimleri 500-1096 mm arasında yağış almakta ve havzanın %28,66’sını oluşturmaktadır (Şekil 17, Tablo 13). Nevşehir, Haymana platoları, Balaban ovası ve vadilerin bulunduğu alanlarda yıllık ortalama toplam yağış 271-350 mm değişmekte, bu alanlar havza içerisinde %13,23 alan kaplayarak en düşük yağış alan bölgeleri oluşturmaktadır (Tablo 13). Yozgat ve civarı, Karagüney Dağı, Küre Dağı, Baran Dağı gibi birbirinden bağımsız bölgelerde ise 400-500 mm yağış görülmektedir. Bağımsız olmasına rağmen bu bölgeler havzanın %36,76’sını kaplamaktadır (Şekil 17, Tablo 13).



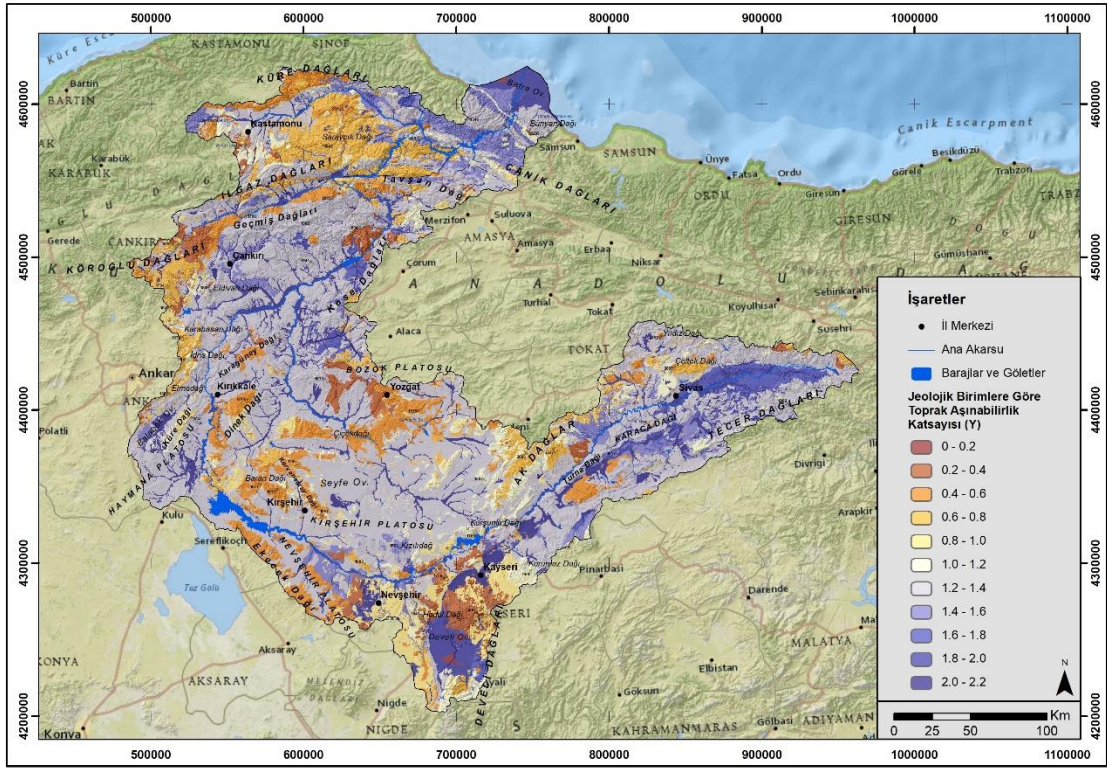
Şekil 17 Kızılırmak Havzasının yıllık ortalama toplam yağış verilerine göre belirlenmiş *H* katsayısı (*H* Faktörü)

Yıllık Ortalama Toplam Yağış (mm)	Toplam Alan (km ²)	Toplam Alan Yüzdesi (%)
271-300	979.76	1.19
300-350	9889.65	12.04
350-400	17531.54	21.35
400-450	17127.13	20.86
450-500	13052.56	15.90
500-550	7488.57	9.12
550-600	5032.69	6.13
600-650	3600.17	4.38
650-700	2870.65	3.50
700-750	2270.90	2.77
750-800	1213.36	1.48
800-1.096	1053.14	1.28

Tablo 13 H katsayı sınıflarının Kızılırmak Havzasında kapladığı alan ve yüzdelere

Z faktörü, formül 3'te kullanılan toprak aşınabilirlik katsayısı (Y), toprak koruma katsayısı (X_a), erozyon tipi ve alanı (Θ) ve çalışma alanının eğim yüzde katsayısı (J_a) ile Z faktörü elde edilmiştir (Dragičević vd., 2016).

Y faktörü, havza içerisinde Y katsayıları 0-2,2 değerleri arasında değişmektedir. Katsayının düşük olduğu bölgeler (0-0,8) kuzeyden güneye olacak şekilde; Küre dağlarının doğu kesimi, Saraycık dağı ve çevresi, Köroğlu Dağlarının doğu kesimi, Elmadağ çevresi, Dinek, Kervansaray, Baran, Ekecek ve Çiçek dağı çevresi, Bozok platosunun güney kesimi, Ak dağların batı kesimi, Erciyes dağı ve çevresi olacak şekilde sıralanmaktadır. Bu sahalar, havzanın %21,1'ini kaplamakta ve parçalı bir dağılışı göstermektedir. 0,8-1,2 katsayısına sahip alanlar, havzanın %18,5'ini kapsamakta ve Akdağların eteklerinde, Sivas civarında ve Tecer dağlarının belli bölümlerinde bulunmaktadır. 1,2-2,2 arasında yüksek katsayıya sahip bölgeler havzanın %68,03'ünü kaplamaktadır. Bu katsayılar, vadi alanları başta olmak üzere delta alanı, Balaban, Develi ve Seyfe ovaları, Haymana ve Kırşehir platoları, Canik dağlarının batı kesimi, Turna dağı, Karacadağ, Tecer dağları, Sivas çevresi, Köseadağları ile Çankırı çevresinde karşımıza çıkmaktadır (Şekil 18, Tablo 14).

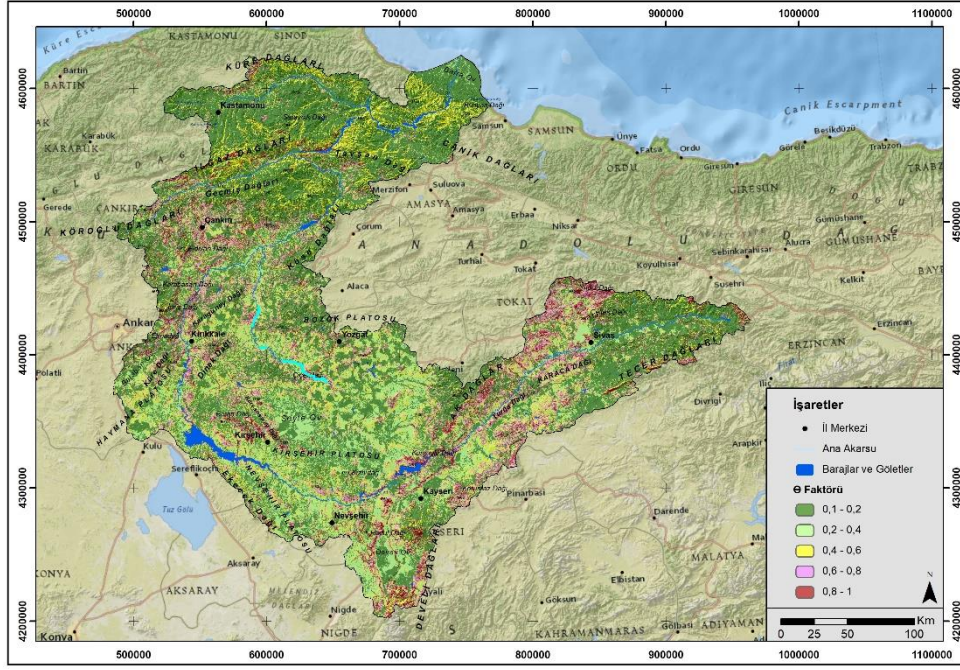


Şekil 18 Kızılırmak Havzasının jeolojik birimlere göre belirlenmiş Y katsayısı (Y Faktörü)

Jeolojik Birimlere Göre Toprak Aşınabilirlik Katsayısı	Toplam Alan (km ²)	Toplam Alan Yüzdesi (%)
0 – 0,2	944,35	1,15
0,2 – 0,4	3.474,02	4,23
0,4 – 0,6	6.636,26	8,08
0,6 – 0,8	6.273,50	7,64
0,8 – 1,0	3.148,21	3,83
1,0 – 1,2	5.769,30	7,03
1,2 – 1,4	36.675,63	44,67
1,4 – 1,6	8.172,76	9,95
1,6 – 1,8	2.623,47	3,20
1,8 – 2,0	1.982,27	2,41
2,0 – 2,2	6.405,69	7,80

Tablo 14 Y Faktörünün Kızılırmak Havzası içerisinde kapladığı alan ve yüzdesi

X_a faktörü, havzanın X_a faktörü incelendiğinde, Küre dağlarının doğu kesimi, Canik dağlarının batı kesimi, Tavşan dağı, delta alanı, Küre dağı, Seyfe ve Develi ovası, Kayseri ve çevresinin katsayısının 0-0,2 arasında olduğu ve havzanın %8,50'sini oluşturduğu, Ilgaz dağları, Geçmiş dağları ve Akdağların olduğu kesimlerin katsayısı 0,2-0,4 arasında belirlenmiş ve havzanın %5,48'ni oluşturmuştur. Erciyes dağı, Geçmiş dağlarının etekleri, Nevşehir ve çevresi ile havzanın orta kesimlerinde parçalı şekilde dağılışı gösteren, katsayısı 0,4-0,6 olan alanlar havzanın %22,74'ünü, Köroğlu dağlarının doğusu,



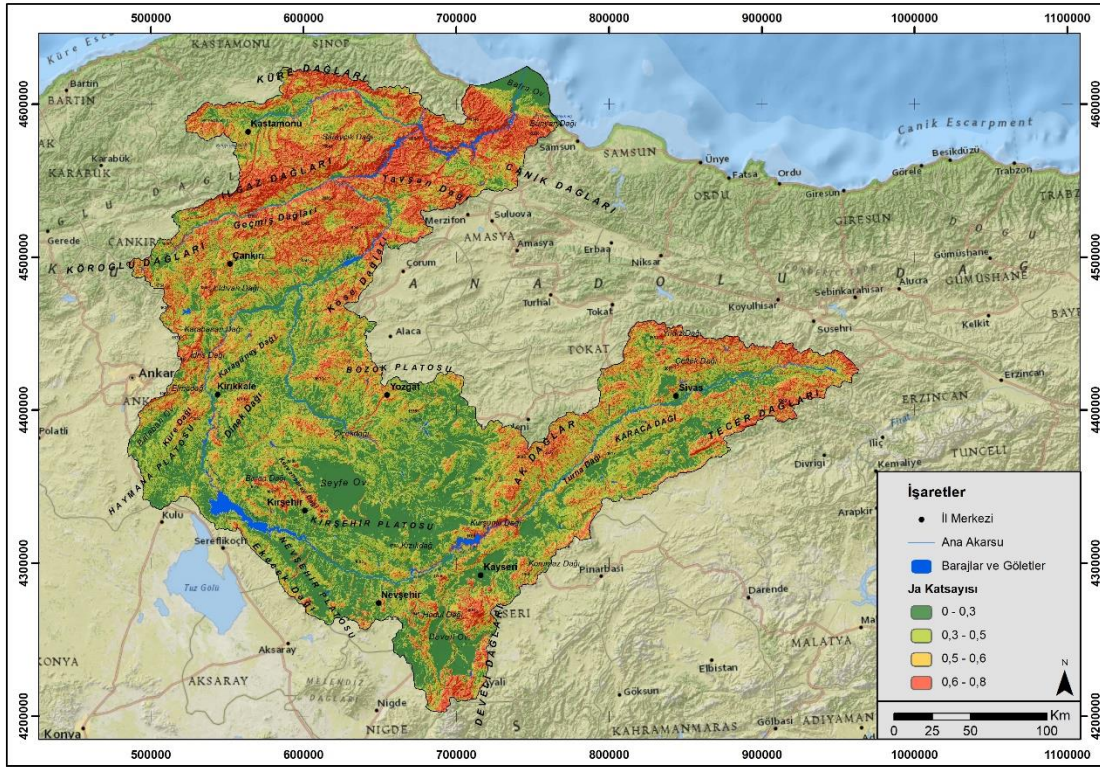
Şekil 20 Kızılırmak Havzasının tip ve alan özelliklerine göre belirlenmiş Θ katsayısı (Θ Faktörü).

Θ faktörü, havzada Θ faktörü değerleri 0,1-1,0 katsayıları arasında değişmektedir. Θ değeri, Küre dağlarının doğu kesimi, Ilgaz dağları, Tavşan dağı, Canik dağları ve Akdağların eteklerinde kalan sahada 0,1-0,2 arasında değişmekte ve havza alanının %49,12'sini oluşturmaktadır (Tablo 16). Eğimin az olduğu, havzanın orta kesimlerindeki Kırşehir platosu, Balaban ve Seyfe ovalarının bulunduğu sahalarda Θ faktörü, 0,2-0,4 arasında değişmekte ve havza alanının %15,09'unu kaplamaktadır. Havzanın kuzeyinde yer alan vadilerde ve havzanın orta kesimlerinde parçalı dağılışı gösteren 0,4-0,6 katsayıları, havza alanının %20,37'sini, Köroğlu dağlarının doğu kesiminde, Akdağlar, Yıldız Dağı ve çevresinde, Erciyes Dağı Baran Dağı, Çiçekdağı, Dinek Dağı ve Develi dağlarında, eğimin ve engebenin yüksek olduğu kesimlerde katsayı 0,6-1,0 arasında değişmekte, havzanın %15,17'sini oluşturmaktadır (Şekil 20, Tablo 16).

Θ Katsayısı	Toplam Alan (km ²)	Toplam Alan Yüzdesi (%)
0,1 – 0,2	40.331,03	49,12
0,2 – 0,4	12.389,45	15,09
0,4 – 0,6	16.721,25	20,37
0,6 – 0,8	7.673,88	9,35
0,8 – 1,0	4.773,09	5,82

Tablo 16 Θ Faktörünün Kızılırmak Havzası içerisinde kapladığı alan ve yüzdesi

Ja faktörü, havzanın orta kesimlerinde yer alan Kırşehir, Haymana ve Nevşehir platosu, Balaban, Seyfe, Develi ovası ve delta alanının bulunduğu sahalarda, J_a katsayısı 0,2-0,3 arasında olup, havza alanının %31,32'sini kaplamaktadır. Küre Dağları güneyi, Koroğlu Dağları, Turna ve Karaca Dağı ile Delice çayı ve çevrelerinde katsayı, 0,3-0,5 arasında olup, havzanın %26,52'sini, Küre Dağlarının doğu kesimi, Ilgaz Dağı, Canik Dağlarının batı kesimi, Tavşan ve Baran dağı, Geçmiş dağları, Akdağlar, Develi Dağları, Erciyes Dağı ve Tecer Dağlarının bulunduğu sahalarda ise 0,5-0,8 arasında değerler almakta ve havzanın %42,15'ini kaplamaktadır (Şekil 21, Tablo 17).



Şekil 21 Kızılırmak Havzasının eğim sınıflarına göre belirlenmiş J_a katsayısı (J_a Faktörü)

J_a Katsayısı	Toplam Alan (km ²)	Toplam Alan Yüzdesi (%)
0,2 – 0,3	25.648,81	31,32
0,3 – 0,5	21.718,41	26,52
0,5 – 0,6	17.257,75	21,07
0,6 – 0,8	17.263,75	21,08

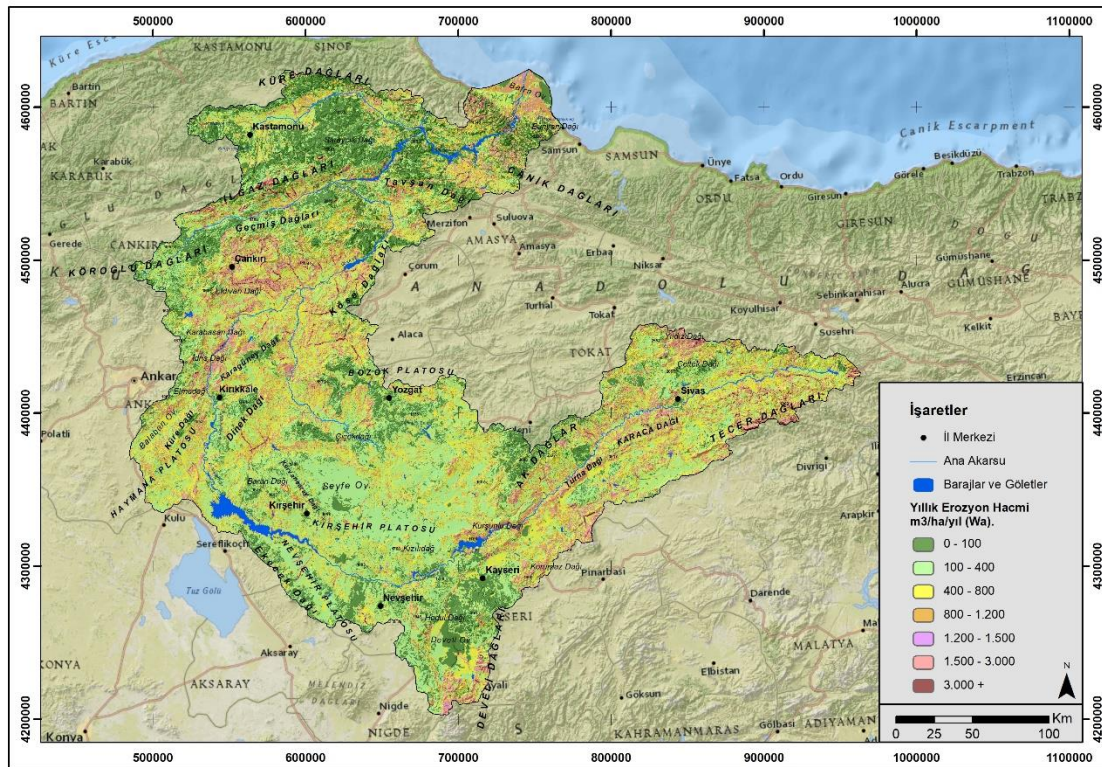
Tablo 17 J_a Faktörünün Kızılırmak Havzası içerisinde kapladığı alan ve yüzdesi

Z Katsayısı	Toplam Alan (km ²)	Toplam Alan Yüzdesi (%)
0 – 0,1	18.910,21	23,09
0,1 – 0,2	10.332,98	12,62
0,2 – 0,3	12.722,75	15,54
0,3 – 0,4	9.101,55	11,12
0,4 – 0,5	8.954,56	10,94
0,5 – 1,0	13.889,68	16,96
1,0 +	7.976,96	9,74

Tablo 18 Z Faktörünün Kızılırmak Havzası içerisinde kapladığı alan ve yüzdesi

W_a faktörü ile yıllık toprak erozyonu hacmi (m³/hektar/yıl) belirlenmiştir. 100 m çözünürlük ile her bir hücrenin 1 hektar olması sağlanmış ve ArcGIS programının hücre işleme kapasitesi aşmasının önüne geçilmiştir (Şekil 23).

W_a değerlerine göre Küre Dağlarının doğu kesimi, Saraycık Dağı ve çevresi, Tavşan Dağı, Köroğlu Dağları, Bozok Platosu, Akdağlar, Develi Ovası ve çevresinde 0-100 m³/ha/yıl arasında olup, havzanın %20,83'ünü kaplamaktadır. Kırşehir Platosu, Sivas kuzeyi ve Tecer Dağlarının batı kesiminde yıllık erozyon hacmi 100-400 m³/ha/yıl arasında belirlenmiş, bu sahalar havzanın %36,79'unu oluşturmuştur. Gökırmak depresyonu batısı, Haymana Platosu, Develi Dağları ve Sivas çevresinde ile havzanın orta ve doğu kesimlerinde parçalı bir şekilde dağılışı gösteren sahalardaki yıllık erozyon hacmi, 400-1.200 m³/ha/yıl olarak belirlenmiş, havzanın %32,5'ini kaplamıştır. Deltada, Çankırı çevresinde, Köseadağları ile Bozok Platosu ve Kırıkkale arasında kalan sahada, Yıldız Dağı, Tecer Dağları, Karacadağ, Turna Dağı ve Develi Ovasının güney kesimlerinde yıllık erozyon hacmi 1.200-3.000 m³/ha/yıl arasında çıkmış, bu alanların havzanın %19,26'sını kapladığı görülmüştür (Şekil 23, Tablo 19). Havza alanının kuzey kesimlerinde bitki örtüsünün yoğun olmasına rağmen dağlık alanların fazla olması, orta kesimlerinde ise bitki örtüsünün zayıf olmasına rağmen eğimin az olması, erozyonun düşük çıkmasını sağlamıştır. Arazinin engebeli olduğu ve bitki örtüsünün zayıf olduğu Çankırı ve çevresi, delta alanı, Yıldız Dağı, Tecer Dağları ve Karacadağ çevresinde ise yıllık erozyon miktarları yüksek çıkmıştır (Şekil 23, Tablo 19).



Sediment iletim miktarını (ϵ) katsayısının belirlenmesi, Havzada sediment hareketinin belirlenmesi bakımından önemlidir. Sediment iletim miktarını (ϵ) için gerekli veriler içerisinde, havza çevre uzunluğu (2.418,7 km), çalışma alanının ortalama yükselti farkı (3,887 km), drenaj yoğunluğu (0,35) ve ana akarsuyun toplam uzunluğu (1.768,8 km) değerleri bulunmaktadır (Formül 5).

$$\text{Sediment iletim oranı } (\epsilon) = \frac{\sqrt{2.418,7 * 3,887}}{1.768,8 + 10} * 0,35 = 0,019$$

Sediment iletim miktarını (ϵ) ile Erozyon hacminin (W_a) çarpılmasıyla, gerçek sediment iletim miktarı (G_y) elde edilmektedir (Formül 6). Kızılırmak Havzasının yıllık toplam erozyon hacmi 4.276,99 hm³/yıl, yıllık ortalama erozyon hacmi 115,88 m³/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Havzanın gerçek sediment miktarı toplamda 77,882 hm³/yıl olarak gerçekleştirirken, bu değer hektar başına 12,63 m³/ha/yıl olarak hesap edilmiştir (Tablo 25)

3.2. Kızılırmak Alt Havzalarının Barajlara Göre Yeniden Belirlenmesi

Kızılırmak Havzası 82.118 km²'lik alanıyla Fırat Havzasından sonra Türkiye'nin 2. en büyük havzasıdır. Havza, DSİ tarafından 7 alt havzaya (Aşağı Kızılırmak, Delice, Orta Kızılırmak, Seyfe, Develi, Tuzla ve Yukarı Kızılırmak) bölünmüştür (Tablo 20) (DSİ, 2016). Baraj rezervuar alanları, akarsular tarafından taşınan sedimentlerin çökmesine neden olmaktadır. 1960 yılında işletmeye alınan Hirfanlı Barajının 1998 yılına kadar rezervuar alanında biriktirdiği 38 yıllık sediment miktarı yaklaşık 219 milyon tondur (Sayhan, 1999). Kızılırmak Havzası içerisinde işletmede olan 162 adet baraj ve göletten 143 tanesinin DSİ tarafından hesaplanan baraj rezervuarındaki toplam sediment hacim bilgisine ulaşılmıştır (DSİ, 2021c). Eldeki verilere göre alt havzadaki barajların işletme süresi boyunca rezervuar alanlarında biriken sediment miktarları ve bu miktarların alt havzalardaki toplam sediment hacmi içindeki yüzdeleri Tablo 20'de verilmiştir (DSİ, 2021c).

Kızılırmak Alt Havzası	Sediment Hacmi (hm ³)	Sediment Yüzdesi (%)
Aşağı Kızılırmak	5.439,05	47,12
Delice	61,00	0,53
Develi Kapalı	2,58	0,02
Orta Kızılırmak	4.564,10	39,54
Tuzla Kapalı	0,00	0,00
Yukarı Kızılırmak	1.475,78	12,79
TOPLAM	11.542,51	100,00

Tablo 20 Kızılırmak alt havzalarındaki 143 adet baraj ve göletin sediment hacimleri (hm³)

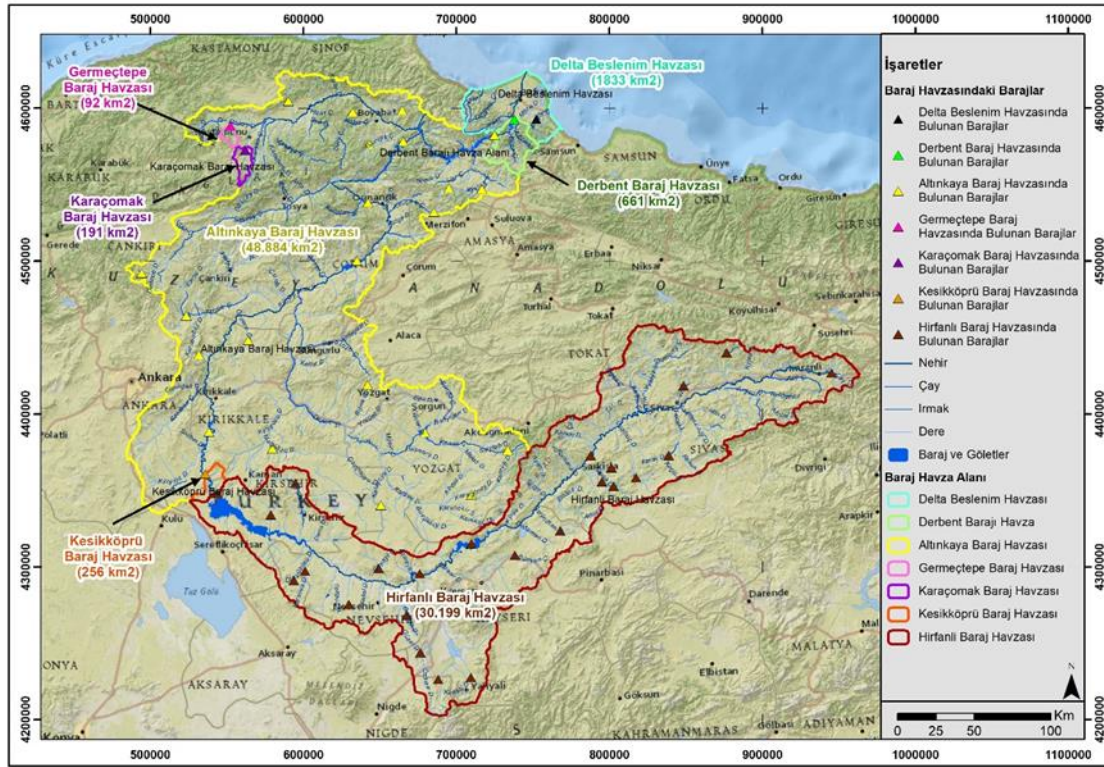
Havzadaki barajlar incelendiğinde, Orta Kızılırmak Havzası içerisinde yer alan Hirfanlı Barajı (4.200 hm³) ve Aşağı Kızılırmak Havzası içerisinde yer alan Altınkaya Barajının (2.871 hm³) en fazla sediment tutan barajlar olduğu görülmektedir. Kızılırmak Havzası içerisinde yer alan 8 adet baraj tüm havza rezervuar alanında tutulan sedimentin % 97,99'unu oluşturmaktadır (DSİ, 2021c) (Tablo 21).

Baraj / Gölet Adı	Sediment Hacmi (hm ³)	Sediment Yüzdesi (%)
Hirfanlı Barajı	4.200	36,39
Altınkaya Barajı	2.871	24,87
Boyabat Barajı	2.147	18,60
Yamula Barajı	1.400	12,13
Obruk Barajı	236	2,04
Derbent Barajı	164	1,42
Bayramhacılı Barajı	149	1,29
Kapulukaya Barajı	144	1,25
Toplam	693	97,99

Tablo 21 Kızılırmak Havzası içerisinde en fazla sediment tutan barajlar (hm³)

Baraj rezervuar alanı nedeniyle doğal sediment hareketinin engellenmesi, havza alanı içerisindeki sediment iletim düzenini bozmaktadır. Bu nedenle DSİ'nin yapmış olduğu alt havza bölümlemesini barajların işletmeye alındığı tarihlere göre tekrar düzenlenmiştir. Örneğin, 1960 yılında kurulan Hirfanlı Barajı ile akarsu kaynağı arasında, 1960 yılından sonra inşa edilen barajların (Yamula Barajı gibi) delta alanına sediment iletimi mümkün değildir. Yapılan düzenleme sonucunda, Hirfanlı Barajı (1960), Kesiköprü Barajı (1966), Karaçomak Barajı (1976), Germeçtepe Barajı (1986), Altınkaya

Barajı (1988), Derbent Barajı (1990) ve delta beslenme alanı havzası oluşturulmuştur (Şekil 24).



Şekil 24 Barajlar temel alınarak düzenlenen havza alanları

Hirfanlı Baraj Havzası ve Altinkaya Baraj Havzasında bulunan barajların rezervuar alanında tuttıkları sediment miktarlarının, delta gelişiminde etkili olduğu görülmektedir (Tablo 22). 26 adet baraj bulunan Hirfanlı Baraj Havzasında, barajların toplam su rezervuar hacmi $4.727,62 \text{ hm}^3$ iken, rezervuar alanındaki tuttıkları sediment hacmi $5.837,58 \text{ hm}^3$ 'tür. 23 adet baraj bulunan Altinkaya Baraj Havzasında, barajların toplam su rezervuar hacmi $26.712,42 \text{ hm}^3$ iken rezervuar alanındaki tuttıkları sediment hacmi $5.470,742 \text{ hm}^3$ 'tür (Tablo 22). Kesikköprü, Karaçomak, Derbent baraj havzaları ve Delta beslenme alanında bulunan barajların toplam su rezervuar hacmi $201,96 \text{ hm}^3$, tuttıkları toplam sediment hacimleri ise $190,54 \text{ hm}^3$ 'tür. Bu barajlar işletmeye alındıktan sonra, barajların havza alanları içerisinde yeni barajların kurulması, sediment hareketini çok etkilememektedir. Altinkaya Baraj Havzası içerisinde yer alan barajların aktif göl hacimleri, Hirfanlı Baraj Havzasında yer alan barajların aktif göl hacimlerinden daha

büyük olmasına rağmen, tutulan sediment hacmi bakımından, Hirfanlı Baraj Havzasındaki barajlarda daha fazla sediment birikimi söz konusudur (DSİ, 2021a) (Tablo 22).

Baraj havzalarında bulunan barajlar ve sediment miktarları		
Sıra No	Hirfanlı Baraj Havzası	Altınkaya Baraj Havzası
1	Hirfanlı (1960)	Altınkaya (1988)
2	Tatların (1966)	Güldürcek (1988)
3	Akköy (1967)	Kapulukuyu (1989)
4	Sarımsaklı (1968)	Sarayözü (1989)
5	Damsa (1971)	Yahyasaray (1989)
6	Çoğun (1974)	Gelingüllü (1990)
7	İncesu Sel Kapamı (1975)	Karaova (1997)
8	Maksutlu (1977)	Duruçay (2003)
9	Yapıaltın (1977)	Vezirköprü (2005)
10	Bozkır (1981)	Dodurga (2008)
11	Kültepe (1983)	Karadere (2008)
12	Ağcaşar (1987)	Kurusaray (2009)
13	Kovalı (1987)	Obruk (2011)
14	Gazibey (1992)	Boyabat (2012)
15	Sıddıklı (2002)	Musabeyli Cemil Çiçek (2012)
16	Ayhanlar (2003)	Saraydüzü (2012)
17	İmranlı (2003)	Boyabat (2012)
18	Dört Eylül (2004)	Doyduk (2013)
19	Yamula (2005)	Kalecik (2013)
20	Sarioğlan (2006)	Koyunbaba (2014)
21	Karacalar (2008)	Sulakyurt (2014)
22	Pusat - Özen (2009)	Kargı (2015)
23	Bayramhacılı (2011)	Uzunlu (2016)
24	Çermikler (2013)	
25	Kanak (2013)	
26	Yıldızeli Nevruz (2015)	
Toplam Baraj Sayısı	26	23
Baraj için Hesaplanan Toplam Sedimen Hacmi (hm ³)	5.837,56	5.470,54
Barajların Aktif Göl Hacmi (hm ³)	4.727,62	26.712,42

Tablo 22 Baraj havzalarının oluşturulması için belirlenen barajlar ve tarihleri

Kızılırmak Havzasına uygulanan EPM yöntemi ile elde edilen veriler, tarih sıralamasına göre belirlediğimiz baraj havza alanlarına düşen erozyon hacmi ve gerçek sediment iletim miktarı değerlerini içermekte olup, deltayı etkileyen havza alanları tespit edilmiştir (Tablo 23).

Havza Adı	Havza Alanları (km ²)	Yıllık Ortalama Erozyon Hacmi (m ³ /ha/yıl)	Yıllık Toplam Erozyon Hacmi (hm ³ /yıl)	Yıllık Toplam Erozyon Hacmi (%)	Yıllık Ortalama Gerçek Sediment İletimi (Gy) (m ³ /ha/yıl)	Yıllık Toplam Gerçek Sediment İletimi (Gy) (hm ³ /yıl)	Yıllık Toplam Gerçek Sediment İletimi (Gy) (%)
Altinkaya Brj. Havz.	48.884,4	513,92	2.441,36	57,03	12,85	61,03	57,03
Derbent Brj. Havz.	661,5	558,85	35,88	0,83	13,97	0,89	0,83
Germeçtepe Brj. Havz.	92,3	265,09	2,32	0,05	6,63	0,06	0,06
Hirfanlı Brj. Havz.	30.199,4	576,01	1.655,51	38,68	14,4	41,39	38,67
Delta Alanı	1.833,3	774,14	129,7	3,03	19,35	3,24	3,02
Kesikköprü Brj. Havz.	256,7	421,81	10,6	0,25	10,55	0,27	0,25
Karaçomak Brj. Havz.	191,4	284,39	5,18	0,12	7,11	0,13	0,12
Kızılırmak Havzası	82.118,9	541,33	4.276,99		13,53	106,94	

Tablo 23 Kızılırmak Havzası ve baraj havzalarının erozyon hacimleri ve gerçek sediment iletim miktarları

Kızılırmak Havzasının yıllık toplam erozyon hacmi 4.276,99 hm³/yıl, hektar başına ürettiği ortalama erozyon ise 541,33 m³/ha/yıl olarak tespit edilmiştir (Tablo 23). Altinkaya Baraj Havzasının toplam erozyon hacmi 2.441,36 hm³/yıl, yıllık ortalama erozyon hacmi 513,92 m³/ha/yıl, gerçek sediment iletim miktarı 61,03 hm³/yıl olarak belirlenmiş, hektar başına yıllık ortalama sediment iletimi 12,85 m³/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre havzada gerçekleşen ve iletilen sediment miktarının %57,03'ü bu havzada gerçekleşmektedir. Bu değerler göz önüne alındığında Altinkaya Baraj Havzası, hem meydana gelen erozyon hacmi bakımından hem de ilettiği sediment miktarı bakımından Kızılırmak Havzası içerisinde delta alanını etkileyecek en büyük baraj havzasıdır.

Derbent Baraj Havzası, havza içerisindeki erozyon hacmi 35,88 hm³/yıl, yıllık ortalama erozyon hacmi ise 558,85 m³/ha/yıl'dır. Bu değerler ile havza içerisinde üretilen toplam erozyon hacminin %0,83'ünü gerçekleştirmektedir. Yıllık toplam sediment iletim miktarı 0,89 hm³/yıl, yıllık ortalama sediment iletim miktarı 13,97 m³/ha/yıl'dır. Bu değerlerle Derbent Baraj Havzası, havzada gerçekleşen sediment iletiminin sadece

%0,83'ünü gerçekleştirmektedir. Derbent Baraj Havzası, yıllık ortalama erozyon hacmi bakımından en verimli havza olsa da hem alanı hem toplam erozyon hacmi hem de sediment iletim miktarını bakımından delta alanını etkileyebilecek potansiyele sahip değildir (Tablo 23).

Germeçtepe Baraj Havzasında, toplam erozyon hacmi $2,32 \text{ hm}^3/\text{yıl}$, hektar başına düşen yıllık ortalama erozyon hacmi ise $265,09 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yıl}$ olarak gerçekleşmektedir. Bu değerler ile havza, Kızılırmak Havzası içinde meydana gelen erozyonun %0,05'ini oluşturmaktadır. Havzanın yıllık toplam gerçek sediment iletim miktarı $0,06 \text{ hm}^3/\text{yıl}$, yıllık ortalama gerçek sediment iletim miktarı ise $6,63 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yıl}$ olarak belirlenmiştir. Havza, %0,06 sediment iletim miktarını ile Kızılırmak Havzası içerisindeki en düşük sediment ileten baraj havzası olmuştur (Tablo 23).

Hirfanlı Baraj Havzası, Kızılırmak Havzası içerisindeki en büyük ikinci havzadır. Havzanın yıllık toplam erozyon hacmi $1.655,51 \text{ hm}^3/\text{yıl}$, yıllık ortalama erozyon hacmi ise $576,01 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yıl}$ olarak gerçekleşmektedir. Kızılırmak Havzasında üretilen erozyon miktarının %38,68'i Hirfanlı Baraj Havzasında oluşmaktadır. Yıllık toplam gerçek sediment iletimi $41,39 \text{ hm}^3/\text{yıl}$, yıllık ortalama gerçek sediment miktarı ise $14,4 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yıl}$ gerçekleşmektedir. Bu veriler ile Altinkaya Baraj Havzasından sonra en fazla erozyon meydana gelen ve sediment iletim kapasitesine sahip olan havza Hirfanlı Baraj Havzası olduğu görülmektedir (Tablo 23).

Delta alanı içerisindeki yıllık toplam erozyon hacmi $129,70 \text{ hm}^3/\text{yıl}$, hektar başına yıllık ortalama erozyon miktarı $774,14 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yıl}$ olarak gerçekleşmektedir. Havza içerisinde meydana gelen erozyonun %3,03'ü delta alanında oluşmaktadır. Delta alanının yıllık toplam gerçek sediment iletim miktarı $3,24 \text{ hm}^3/\text{yıl}$, hektar başına yıllık ortalama gerçek sediment iletim miktarı ise $19,35 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yıl}$ olarak gerçekleşmektedir. Bu veriler ile delta alanı, havza içerisindeki sediment iletiminin %3,02'sini karşılamaktadır (Tablo

23). Delta alanının hektar başına ürettiği erozyon hacmi yüksek olsa da hem alanın dar olması hem de akarsu ağı bakımından yetersiz kalması, sediment iletim miktarını düşürmektedir.

Kesikköprü Baraj Havzası içerisindeki yıllık toplam erozyon hacmi $10,60 \text{ hm}^3/\text{yıl}$, hektar başına yıllık ortalama erozyon hacmi ise $421,81 \text{ m}^3/\text{ha/yıl}$ olarak tespit edilmiştir. Havza, Kızılırmak Havzası içerisinde meydana gelen toplam erozyon miktarının %0,25'ini gerçekleştirmektedir. Havzanın yıllık toplam gerçek sediment iletim miktarı $0,27 \text{ hm}^3/\text{yıl}$, hektar başına yıllık ortalama gerçek sediment iletim miktarı ise $10,55 \text{ m}^3/\text{ha/yıl}$ olarak gerçekleşmektedir. Bu veriler ile havza, Kızılırmak Havzası içerisinde meydana gelen sediment iletim miktarının %0,25'ini gerçekleştirmektedir (Tablo 23).

Karaçomak Baraj Havzası içerisindeki yıllık toplam erozyon hacmi $5,18 \text{ hm}^3/\text{yıl}$, hektar başına yıllık ortalama erozyon hacmi ise $284,39 \text{ m}^3/\text{ha/yıl}$ olarak gerçekleşmektedir. Havza, Kızılırmak Havzası içerisinde meydana gelen toplam erozyon hacminin %0,12'sini üretmektedir. Yıllık toplam gerçek sediment iletimi $0,13 \text{ hm}^3/\text{yıl}$, hektar başına yıllık ortalama gerçek sediment iletim miktarı $7,11 \text{ m}^3/\text{ha/yıl}$ olarak gerçekleşmektedir. Havza içerisinde meydana gelen gerçek sediment miktarının %0,12'sini karşılamaktadır (Tablo 23).

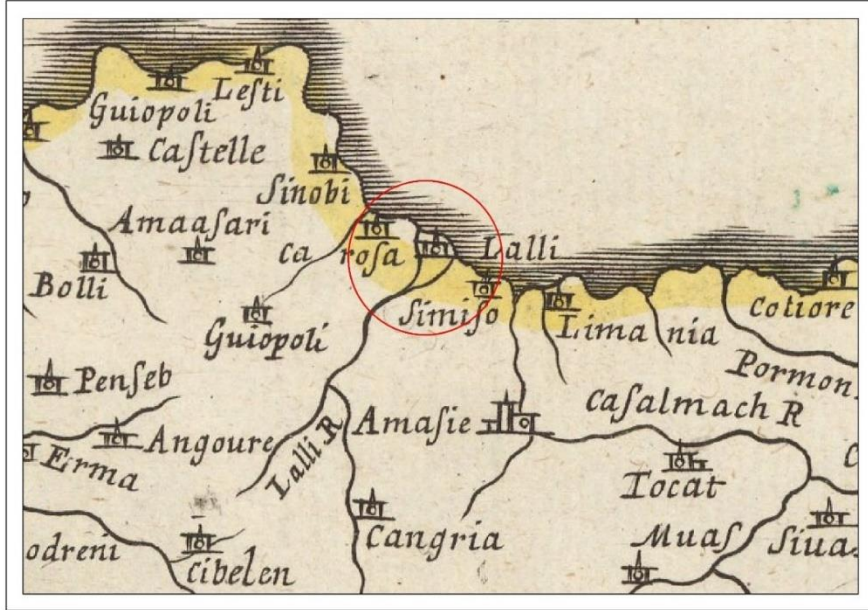
Baraj havza alanları incelendiğinde, Kızılırmak Havzasında meydana gelen yıllık toplam erozyon hacminin %95,71'ini ve yıllık toplam gerçek sediment iletiminin %95,7'sini Altınkaya ve Hirfanlı baraj havzalarının gerçekleştirdiği görülmektedir. Bu verilere göre diğer 5 havza, yıllık toprak erozyon hacminin %4,29'unu, sediment iletim miktarının %4,3'ünü sağlamaktadır (Tablo 23).

Kızılırmak Havzası içerisindeki baraj havzalarının alanlarına, bu havzaların yıllık toplam erozyon hacmine, gerçek sediment iletim miktarına ve baraj rezervuar alanları için hesaplanan toplam sediment hacim değerleri göz önüne alındığında, delta alanının gelişim

hacmi ve sediment iletim miktarları dikkate alınarak belirlenen iki önemli barajın, işletme tarihleri (Hirfanlı-1960, Altınkaya-1988) ile sınırlandırılmıştır. Altınkaya Barajı (1988) ile Derbent Barajı (1990) birleştirilerek 1961-1990 yılları arası, 2. dönem olarak belirlenmiştir. 3. dönem ise bu iki büyük barajın kurulumundan sonraki etkileri görebilmek için 1991-2020 yılları arasını kapsamaktadır (Şekil 25). Verilerin farklı kurumlardan temin edilmesi, verilerde eksik yılların olması veya farklı tarihlere ait veri setleri olması nedeniyle yapılan analizler ve değerlendirmeler verilerin izin verdiği ölçüde belirlenen 3 dönemle sınırlandırılmıştır.

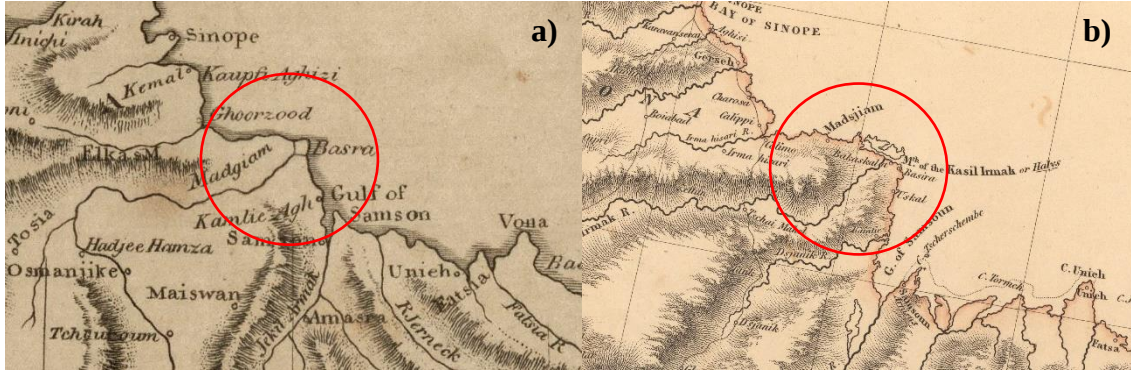
3.3.1. 1664-1960 Dönemindeki Kıyı Değişimi ve Gelişimi

Deltanın 1960 yılından önceki durumu farklı tarihli haritalar kullanılarak değerlendirilmiştir. Fakat bu haritaların güvenilirliği, yapılan dönemin şartlarına ve standartlarına bağlıdır. Bu nedenle bazı haritalar gerçeğe yakın durumu gösterirken bazıları çok basit çizimlerle ifade edilmiştir. Deltaya ait ilk harita, 1664 yılında Fransız Du Val'in yapmış olduğu Türk imparatorluğu ve sınırları haritasıdır. Haritada rölyef olarak gösterilmiş, resimler, metinler kullanılmış ve büyük şehirler işaretlenmiştir (Du Val, 1664). Du Val'in yapmış olduğu haritada Karadeniz kıyılarının ayrıntılı gösterilmediği, buna rağmen yine de kullanılabileceği, fakat güvenirliliğinin düşük olduğu görülmektedir. Haritada Kızılırmak nehrinin deltaya girdikten sonra 2 kola ayrılarak Karadeniz'e kavuştuğu ve burun kısmının 1664 yılındaki varlığı görülmektedir (Du Val, 1664) (Şekil 26).



Şekil 26 1664 yılına ait Türk İmparatorluğu ve Sınırlarının Haritası

1812 yılında Arrowsmith ve Lewis tarafından yapılan, 1/5.800.000 ölçekli Küçük Asya haritası ABD, Boston şehrinde yayınlanmıştır. Harita başka çalışmalarda kullanılabilsin diye hesaplamalarda enlem boylam dereceleri de belirtilmiştir. Harita da rölyef çizim teknikleri ve metinler de bulunmaktadır (Chapot, 2020). Haritada Kızılırmak Deltasının burun kısmında ilerlemenin yanı sıra delta üzerindeki Kızılırmak Nehrinin 1664 yılında olduğu gibi deltanın hem doğu kıyısına hem de batı kıyısından denize ulaştığı görülmektedir (Şekil 27a). 1816 yılında Arrowsmith'in Londra'da yayınlanan 1/1.755.636 ölçekli haritasında (Arrowsmith, 1816) Kızılırmak Nehrinin iki kola ayrıldığı, iki kolun sınırlarının belirgin bir şekilde çizildiği görülmektedir (Şekil 27b). 1812 ve 1816 tarihli haritalar incelendiğinde bu dönemde Kızılırmak Nehrinin iki kola ayrıldığı, çizim tekniklerinin ve gözlemlerin haritayı yapan kişiye bağlı olmasından bu dönemde göl oluşumunun olup olmadığını söylemenin mümkün olmadığı görülmektedir. 1812 tarihli haritada kıyılar kaba bir çizime sahipken, 1816 tarihli haritada kıyı detayları daha belirgin çizilmiştir (Şekil 27b).



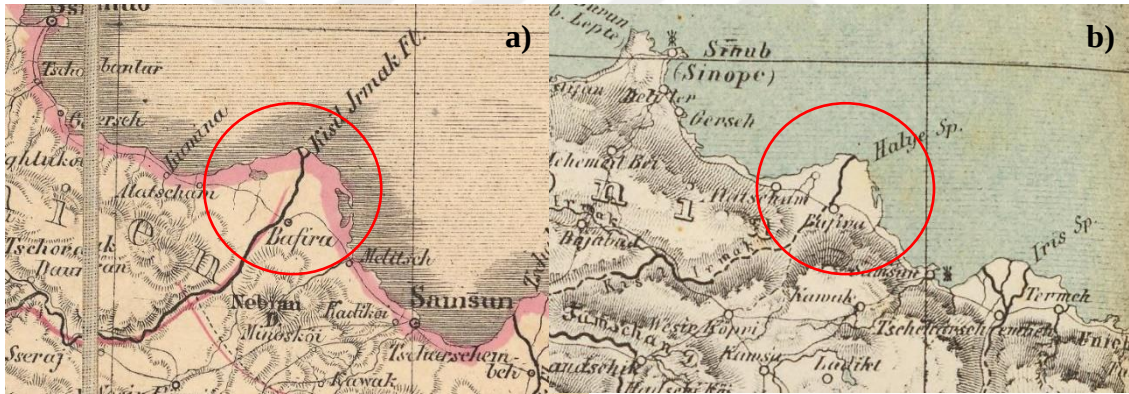
Şekil 27 a) 1812 yılına ait Küçük Asya haritası b) 1816 yılına ait Delhi ve Konstantinopolis Arasındaki Ülkelerin Ana Hatları haritası

1829 tarihinde yapılan 1/4.100.000 ölçekli Türkiye haritası Hall tarafından Londra’da yayınlanmıştır (Hall, 1829). Haritada Kızılırmak Deltası incelendiğinde delta burnunun belirgin olduğu anlaşılmaktadır. 1812-1816 yıllarında yapılan haritalarda deltanın doğu ve batı kıyısından dökülen Kızılırmak Nehrinin, 1829 yılında da tekrar iki kola ayrıldığı fakat doğu kıyısından dökülen kolun delta burnundan Karadeniz’e ulaştığı görülmektedir (Şekil 28a). 1846 yılına ait 1/5.900.000 ölçekli, ABD Philadelphia şehrinde üretilen (Mitchell, 1846) harita incelendiğinde, 1829 yılından farklı olarak Kızılırmak nehri tek bir kol olarak Karadeniz’e dökülmektedir. Kızılırmak Deltasının doğu kıyısı üzerinde göl oluştuğu görülmektedir (Şekil 28b). 1829 tarihli haritanın ölçeğinin daha küçük olmasına rağmen çizim teknikleri farkından dolayı 1846 tarihli haritanın daha detaylı olduğu görülmektedir.



Şekil 28 a) 1829 yılına ait “Asya’da Türkiye” haritası b) 1846 yılına ait Asya’da Türkiye

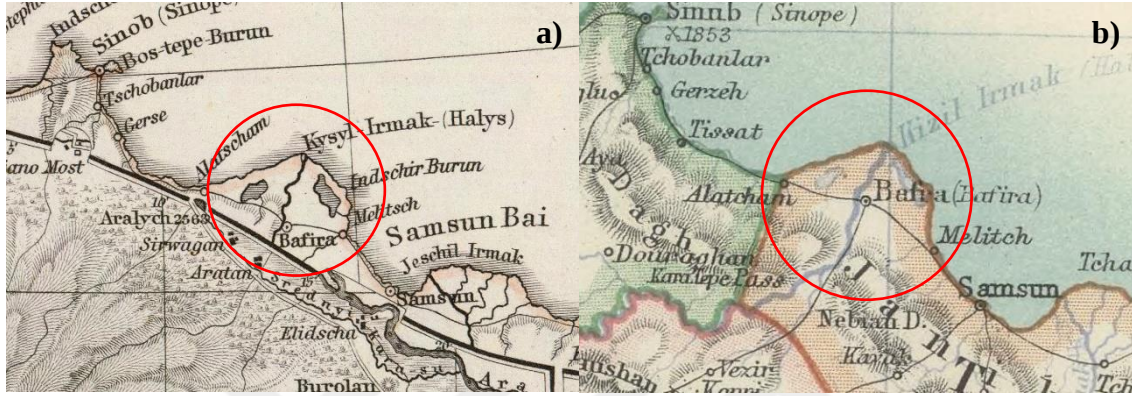
1853 yılına ait 1/2.300.000 ölçekli harita Berlin’de coğrafik koordinatlarla üretilen (Kiepert ve Delius, 1853) harita incelendiğinde, 1846 yılında tek koldan denize ulaşan Kızılırmak Nehri, 1853 yılında çok geniş olmamakla birlikte iki kola ayrılarak doğu ve batı kıyısından Karadeniz’e ulaştığı, doğu kıyısında yer alan göl alanının ise Karadeniz ile birleştiği görülmektedir. 1853 yılındaki haritada görülen diğer bir husus batı kıyısındaki göl meydana gelmiştir (Şekil 29a). 1864 yılında yapılan 1/4.000.000 ölçekli harita, rölyef çizim tekniği ile yapılmıştır (Zeigler, 1864). 1853 tarihli haritada deltanın batısında yer alan göl, 1864 tarihli haritada görülmemekle birlikte, doğusunda yer alan gölün bu dönemde de Karadeniz’le birleştiği anlaşılmaktadır. Kızılırmak nehri, 1853 yılında doğu ve batı kıyısına iki koldan dökülmesine rağmen 1864 yılında tek ana koldan Karadeniz’e ulaşmaktadır (Şekil 29b).



Şekil 29 a) 1853 yılına ait Asya’daki Türk İmparatorluğu Haritası b) 1864 yılına ait Asya Türkiye’si haritası

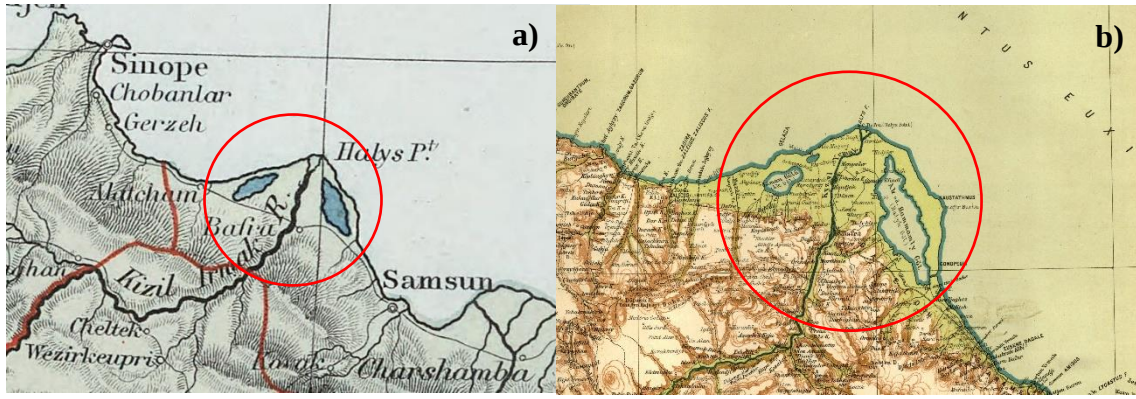
1875 yılında Stieler tarafından yapılan 1/3.700.000 ölçekli harita, Justus Perthes tarafından yayınlanmıştır. Haritada siyasi sınırlar, demiryolları, kanallar, nehirler göller ve dağlar gösterilmektedir. Başlangıç meridyeni Greenwich, Ferro ve Paris göre belirlenmiştir (Stieler, 1875). Kızılırmak Nehrinin deltanın burun kısmında kısa da olsa iki kola ayrıldığı görülmektedir. 1864 yılında Kızılırmak Deltasının doğu kıyısında yer alan denizle birleşmiş göl alanının denizle ilişkisinin kesildiği ve tekrar göl alanına dönüştüğü görülmektedir. 1864 yılında batı kıyısında görülmeyen göl alanının tekrar oluştuğu görülmektedir (Şekil 30a). 1893 yılına ait 1/4.007.520 ölçekli harita, Johnston

tarafından üretilmiştir. Renkli olarak üretilen bu harita üzerine rölyef, şehirler, siyasi sınırlar, akarsular ve göller işlenmiştir (Johnston, 1893). 1893 tarihli haritada, Kızılırmak Nehri tek bir koldan Karadeniz'e ulaşmaktadır. 1875 ve 1893 tarihli haritalar kendinden önce yapılan haritalardan daha fazla bilgi (şehirler, siyasi sınırlar, demiryolları, kanallar vs.) içermekte olup, coğrafi koordinat sistemlerinin kullanılması harita güvenilirliğini artırmaktadır (Şekil 30b).



Şekil 30 a) 1875 yılına ait Doğu Avrupa'yı içeren harita b) 1893 yılına ait Asya'da Türkiye (Küçük Asya) ve Transkafkasya haritası

1904 yılında Stanford tarafından 1/3.220.177 ölçekli hazırlanan harita, tam renkli olarak üretilip denizaltı kablolarını, demiryollarını ve yerleşim alanlarını göstermektedir (Stanford, 1904). 1893 tarihli haritada, deltanın doğu kıyısında yer alan göl alanında 1904 tarihli haritadakinden daha da genişlediği görülmekte olup, Kızılırmak Nehrinin ağız kısmının tekrar iki kola ayrılmıştır (Şekil 31a). 1914 yılında, Kiepert ve Richard tarafından 1/400.000 ölçeğinde yapılan haritada, rölyef çizim tekniği kullanılırken tarama ve nokta yükseklikler kullanılmış (Kiepert ve Richard, 1914) ve 1904 yılında olduğu gibi Kızılırmak Nehri deltanın burun kısmında iki kola ayrıldığı görülmektedir. 1914 yılına kadar olan haritalarda göllerin ismi yazmazken 1914 tarihli haritada, delta üzerindeki göllerin adı yazmaktadır. Haritada deltanın doğu kıyısında yer alan Balık Gölü günümüzün aksine bütün ve oldukça büyük görünmekte ve gölün güneydoğu kesiminde Oluşan kanal ile Karadeniz'e tekrar bağlandığı anlaşılmaktadır. Deltanın batı kıyısında ise Akgöl (Liman Gölü) ile birlikte bir göl daha oluşmuştur (Şekil 31b).



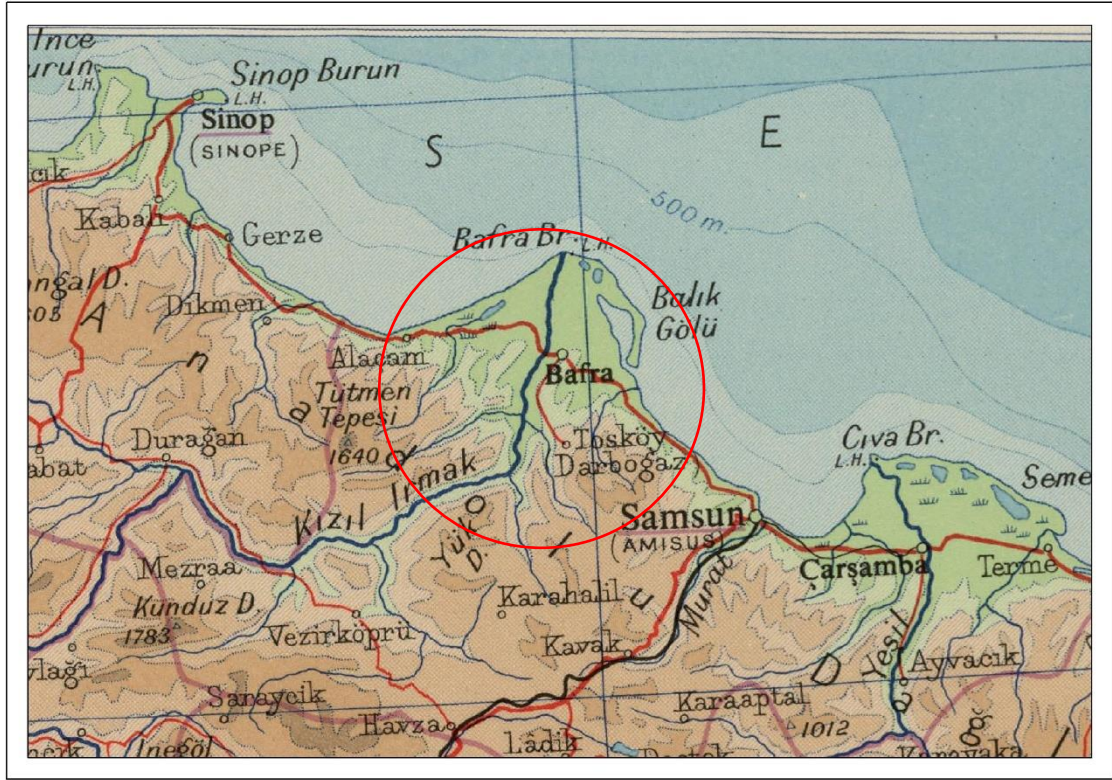
Şekil 31 a) 1904 yılına ait Küçük Asya, Kafkaslar, Karadeniz haritası b) 1914 yılına ait Sinop haritası

1929 yılında, İtalyan Tur Kulübü'nün yapmış olduğu harita, 1/3.000.000 ölçeğe ve rölyef çizim teknikleri ile yapılmıştır (Bertarelli vd., 1929). Kızılırmak Nehrinin, Karadeniz'e döküldüğü kesimde iki kola ayrıldığı görülmektedir. Deltanın batı kesiminde yer alan iki göl, derinliklerinin az olmasından dolayı yatay çizgilerle gösterilmiştir. Deltanın doğu kıyısında yer alan Balık Gölünün ise 1914 yılında olduğu gibi güneydoğu ucunda denizle bağlantısı devam etmektedir (Şekil 32a). 1945 yılına ait 1/200.000 Samsun/Bafra paftası HGM tarafından üretilmiştir. Harita üzerinde coğrafi koordinatlar ve grad ölçü sistemi bulunmaktadır. Eş yükselti eğrileri 50 m'de bir olacak şekilde oluşturulmuştur (HGM, 1945). Kızılırmak Nehri örgülü bir akış göstererek Karadeniz'e ulaşmaktadır. Deltanın doğu kesiminde ise 1929 yılında görülen Balık Gölü parçalanmış ve Tuzlu ve Liman gölü adlı iki göl daha meydana gelerek üç göl meydana gelmiştir (Şekil 32b). 1945 tarihli harita diğer dönem haritalarına göre daha detaylı bilgiler barındırırken, harita teknikleri ile daha detaylı çizimler uygulanmıştır.



Şekil 32 a) 1929 yılına ait Türkiye, Suriye, Filistin Haritası b) 1945 yılına ait Samsun/Bafra Haritası

1959 yılına ait 1/2.000.000 ölçekli harita, coğrafi koordinat sistemi kullanılmış, renkli ve yükselti basamakları gösterir şekilde oluşturulmuştur (Bartholomew, 1959). Kızılırmak Nehri tek kol ile Karadeniz'e ulaşmaktadır. 1945 yılından farklı olarak Balık Gölü ile deniz arasındaki bağlantı tekrar sağlanmıştır (Şekil 33).

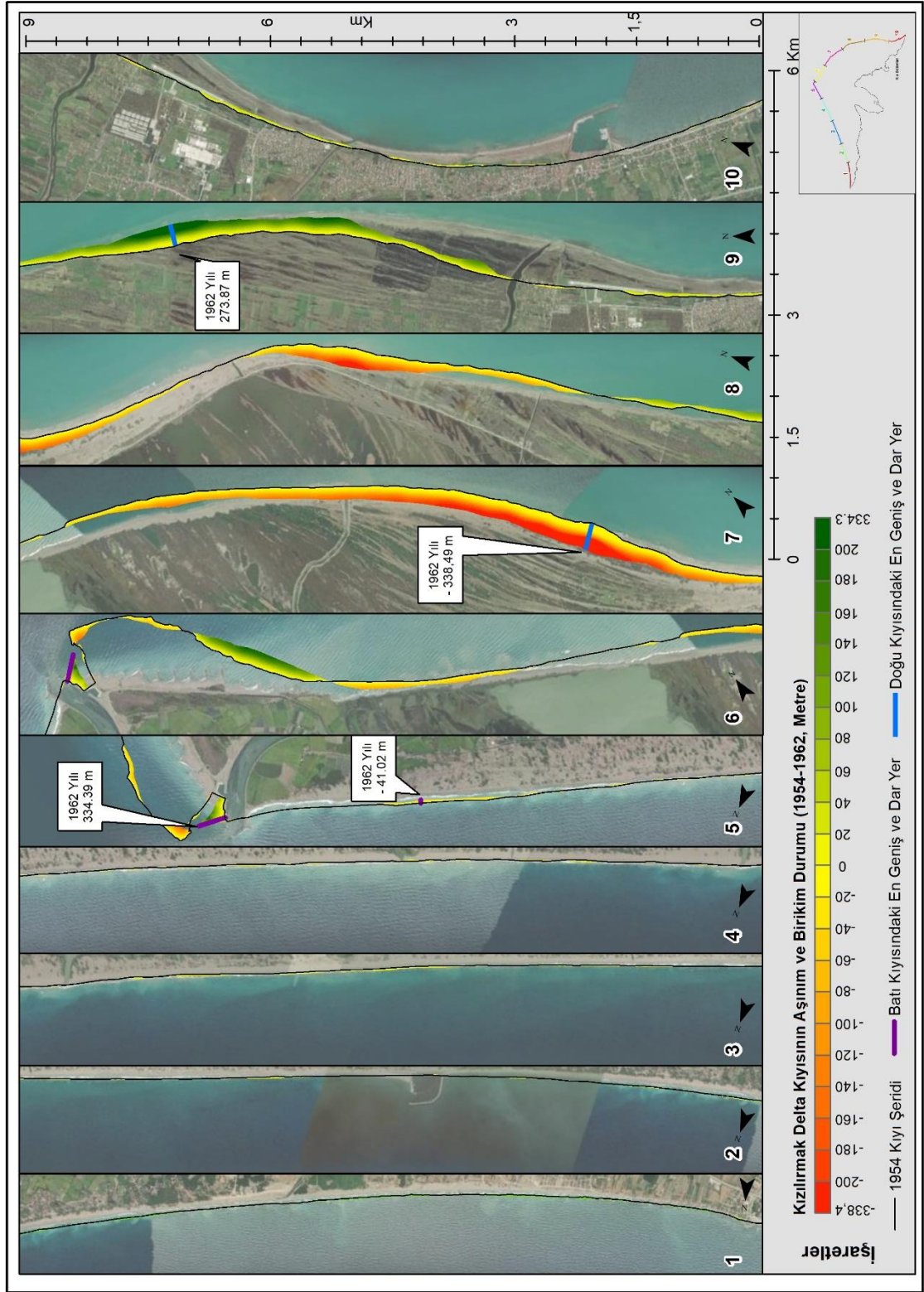


Şekil 33 1959 yılına ait Batı Türkiye haritası

Güncel olmayan harita teknikleri ile oluşturulan haritalarda, delta alanının oldukça dinamik bir yapısı olduğu görülmektedir. Kızılırmak Nehrinin kollara ayrılması, delta alanı üzerinde belli dönemlerde oluşan göller ve bazı göllerin Karadeniz ile birleşmesi

gibi değişimler, Kızılırmak Nehri üzerine kurulan su yapılarından önce, deltanın gelişim ve değişimlerinin çok hızlı olduğunu göstermektedir.

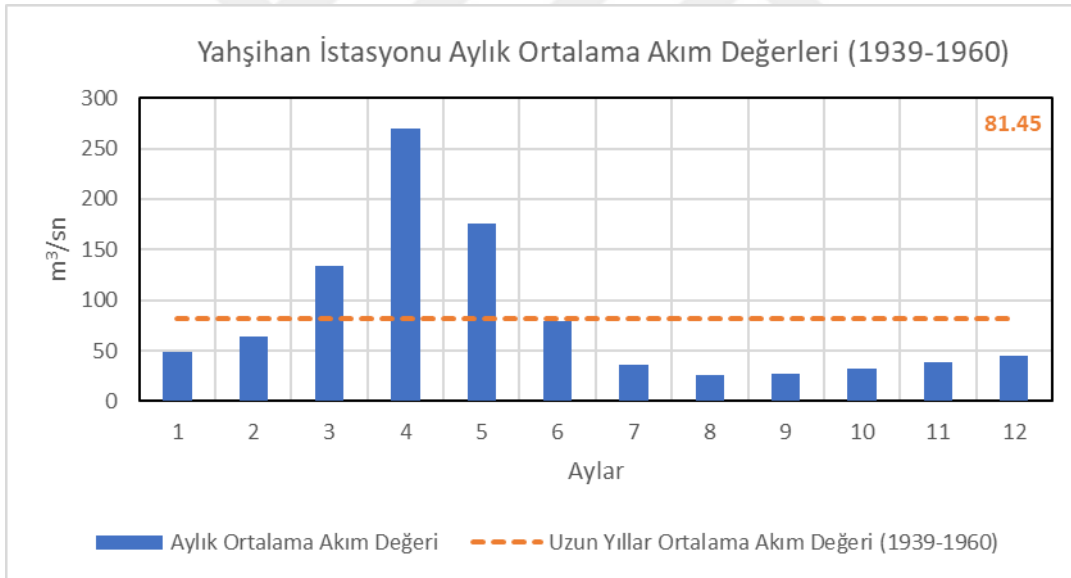
Kızılırmak Deltasının, 1954 ve 1962 yıllarına ait ortofoto görüntüleri günümüz harita teknikleri ile revize edilmesi ve belli harita standartlarında olması nedeniyle kıyı değişim analizi yapılmasına olanak sağlamıştır. Kızılırmak Deltasının incelenmesinde, yapılan kıyı değişim analizlerinin daha iyi algılanabilmesi ve detayların görülebilmesi için delta kıyı çizgisi 10 bölüme ayrılarak, batı kıyısından, doğu kıyısına kadar 8 km'lik bölümlere ayrılmıştır. Delta kıyı çizgisi, 1954 yılı temel alındığında 1962 yılında, ortalama 10,18 m geri çekilmiş, en fazla aşınım 338,5 m olmuş, en fazla birikim ise 334,4 m olarak tespit edilmiştir (Şekil 34). Bu dönemde, batı kıyısında ortalama 2,8 m'lik birikim söz konusudur. En fazla aşınım 41 m, en fazla birikim 334,4 m ile deltanın batı burun kısmında belirlenmiştir. Deltanın doğusunda yer alan kıyı çizgisindeki değişim batı kıyısına göre daha fazla görülmektedir. Doğu kıyısında, ortalama 22,5 m'lik çekilme, en fazla birikimin olduğu alanda 273,9 m'lik, en fazla aşınımın olduğu alanda 338,5 m'lik bir değişim söz konusudur (Şekil 34).



Şekil 34 Kızılırmak Deltasına ait kıyı çizgisi değişimi (m) (1954-1962)

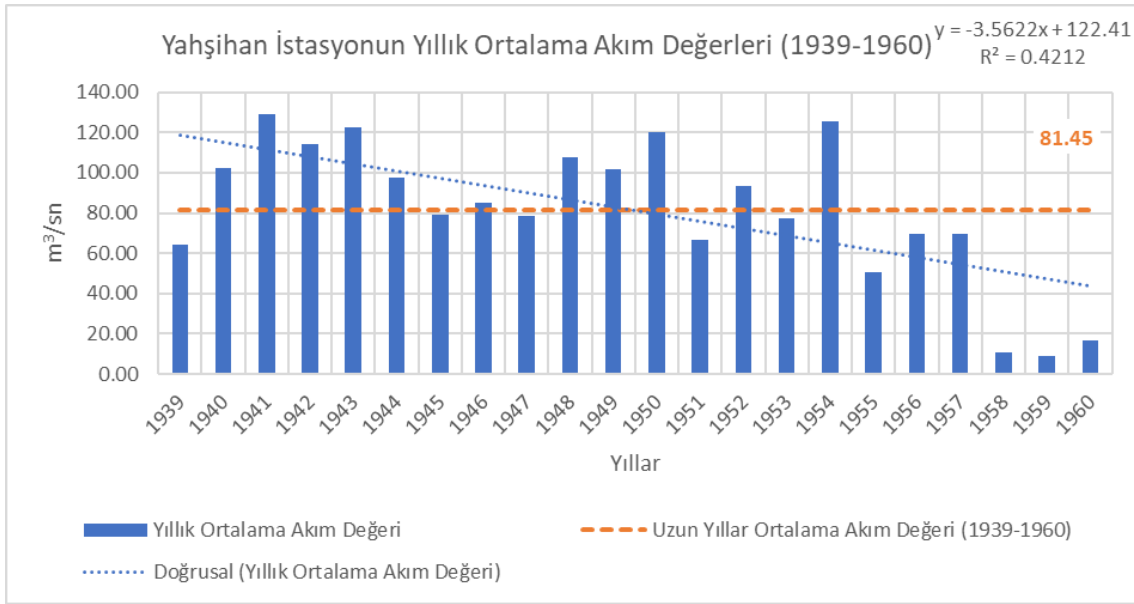
1960 yılından önceki dönemlere ait çok fazla sayısal veri bulunmamaktadır. Az bulunan bu veriler içerisinde, akım gözlem istasyonlarının (1939-1960) akım verileri bulunmaktadır. Kızılırmak Havzası içerisinde en eski ve en az kesintiye uğrayan veri seti Yahşihan ve Yamula akım gözlem istasyonlarına aittir (DSİ, 2021a).

Yahşihan Akım Gözlem İstasyonu, Kırıkkale ili, Kılıçlar ilçesi sınırları dahilinde, 1939-2011 yıllar arasındaki akım verilerine sahip bir istasyondur. Yahşihan istasyonun 1939-1960 yılları arasındaki aylık ortalama akım değer ortalaması $81,45 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir. Şekil 35 incelendiğinde, istasyonun bulunduğu bölgenin iklimsel özellikleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Mayıs ayı $270,2 \text{ m}^3/\text{sn}$ ile akım değerlerinin en yüksek, Ağustos ayı ise $26,4 \text{ m}^3/\text{sn}$ ile akım değerlerinin en düşük olduğu ay olarak belirlenmiştir (DSİ, 2021a) (Şekil 35).



Şekil 35 Yahşihan Akım Gözlem İstasyonunun aylık ortalama akım değerleri (m^3/sn) (1939-1960)

Yahşihan Akım Gözlem İstasyonuna ait 1939-1960 yılları arasındaki yıllık ortalama akım verileri incelendiğinde, 1958-1959 ve 1960 yıllarında ortalama akım değerlerinin $8,87 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'ye kadar düştüğü görülmektedir (Şekil 36). Bunun başlıca nedeni 1954 yılında Hirfanlı Barajı inşaatının işletmeye alınmadan (1960) önce su tutmaya başlamış olmasıdır.

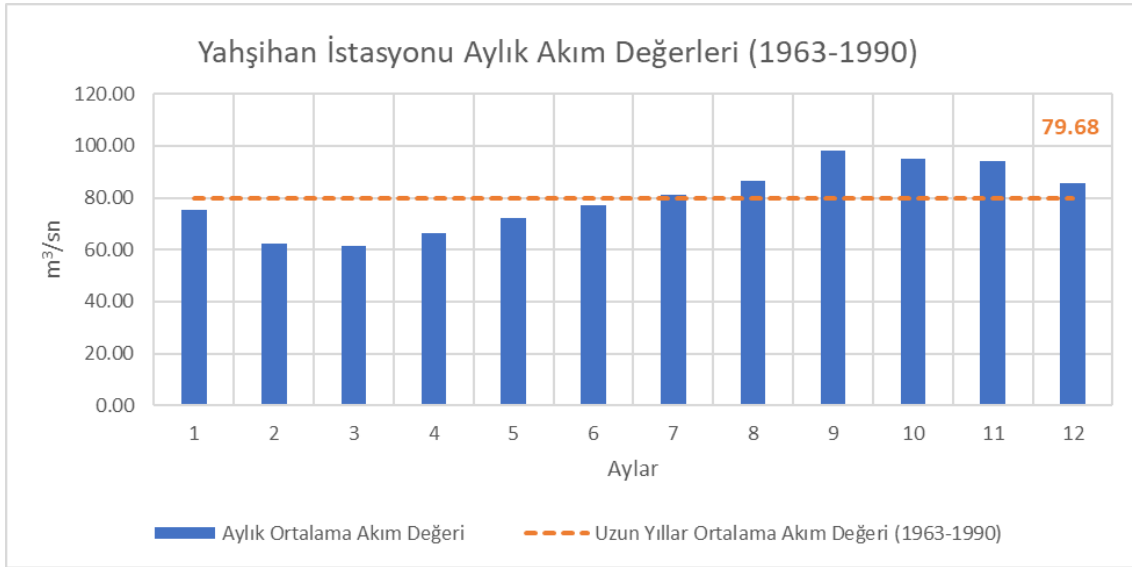


Şekil 36 Yahşihan Akım Gözlem İstasyonunun yıllık ortalama akım değerleri (m³/sn) (1939-1960)

3.3.2. 1961-1990 Dönemindeki Kıyı Değişimi ve Gelişimi

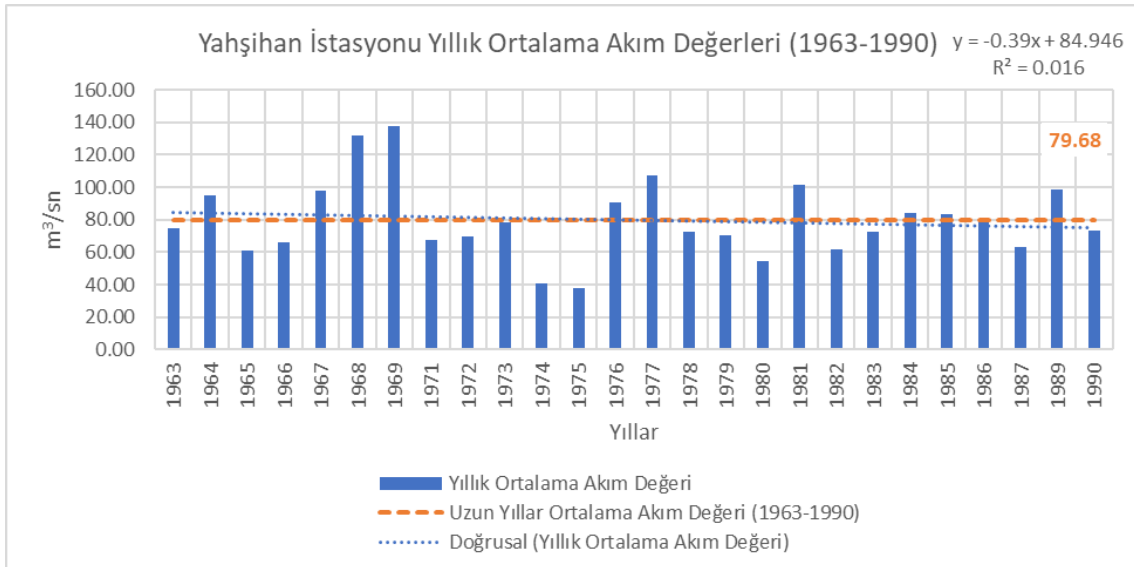
Kızılırmak Havzasında 53 baraj ve 109 gölet bulunmaktadır. 1960 yılında Hirfanlı Barajı kurulduktan sonra, ikinci en büyük baraj olan Altınkaya Barajının işletmeye alındığı tarihe kadar (2. Dönem, 1960-1990) Kızılırmak Havzası içerisinde, 15'i baraj, 33'ü gölet işletmeye alınmıştır. Bu barajlardan 15'inden 12'sinin, 33 göletten 26'sının baraj rezervuar alanındaki toplam sediment hacim verilerine ulaşılmıştır (DSİ, 2021c). DSİ tarafından hesaplanan ve bu dönem içerisinde kurulan baraj ve gölet rezervuar alanında birikecek olan toplam sediment hacim miktarı, 12 baraj için 4.254,36 hm³, 26 gölet için 9,01 hm³, toplamda ise 4.344,46 hm³ sediment birikeceği hesaplanmıştır. 1960-2020 yılları arasında kurulan tüm baraj ve göletlerin rezervuar alanlarında toplamda 11.623,31 hm³ sediment tuttuğu ve bu tutulan toplam sedimentin % 37,29'unun bu dönemde kurulan baraj ve göletlerin rezervuar alanlarında tutulduğu hesaplanmıştır (DSİ, 2021c).

Yahşıhan Akım Gözlem İstasyonunun 1963-1990 yılları arasındaki aylık ortalama akım değeri $79,68 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir. Ortalama aylık akımının en düşük olduğu ay 61,53 m^3/sn ile mart, en fazla olduğu ay ise 98,29 m^3/sn ile eylül ayıdır (Şekil 37). Bu verilere bakıldığında, akımların Yahşıhan Akım Gözlem İstasyonunun bulunduğu bölgenin iklimsel özelliklerine uygun olmadığı görülmektedir. Yaz dönemlerinde akım değerlerinin ortalamanın altına düşmesi beklenirken genel ortalamanın üstünde seyretmesinin nedeni, Yahşıhan Akım Gözlem İstasyonunun kaynak kısmına kurulan barajlardan düzenli olarak su bırakılmasıdır (DSİ, 2021a) (Şekil 37).



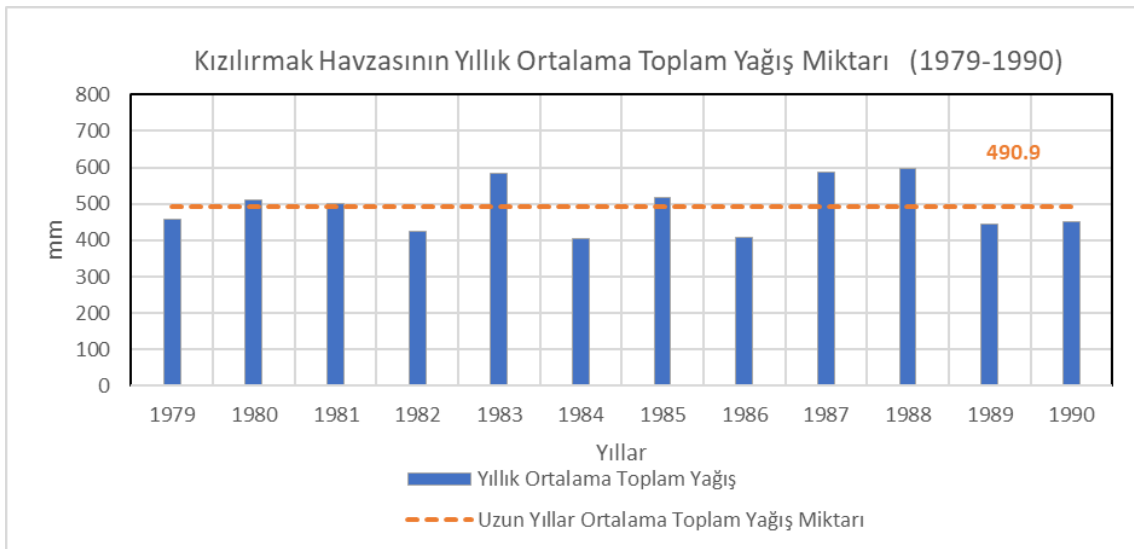
Şekil 37 Yahşıhan Akım Gözlem İstasyonunun aylık ortalama akım değerleri (m^3/sn) (1963-1990)

Yahşıhan Akım Gözlem İstasyonunun uzun yıllar ortalama akım değeri bakıldığında yıllar arasında çok fazla bir farkın olmadığı görülmektedir. En fazla akımın gerçekleştiği yıl 1969'da $137,37 \text{ m}^3/\text{sn}$, en düşük akımın gerçekleştiği yıl 1975'te $97,93 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak gerçekleşmiştir (Şekil 38). Yıllar arasında birbirine yakın akım değerlerinin olması, 1960 yılında kurulan Hirfanlı Barajının su akış rejimini düzenlemesinden kaynaklanmaktadır (DSİ, 2021a).



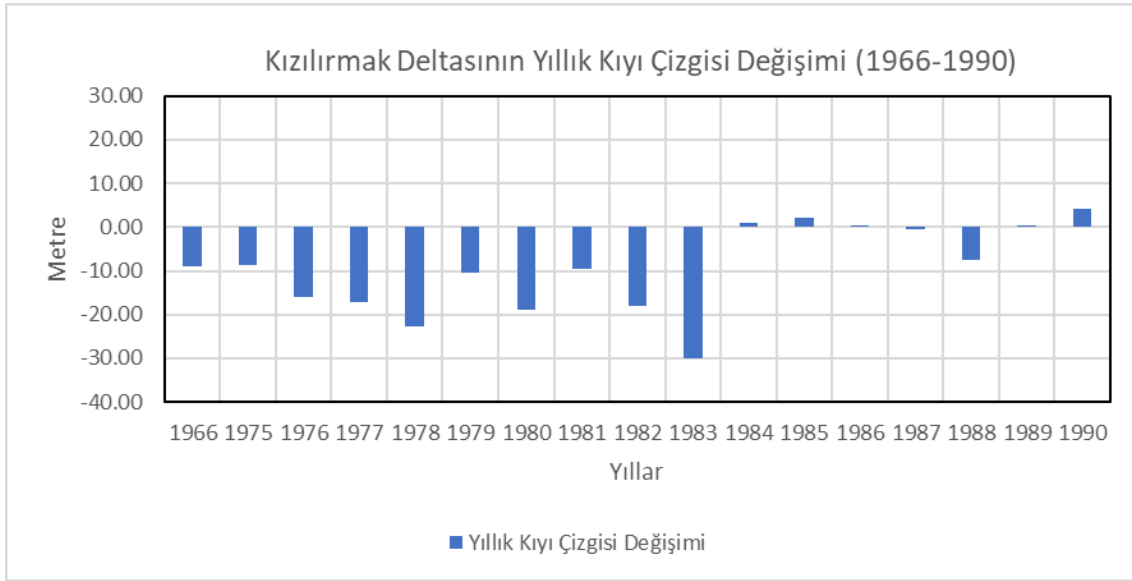
Şekil 38 Yahşıhan Akım Gözlem İstasyonunun yıllık ortalama akım değerleri ortalaması (m³/sn) (1963-1990)

Kızılırmak Havzasının bu döneme ait yağış verileri incelendiğinde (1979-1990), havzanın yıllık ortalama toplam yağışın 490,9 mm olduğu görülmektedir. Yıllara göre yağış miktarı, yıllık olarak 1,37 mm’lik bir artış söz konusudur. Kızılırmak Havzası bu dönemde dengeli bir yağış rejimine sahiptir. 1988 yılındaki 596,7 mm’lik yağış, bu dönemin en yağışlı dönemi olarak kaydedilirken, en kurak yıl ise 1984 yılında 403,1 mm yağış gerçekleşmiştir (DSİ, 2021a) (Şekil 39).



Şekil 39 Kızılırmak Havzasının yıllık toplam yağış ortalaması (mm) (1979-1990)

Kızılırmak deltasının tüm kıyı çizgisinde gerçekleşen aşınım ve birikim miktarlarının (m) ortalama değerleri alınmıştır. Kızılırmak Deltasının bütün kıyı çizgisindeki ortalama değişim, 9,45 m'lik aşınım olarak gerçekleşmiştir. Kıyınının bütününde en fazla aşınım 56,2 m ile 1983 yılında en fazla birikim ise 11.8 m ile 1990 yılında gerçekleşmiştir. Şekil 40 incelendiğinde 1966 yılından 1983 yılına kadar aşınım süreçleri hakimken, 1983 yılında aşınım süreçleri zayıflamış ve fazla olamasada birikim süreçleri hakim olmuştur (Şekil 40).

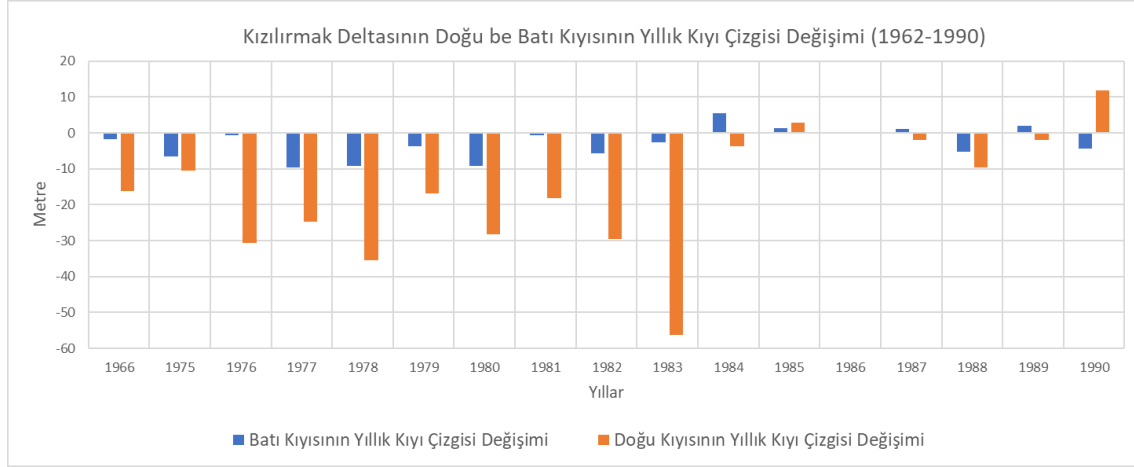


Şekil 40 Kızılırmak Deltasının yıllık kıyı çizgisi değişimi (m) (1966-1990)

Kızılırmak Deltası tüm olarak incelendiği gibi deltanın batı ve doğu kıyıları da ayrı ayrı incelenmiştir. Batı ve Doğu kıyısında gerçekleşen aşınım ve birikim süreçlerinin tümünün ortalaması alındığı gibi Batı ve Doğu kıyısında gerçekleşen aşınım ve birikim süreçlerinin en fazla olduğu bölgelerde tespit edilmiştir.

Deltanın doğu ve batı kıyılarının tümünün ortalamalarına ayrı ayrı incelendiğinde, Batı kıyısında en fazla aşınım 9,52 m ile 1977 yılında, en fazla birikim ise 5,58 m ile 1984 yılında gerçekleşmiştir. Doğu kıyısında bu dönem içerisinde tespit edilen en fazla aşınım 56,2 m ile 1983 yılında, en fazla birikim ise 11,8 m ile 1990 yılında gerçekleşmiştir. Bu değerler Batı kıyısının tamamının ortalamasına bakıldığında aşırı sapmaların olmadığını, Doğu kıyısında ise önemli sapmaların olduğunu göstermektedir. Doğu kıyısının aşınım

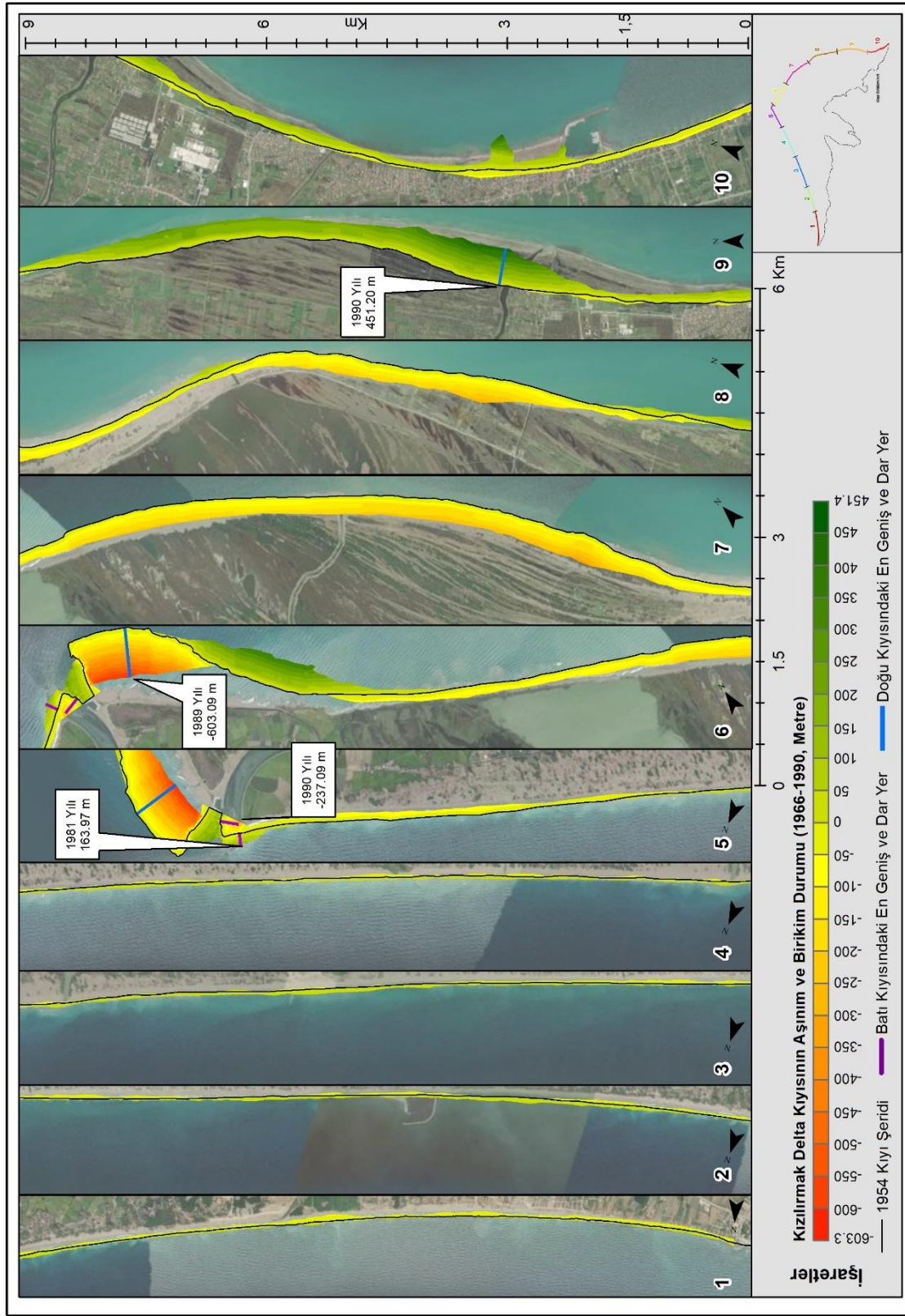
ve birikim süreçleri bakımından daha dinamik bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 41).



Şekil 41 Kızılırmak Deltasının doğu ve batı kıyısına ait yıllık kıyı çizgisi değişim (m) (1962-1990)

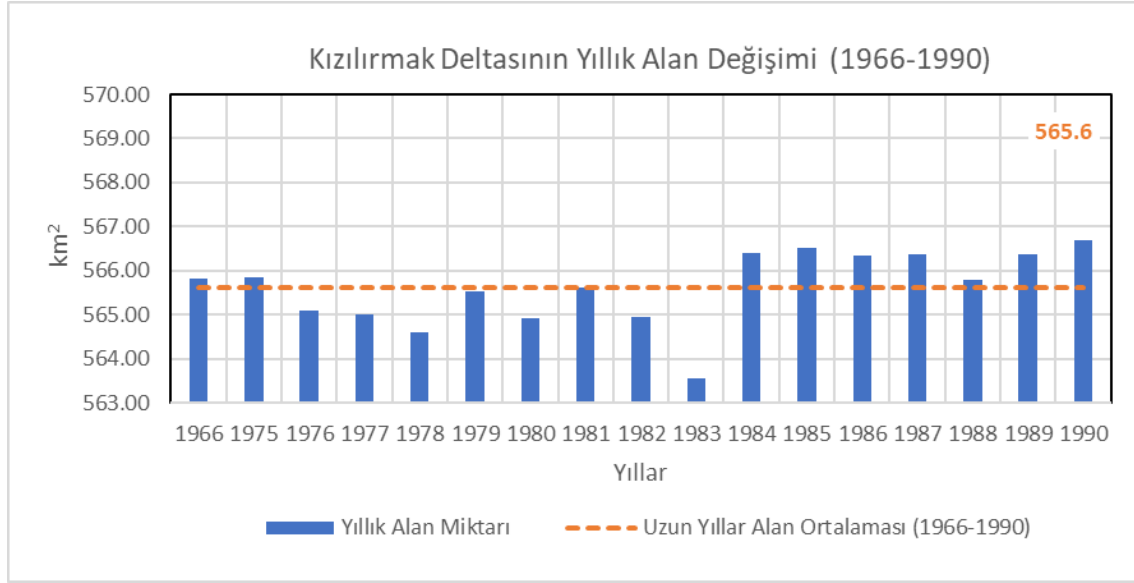
Kızılırmak Deltası'nda, Batı ve Doğu kıyılarında aşınım ve birikim süreçlerinin en az ve en fazla olduğu bölgeler tespit edilmiştir.

1960-1990 döneminde (2. dönem), deltanın batı kıyısının burun kısmında, aşınım ve birikim süreçleri etkin olmuştur. Batı kıyısı 2. dönem içerisinde 1990 yılında 237,1 m'lik aşınım gösterirken 1981 yılında 163,9 m'lik birikim göstermiştir. Doğu kıyısında ise 1989 yılında 603,3 m'lik bir aşınım söz konusudur. Deltanın güneydoğu kesiminde ise 451,4 m'lik bir birikim söz konusudur. 2. Dönemde Kızılırmak Deltasının aşınım ve birikim süreci oldukça dinamik bir yapı göstermektedir (Şekil 42).



Şekil 42 Kızılırmak Deltasının kıyı çizgisi değişimi (m) (1966-1990)

Kızılırmak Deltasının alan hesabı incelendiğinde kıyı çizgisi değişiminin etkisini alan değerleri üzerinden göstermesi bakımından önemlidir. Kızılırmak Deltasının yıllara göre alan ortalaması $565,6 \text{ km}^2$ 'dir. Delta alanının en fazla genişlediği yıl $566,68 \text{ km}^2$ ile 1990 yılı, en fazla daraldığı yıl ise $563,56 \text{ km}^2$ ile 1983 yılıdır. Delta alanı 1983 yılına kadar 1960-1990 yılları arasındaki genel ortalamanın altında kalırken 1983 yılından sonra ortalamanın üstünde bir genişleme göstermiştir (Şekil 43).



Şekil 43 Kızılırmak Deltasının yıllara göre alan değişimi (km^2) (1966-1990)

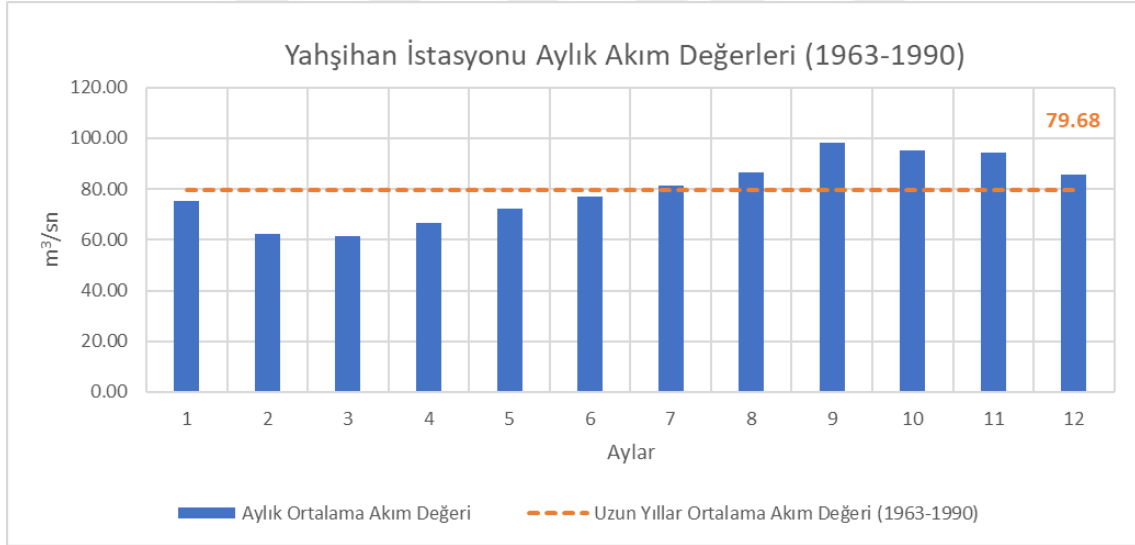
3.3.3. 1991-2020 Dönemindeki Kıyı Değişimi ve Gelişimi

Kızılırmak havzasının verilerinin değerlendirildiği 3. Dönem (1991-2020), Altinkaya (1988) ve Derbent (1990) barajlarının işletmeye alınma tarihleri ile sınırlandırılmıştır. Havzada asıl etkili olan Altinkaya Barajı olmasına rağmen hem konumları hem işletmeye alınma tarihlerinin çok yakın olması bu dönemi 1990 yılı ile sınırlamamıza sağlamıştır.

1987 yılında Altinkaya Barajı kurulduktan sonra havza içerisinde, 36 baraj, 76 gölet işletmeye alınmıştır. Bu barajlardan 36'sından 32'sinin, 76 göletten 71'inin hesaplanan toplam sediment hacim verilerine ulaşılmıştır (DSİ, 2021c). Bu dönemde kurulan baraj ve göletlerin rezervuar alanlarında hesaplanan toplam sediment miktarı, 32 baraj için $7.254,73 \text{ hm}^3$, göletler için $24,12 \text{ hm}^3$, toplamda ise $7.278,85 \text{ hm}^3$ olarak hesaplanmıştır.

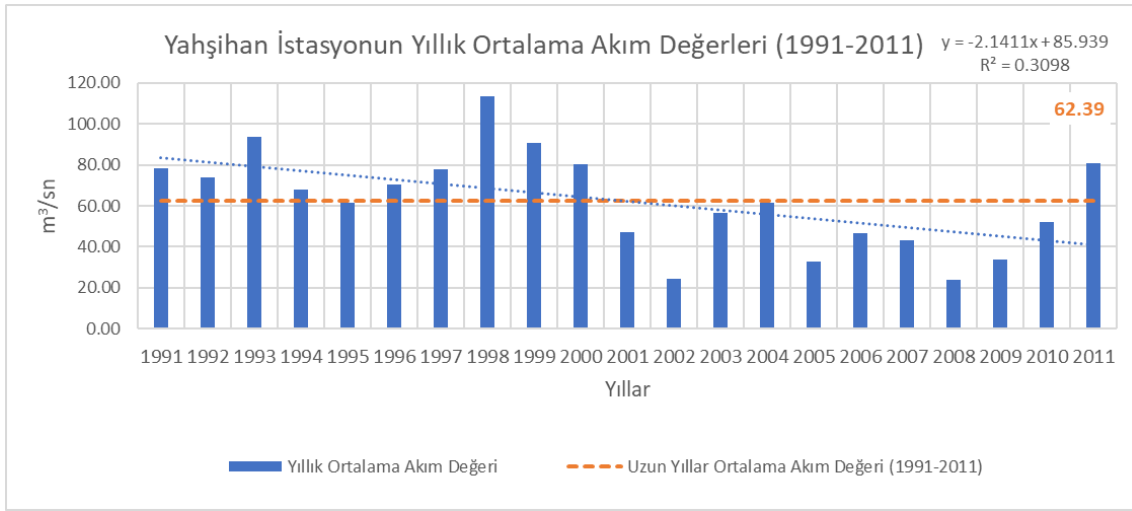
1960-2020 yılları arasında kurulan tüm baraj ve göletlerin rezervuar alanlarında toplam 11.623,31 hm³ sediment tuttuğu ve toplam tutulan sedimentin %62,62'sinin 1991-2020 yılları arasında kurulan baraj ve gölet rezervuar alanlarında gerçekleştiği görülmektedir (DSİ, 2021c).

Yahşihan Akım Gözlem İstasyonuna ait veriler 1991-2011 yıllarını kapsamaktadır. Bu döneme ait ortalama aylık akım değeri 79,68 m³/sn'dir. Aylık değerlere bakıldığında, kurak dönemler olan 6, 7, 8 ve 9. aylarda genel ortalamanın üstünde bir akım değeri olduğu görülmektedir. En yüksek akım değeri 89,48 m³/sn ile ağustos ayında, en düşük akım değeri ise 39,74 m³/sn ile nisan ayında gerçekleşmiştir (Şekil 44). Yahşihan Akım Gözlem İstasyonuna en yakın baraj Hirfanlı Barajıdır. Hirfanlı Barajı düzenli olarak su akış rejimini kontrol ettiği için akım değerlerinin düşmesi gereken yaz aylarında, akım değerleri ortalamanın üstünde görülmektedir (DSİ, 2021a) (Şekil 44).



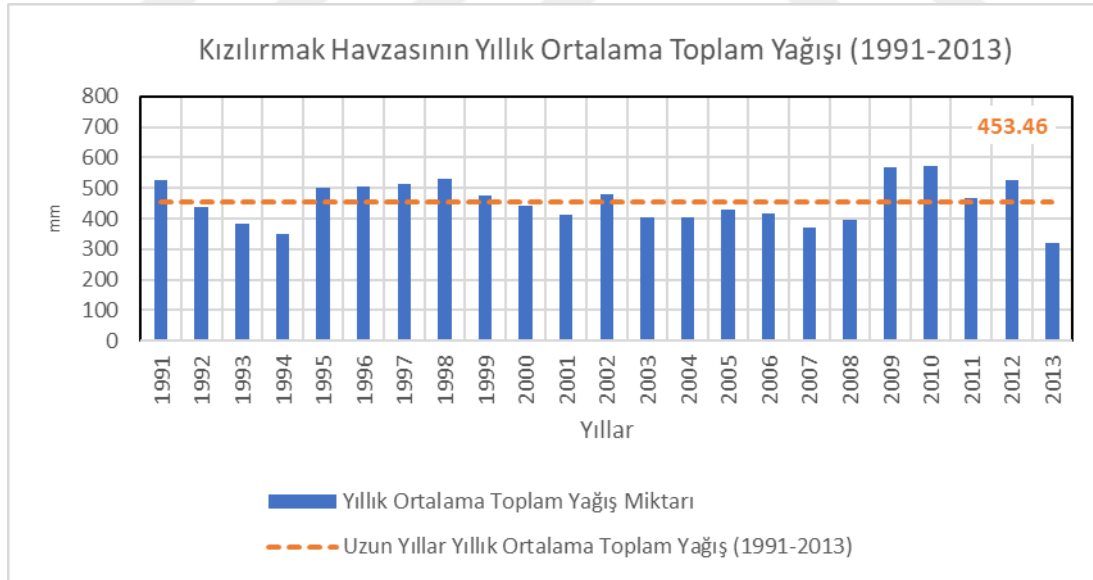
Şekil 44 Yahşihan Akım Gözlem İstasyonuna ait aylık ortalama akım değerleri (m³/sn) (1991-2011)

İstasyonun yıllara göre akım değerleri incelendiğinde, en yüksek akım 113,39 m³/sn ile 1998 yılında, en düşük akım ise 24,30 m³/sn ile 2002 yılında gerçekleşmiştir. 2000 yılına kadar genel ortalamanın üstünde bir akım değeri gözlenirken, 2000 yılından sonra ortalamanın altında bir akım değeri gerçekleşmiştir (DSİ, 2021a) (Şekil 45).



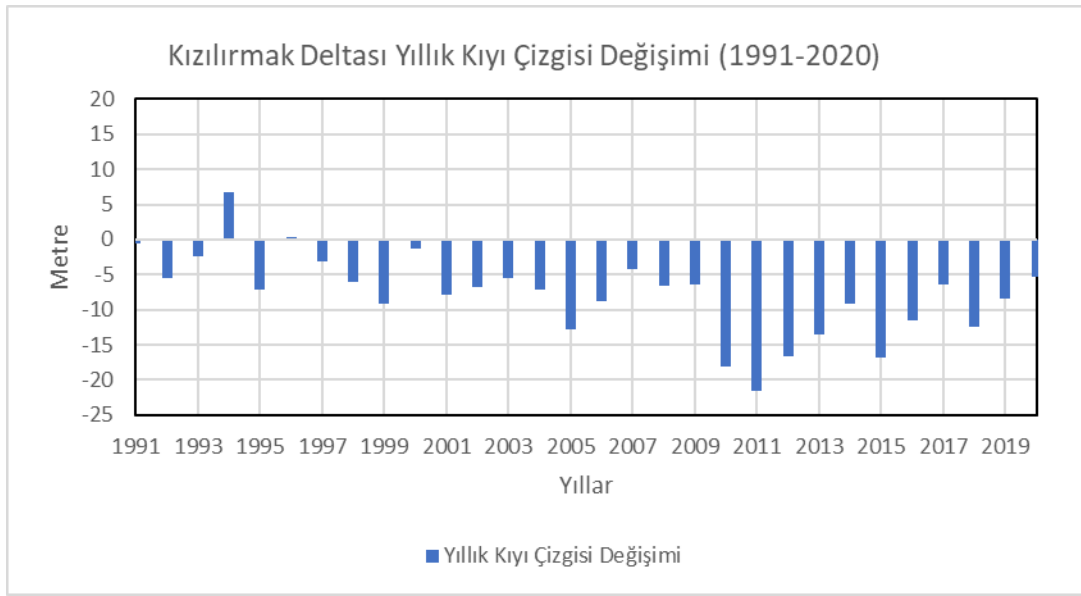
Şekil 45 Yahşihan Akım Gözlem İstasyonuna ait yıllık ortalama akım değerleri (m³/sn) (1991-2011)

Kızılırmak Havzasının, 1991-2013 yıllarına ait yağış grafiği incelendiğinde, toplam yağış ortalamasının 453,46 mm olduğu görülmektedir. Havza içerisindeki yağışın en düşük olduğu yıl 351,24 mm ile 1994, en fazla olduğu yıl ise 571,35 mm ile 2010 yılı olmuştur (Şekil 46). Yağış verisi incelendiğinde, ortalamadan aşırı bir sapma görülmemektedir (Karger vd., 2019).



Şekil 46 Kızılırmak Havzası yıllık toplam yağış ortalaması (mm) (1991-2013)

Kızılırmak deltasının kıyı çizgisinde gerçekleşen aşınım ve birikimin gerçekleştiği bölgelerin tümünün ortalama değerleri alınmıştır. Kızılırmak Deltasının kıyı çizgisinde yıllık ortalama 7,82 m’lik aşınım gerçekleşmiştir. Kıyı çizgisinin yıllık verileri incelendiğinde, en fazla birikim 6,66 m ile 1994 yılında, en fazla aşınım 21,56 m ile 2011 yılında gerçekleşmiştir. Şekil 47 incelendiğinde tek birikim olan yılın 1994 olduğu, 1994’ten sonra aşınımın hâkim olduğu ve 2009 yılından sonra aşınımın artarak devam ettiği görülmektedir.

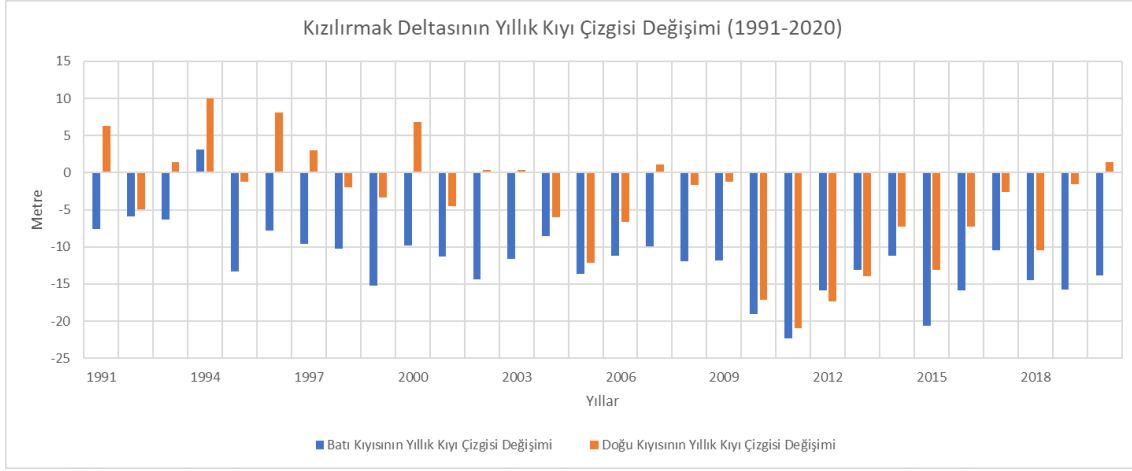


Şekil 47 Kızılırmak Deltasının ait kıyı çizgisi değişimi (m) (1991-2020)

Kızılırmak Deltası tüm olarak incelendiği gibi deltanın batı ve doğu kıyıları da ayrı ayrı incelenmiştir. Batı ve Doğu kıyısında gerçekleşen aşınım ve birikim süreçlerinin tümünün ortalaması alındığı gibi Batı ve Doğu kıyısında gerçekleşen aşınım ve birikim süreçlerinin en fazla olduğu bölgelerde tespit edilmiştir.

Deltanın Batı kıyısının tümü bu dönemde ortalama 11,98 m’lik, doğu kıyısında ise 3,89 m’lik aşınım gerçekleşmiştir. Batı kıyısının en fazla aşınım gösterdiği yıl 22,27 m ile 2011, en fazla birikim gösterdiği yıl ise 3,12 m ile 1994’tür. Deltanın doğu kıyısında ise en fazla aşınım gösterdiği yıl 20,89 m ile 2011 olurken, en fazla birikim gösterdiği yıl 10,04 m ile 1994’tür. Şekil 48 incelendiğinde, batı kıyısında sadece 1994 yılında birikim

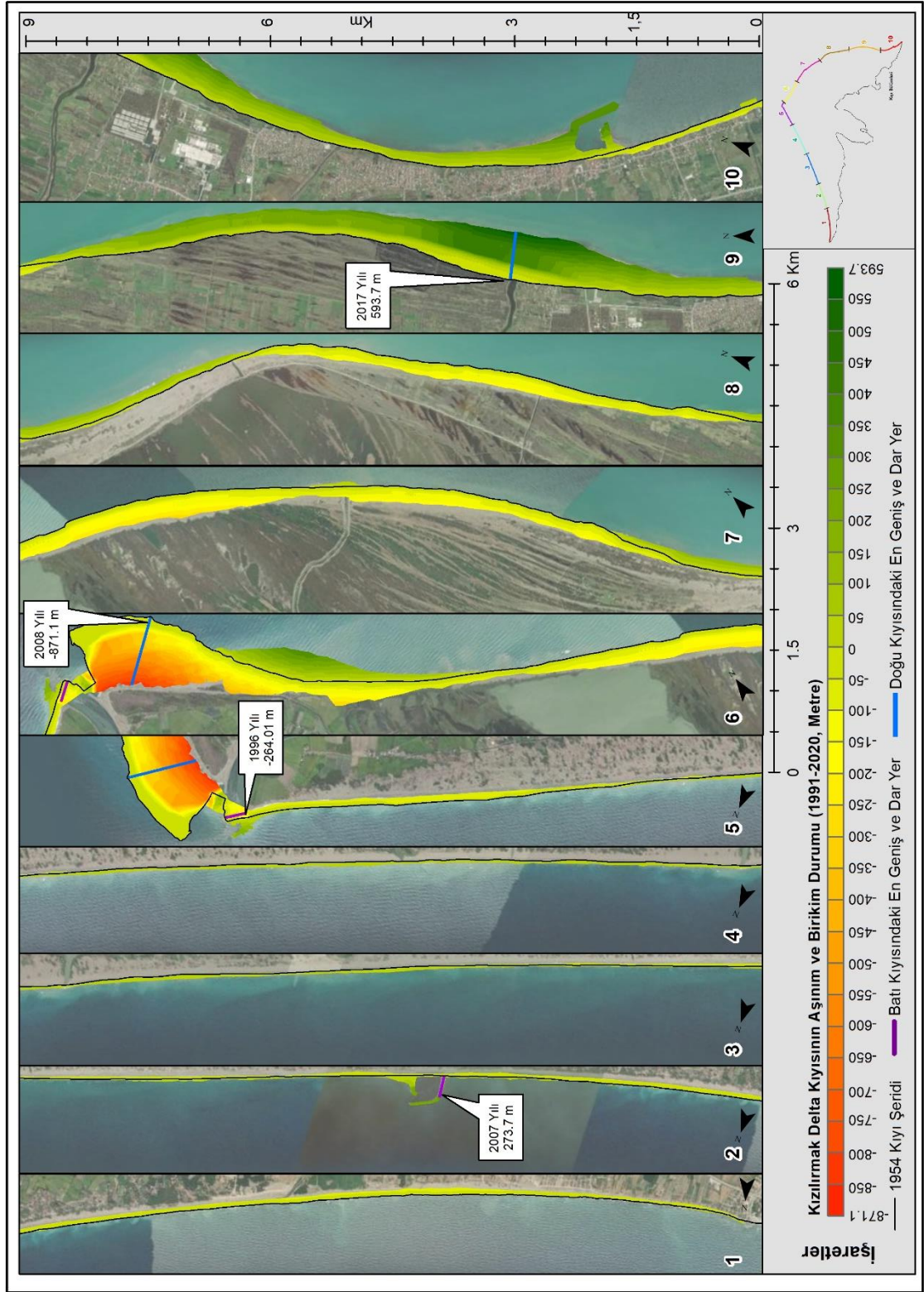
olduğu, doğu kıyısında ise 2000 yılından sonra nadiren birikim olduğu, bu dönem içerisinde, delta alanının genelinde aşınım süreçlerinin hakim olduğu görülmektedir.



Şekil 48 Deltanın batı ve doğu kesiminin yıllık ortalama kıyı çizgisi değişimi (m) (1991-2020)

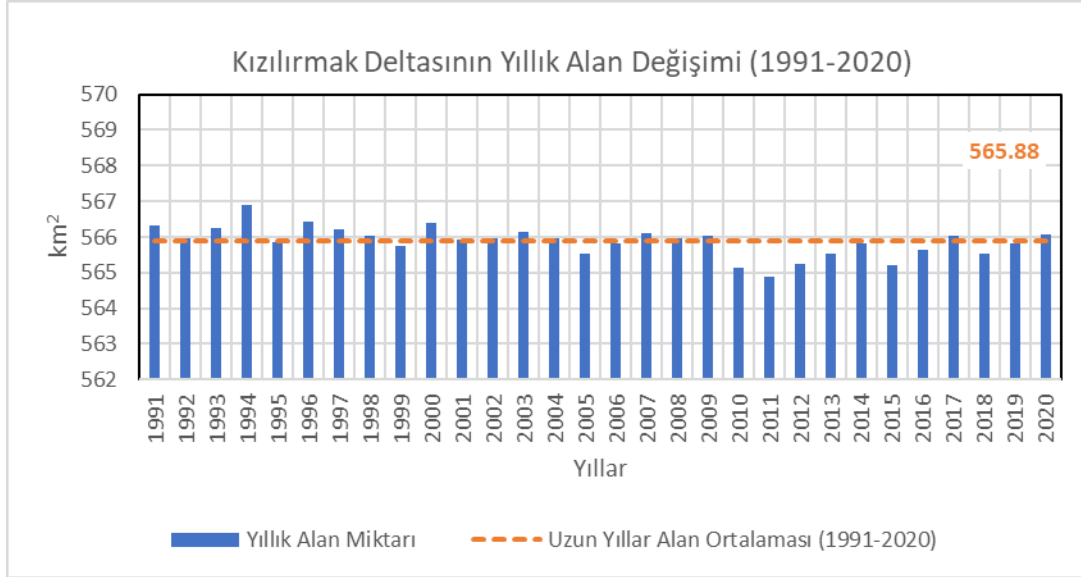
Kızılırmak Deltası'nda, Batı ve Doğu kıyılarında aşınım ve birikim süreçlerinin en az ve en fazla olduğu bölgelerde tespit edilmiştir.

Delta kıyı çizgisinde, batı kıyısı için en fazla aşınım 264,01 m ile 1996 yılında, en fazla birikim ise 273,67 m ile 2001 yılında gerçekleşmiştir. Deltanın doğu kıyısında ise en fazla aşınım 871,09 m ile 2008 yılında, en fazla birikim 593,7 m ile 2017 yılında gerçekleşmiştir (Şekil 49). Deltada, en fazla kıyı gerilemesinin yaşandığı saha burun kısmı, en fazla birikimin yaşandığı saha ise doğu kıyısının güney kesimleridir. Bu dönem içerisinde en fazla aşınım 2008 yılında 871,09 m olarak tespit edilmiştir.



Şekil 49 Kızılırmak Deltasının kıyı çizgisi değişim analiz (m) (1991-2020)

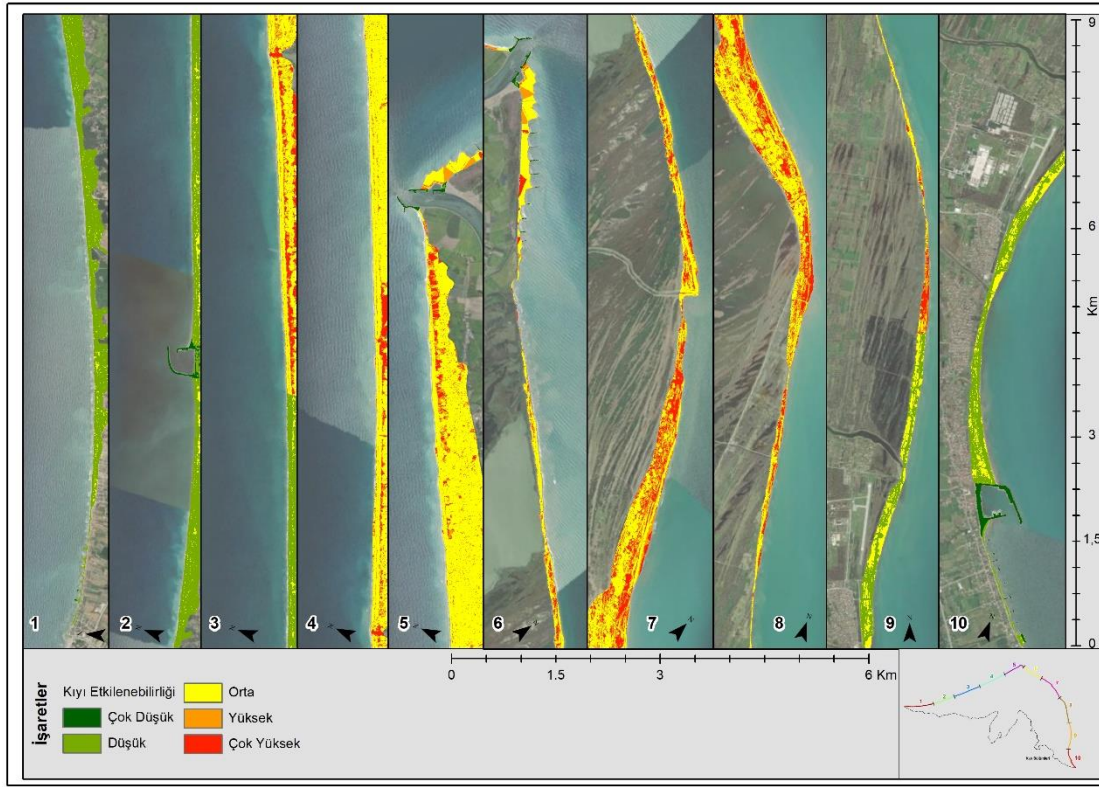
Kızılırmak Deltasının alansal değişimine incelendiğinde, deltaının 2005 yılına kadar alanı genişlediği, 2005 yılından sonra ise toprak kayıplarının yoğun olduğu görülmektedir. En fazla alan genişleme 566,91 km² ile 1994 yılında, en fazla toprak kaybı ise 564,89 km² ile 2011 yılında gerçekleşmiştir (Şekil 50). Deltada bu dönem 26,2 ha'lık alan kaybı söz konusudur.



Şekil 50 Kızılırmak Deltasının yıllık ortalama alansal değişimi (km²) (1991-2020)

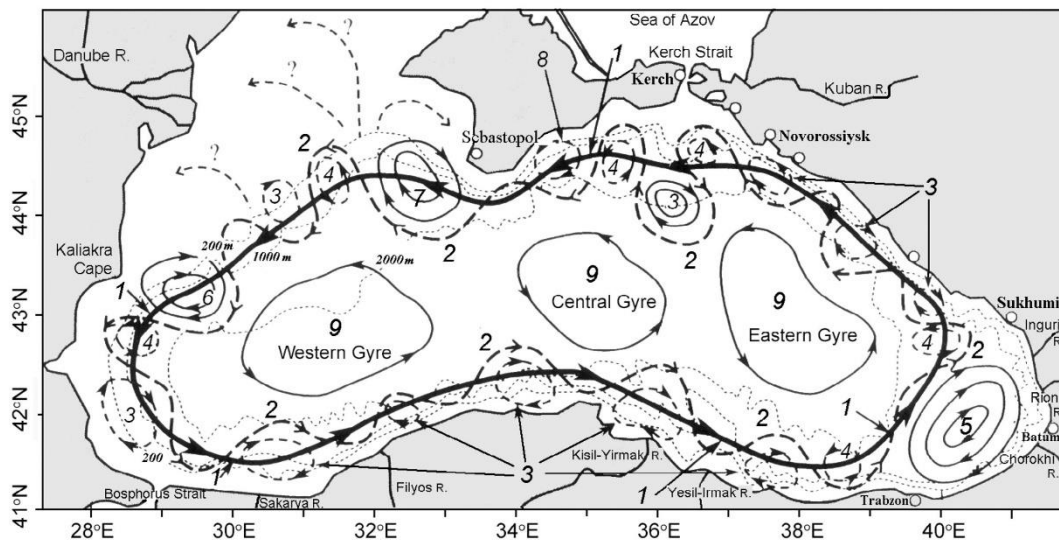
3.4. Kıyı Etkilenebilirliği İndeksi (Coastal Vulnerability Index, CVI)

Kızılırmak Deltası kıyı şeridinin etkilenebilirliğini tespit etmek için CVI yöntemi kullanılmıştır. CVI yöntemi, Kızılırmak Deltasının etkilenebilir kıyı alanlarının tespiti ve kıyı değişim alanlarının değerlendirilmesi bakımından oldukça yararlıdır. Deltaının batı kıyısının güney kesimleri düşük etkilenebilirlik seviyesine sahipken orta ve burun bölgeleri orta seviye ve yer yerde yüksek ve çok yüksek etkilenebilirliğe sahiptir. Kızılırmak Deltasının burun kesiminin doğu kıyısında, orta derecede etkilenebilirlik söz konusu iken doğu kıyısının orta kesimlerinde yüksek ve çok yüksek derecede etkilendiği görülmektedir. Doğu kıyısının güney kesimleri ise düşük etkilenebilirlik derecesine sahiptir (Şekil 51).



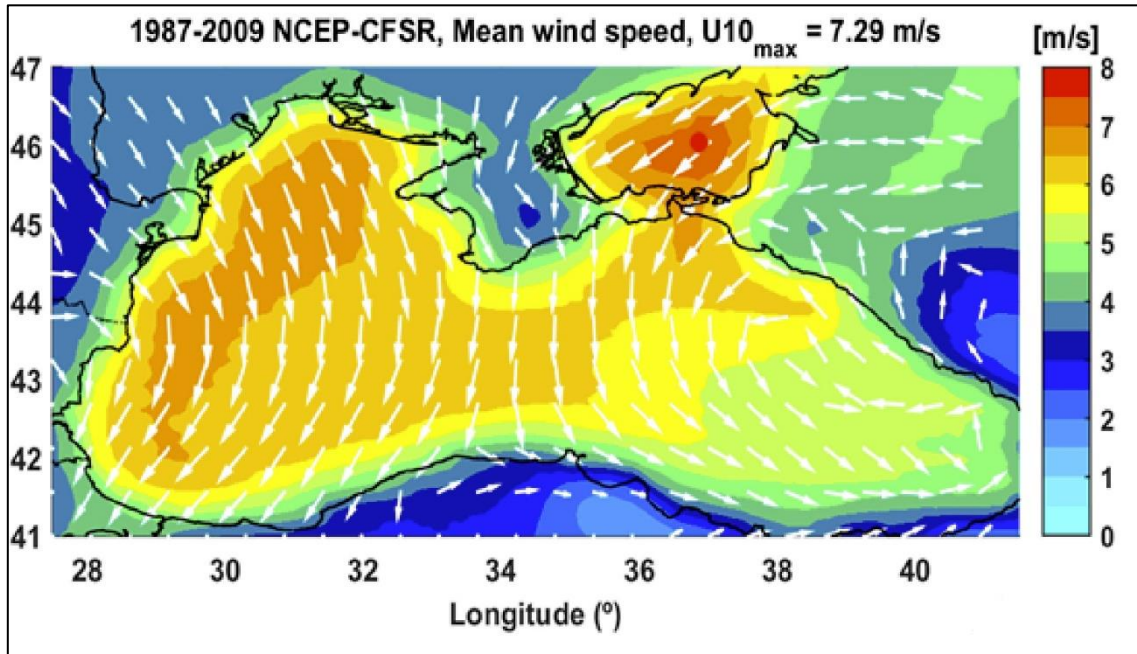
Şekil 51 Kızılırmak Deltasını kıyı etkilenebilirlik indeksi (CVI)

Kızılırmak Deltasının bulunduğu bölgede, kıyıyı etkileyen Sinop girdabı ve Kızılırmak girdabı olmak üzere iki adet antisiklonik kıyı deniz akıntısı bulunmaktadır. Kızılırmak girdabının yönü, saat yönünde deltasının doğusunu etkileyecek şekilde gerçekleşmektedir (Korotenko, 2016) (Şekil 52).



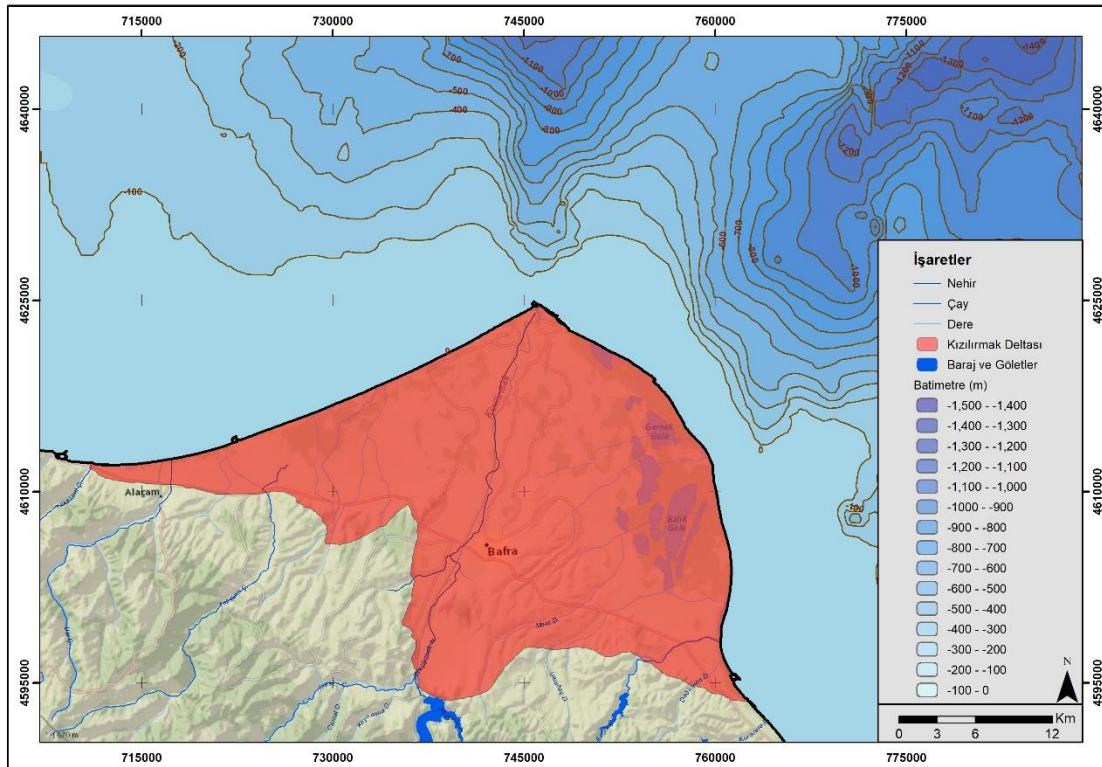
Şekil 52 Karadeniz kıyılarındaki yaz dönemine ait akıntı yönlerini gösterir harita. 1 - Siklonik kenar akıntısının ortalama konumu. 2 - Kenar akıntısı kıvrımları. 3- Antisiklonik kıyı girdapları. 4 - Siklonik girdaplar. 5-Batum antisiklonik girdabı. 6 - Kariakla antisiklonik girdabı. 7- Sivastopal antisiklonik girdabı. 8 - Kırım antisiklonik girdabı. 9 – Yarı-sabit siklonik girdaplar

Kızılırmak Deltasının bulunduğu alandaki hakim rüzgar yönün ve hızının tespiti için ABD Ulusal Çevresel Tahmin Merkezleri (U.S National Centers for Environmental Prediction - NCEP) merkezine ait 1987-2009 yıllarını kapsayan veri seti kullanılmıştır (Rusu vd., 2018). Deltayı etkileyen rüzgarların kuzeybatı-güneydoğu istikametinde etkili olduğu görülmektedir. Karadeniz içerisindeki yıllık ortalama rüzgar hızı 7,29 m/s, deltanın bulunduğu bölgede ise 2-3 m/s olarak tespit edilmiştir (Rusu vd., 2018)(Şekil 53).



Şekil 53 Karadeniz kıyılarına ait yıllık ortalama rüzgar yönü ve hızı (m/sn)

Karadeniz içerisindeki akıntıları etkileyen en önemli unsurlardan biri de deniz altındaki morfolojidir. Avrupa Deniz Gözlem ve Veri Ağı (The European Marine Observation and Data Network - EMOdet) sitesinden indirilen batimetrik verilerden deltanın bulunduğu bölgenin batimetri haritası oluşturulmuştur (EMODnet, 2000). Batimetri haritası incelendiğinde, şelfin (200 m'ye kadar derinlik) deltanın batı kıyısında geniş alan kapladığı, doğu kıyısında ve burun kısmında daraldığı görülmektedir. Deltanın ağız kısmında Kızılırmak Nehrinin aşındırıcı etkisiyle oluşmuş derin bir denizaltı vadisi olduğu görülmektedir (EMODnet, 2000)(Şekil 54).



3 dönem olarak incelediğimiz barajların etkisini kıyı çizgisi değişimlerinin yüzde olarak hesaplanmasıyla barajların, kıyı çizgisi değişimine olan etkisini daha iyi analiz edilmesini sağlamıştır.

Delta kıyı çizgisinin en fazla gerçekleşen aşınım durumu incelendiğinde, 1. dönemde gerçekleşen 338,49 m'lik aşınımın, 2. dönemde %78'lik bir artışla 603,30 m, 2. dönemde gerçekleşen 603,30 m'lik aşınım ise %44'lük bir artış göstererek 3. dönemde 871,10 m olarak gerçekleşmiştir. Kıyının en fazla gerçekleşen birikim durumu incelendiğinde, 1. dönemde gerçekleşen 334,62 m'lik birikimin, 2. dönemde %34'lük bir artış göstererek 451,42 m, 2. dönemde gerçekleşen 451,42 m'lik birikimin ise 3. dönemde %31'lik bir artış göstererek 593,70 m olarak gerçekleşmiştir (Tablo 24).

Batı kıyı çizgisinin en fazla gerçekleşen aşınım durumu incelendiğinde 1. dönemde gerçekleşen 41,01 m'lik aşınım, 2. dönemde %478'lik bir artış göstererek 237,1 m, 2. dönemde gerçekleşen 237,1 m'lik aşınım ise 3. dönemde %11'lik bir artış göstererek 264,01 m olarak gerçekleşmiştir. Batı kıyı çizgisinde en yüksek birikim değerleri incelendiğinde, 1. dönemde gerçekleşen 334,62 m'lik birikim, 2. dönemde %51'lik bir azalış göstererek 163,97 m, 2. dönemde gerçekleşen 163,97 m'lik birikim, 3. dönemde %66'lık bir artış göstererek 273,67 m olarak gerçekleşmiştir (Tablo 24).

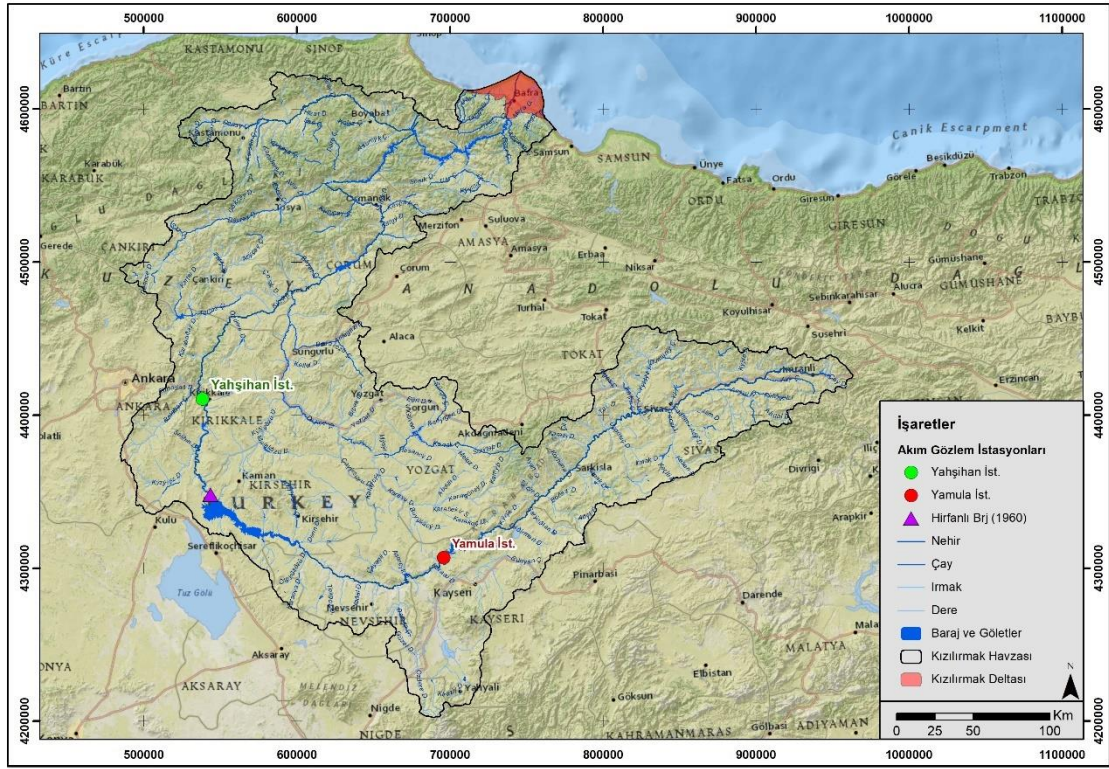
Doğu kıyı çizgisinin kıyı değişim en fazla aşınım değerleri incelendiğinde, 1. dönemde gerçekleşen 338,49 m'lik aşınım, %78'lik bir artış göstererek 2. dönemde 603,32 m, 2. dönemde gerçekleşen 603,32 m'lik aşınımın ise %44'lük bir artış göstererek 3. dönemde 871,09 m olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. Doğu kıyı çizgisindeki en yüksek birikim değerleri incelendiğinde; 1. dönemde gerçekleşen 273,87 m'lik birikimin %64'lük bir artış göstererek 2. dönemde 451,42 m, 2. dönemde gerçekleşen 451,42 m'lik birikimin ise 3. dönemde %31'lik bir artış göstererek 593,7 m olarak gerçekleştiği görülmektedir (Tablo 24). Doğu ve batı kıyısının genel ortalamaları incelendiğinde, batı

kıyısında 1. dönemde sonra aşınımın hakim olduğu, doğu kıyısında ise sürekli var olan aşınımın hızının düştüğü görülmektedir. Doğu kıyısındaki aşınım yavaşlamasında kıyı çizgisinde yer alan mahmuzları etkisi oldukça fazladır.

Dönemlere Göre Tüm Kıyı Çizgisinin En Yüksek Değerleri	Tarih	Tüm Kıyı Çizgisinin En Yüksek Aşınım Değeri (m)	Tarih	Tüm Kıyı Çizgisinin En Yüksek Birikim Değeri (m)	Tüm Kıyı Çizgisinin Genel Ortalaması (m)
1954-1962	1962	-338,49	1962	334,62	-10,18
1966-1990	1989	-603,30	1990	451,42	-9,45
1991-2020	2008	-871,10	2017	593,70	-7,82
Dönemlere Göre Batı Kıyı Çizgisinin En Yüksek Değerleri	Tarih	Batı Kıyısı Çizgisinin En Yüksek Aşınım Değeri (m)	Tarih	Batı Kıyısı Çizgisinin En Yüksek Birikim Değeri (m)	Batı Kıyısı Çizgisinin Genel Ortalaması (m)
1954-1962	1962	-41,01	1962	334,63	4,06
1966-1990	1990	-237,10	1981	163,97	-2,91
1991-2020	1996	-264,01	2011	273,67	-11,98
Dönemlere Göre Doğu Kıyı Çizgisinin En Yüksek Değerleri	Tarih	Doğu Kıyısı Çizgisinin En Yüksek Aşınım Değeri (m)	Tarih	Doğu Kıyısı Çizgisinin En Yüksek Birikim Değeri (m)	Batı Kıyısı Çizgisinin Genel Ortalaması (m)
1954-1962	1962	-338,49	1962	273,87	-23,74
1966-1990	1989	-603,32	1990	451,42	-15,75
1991-2020	2008	-871,09	2017	593,70	-3,88
1. Dönem: 1664-1960, 2.Dönem:1961-1990, 3. Dönem:1991-2020					

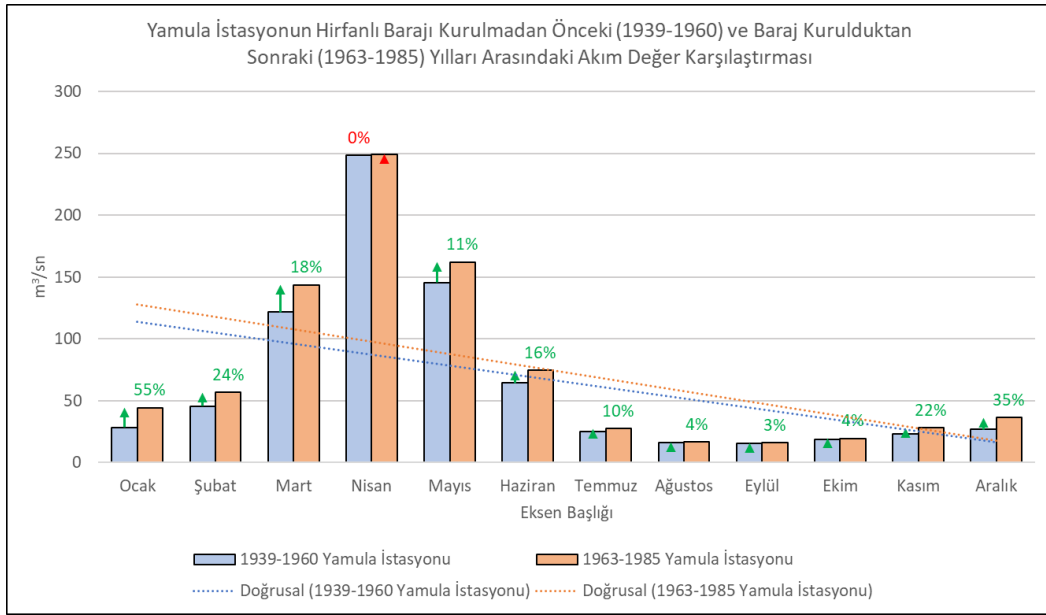
Tablo 24 Dönemlere ait aşınım ve birikim değerlerini gösteren tablo.

Akım değerleri, akarsuların taşıyabileceği sediment miktarını belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Akarsular üzerine kurulan barajlar ve göletler, mevsimlerle uyumlu olan akarsu akım rejimini değiştirdiği gibi baraj ve gölet rezervuarlarında sedimentin çökmesine ve kıyının sediment besleniminin engellemesine neden olmaktadır. Hirfanlı Barajı 2.044,7 hm³ ile Kızılırmak Havzası içerisinde aktif göl hacmi en büyük barajdır (DSİ, 2021c). Hirfanlı Barajının akım değerleri üzerindeki etkilerini görmek için akış doğrultusunda Hirfanlı Barajının öncesinde yer alan Yamula Akım Gözlem İstasyonu ile sonrasında yer alan Yahşihan Akım Gözlem İstasyonu verileri kullanılarak Hirfanlı Barajının etkisi değerlendirilmiştir (Şekil 55). Yamula ve Yahşihan istasyonlarına ait akım gözlem verileri Hirfanlı Barajının kuruluşu temel alınarak 22 yıl öncesi (1939-1960, 1. dönem) ve 22 yıl sonrası (1963-1985, 2. dönem) sonrası olmak olacak şekilde değerlendirilmiştir. 1960 yılı sonrası dönem için Yahşihan Akım Gözlem İstasyonunda, 1961-1962 ve 1970 yıllarına ait veriler bulunmadığı için her iki gözlem istasyonundan bu yıllara ait akım gözlem değerleri çıkarılmıştır.



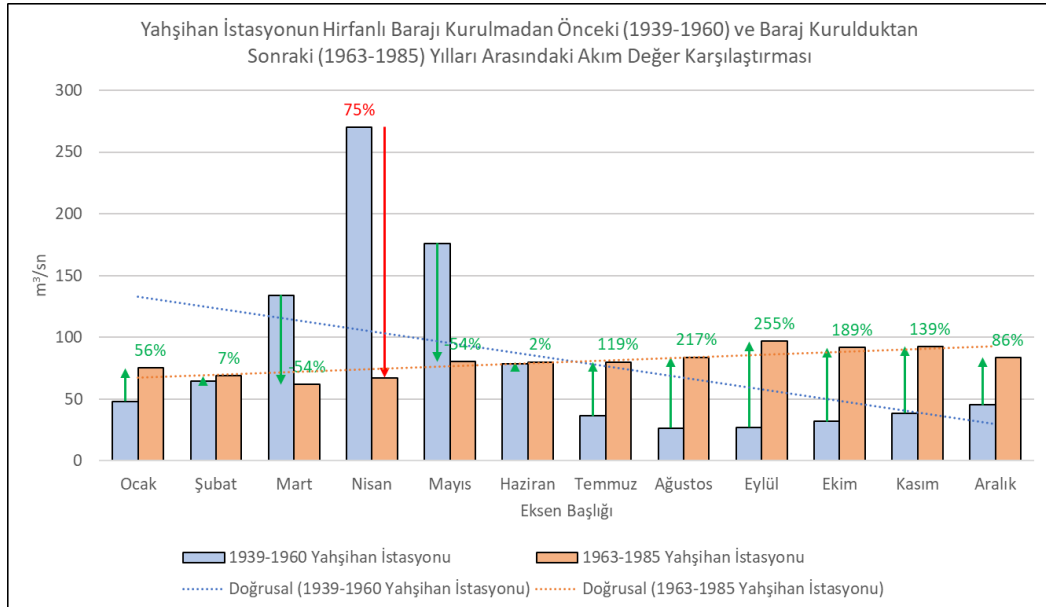
Şekil 55 Kızılırmak Deltasında barajların etkisini göstermek için seçilen akım gözlem istasyonları

Hırfanlı Barajından yukarıda kurulan, Yamula Akım Gözlem İstasyonunun aylık ortalama akım verileri incelendiğinde, 1939-1960 (1. dönem) ve 1960-1985 (2. dönem) yılları arasında akım rejiminin birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Her iki döneme ait akım verilerinde, en yüksek akım nisan ayında gözlemlenirken, en düşük akım ağustos ayında gözlenmiştir. Dönemler arasında en fazla fark %55 ile ocak ayında gerçekleşmiştir. Dönemler arasında diğer aylarda yüksek bir fark tespit edilmemiştir (Şekil 56) (DSİ, 2021c).



Şekil 56 Yamula Akım Gözlem İstasyonunun 1. ve 2. dönemlere ait akım değerleri (m³/sn)

Hirfanlı Barajının aşağı kısmında kurulan Yahşihan akım gözlem istasyonunda, dönemler arasındaki akım verilerinde ciddi farklar bulunmaktadır. Özellikle Hirfanlı Barajı kurulduktan sonra (2. dönem) akım değerlerinin düzenli olduğu görülmektedir (Şekil 57)(DSİ, 2021c). Hirfanlı Barajı, Kızılırmak Nehrinin akım rejimini düzenlediği için akım değerleri, mevsimsel değerlerle uyumunu kaybetmiştir (Şekil 57).



Şekil 57 Yahşihan Akım Gözlem İstasyonunun 1. ve 2. dönemlere ait akım değerleri (m³/sn)

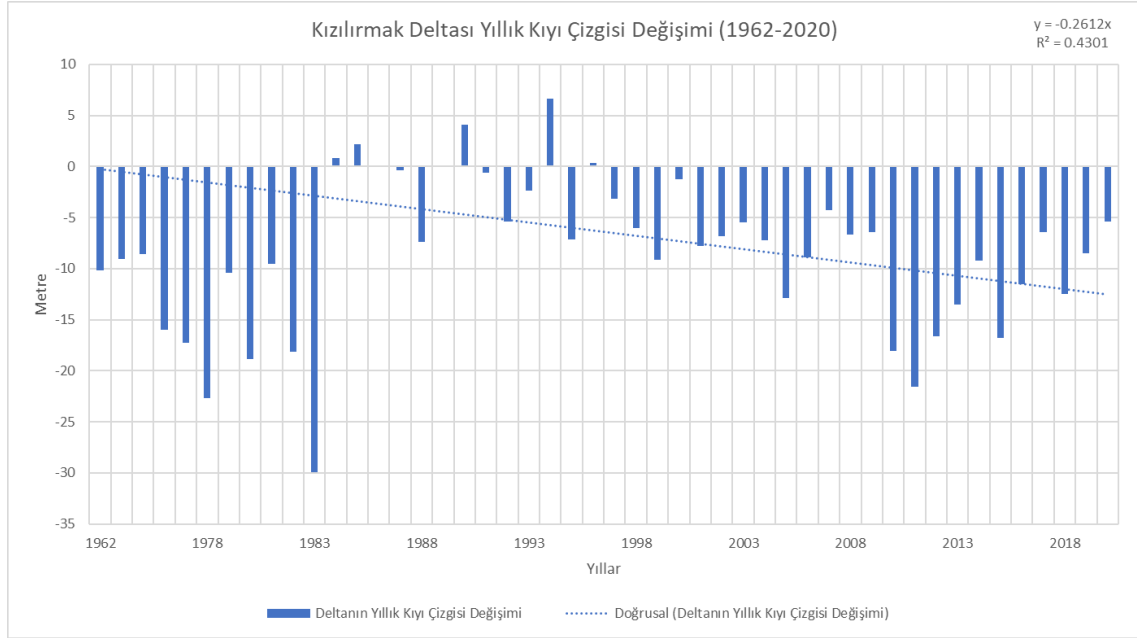
4. TARTIŞMA

Bu çalışmada; Kızılırmak Deltası kıyı çizgisi değişimi geniş bir bakış açısı ile ele alınmış ve bu değişimi etkileyen insan kaynaklı faktörlerden biri olan barajların etkisi incelenmiştir. Kızılırmak havzası içinde yer alan Altınkaya ve Hirfanlı barajlarının kıyı çizgisine etkisi araştırılmış ve yapılan analizlerin sonuçları paylaşılmıştır.

Bu çalışmada 3 temel analiz bulunmaktadır: DSAS analizi ile kıyı çizgisindeki mevcut değişim, EPM analizi ile kıyı değişimini etkileyen karasal etkenin derecesi ve CVI yöntemi ile kıyıyı etkileyen denizel etki incelenmiştir. Bu analizlerle kıyı çizgisi değişimini hem mevcut durum hem karasal hem de denizel etki açısından analiz ederek geniş bir bakış açısı ortaya konmuştur. Bu analizler, barajların etkisini daha iyi anlayabilmek için barajların işletme tarihlerini, erozyon hacimlerini, gerçek sediment iletim miktarlarını ve rezervuar alanında biriken toplam sediment hacimlerini dikkate alarak belirlenen baraj havzalarını değerlendirilmiştir. Altınkaya ve Hirfanlı barajlarının etkisi 3 farklı dönemde incelenmiştir. Bu üç dönemde kıyı çizgisinin tümü incelendiği gibi Doğu ve Batı kıyıları ayrıca incelenmiştir.

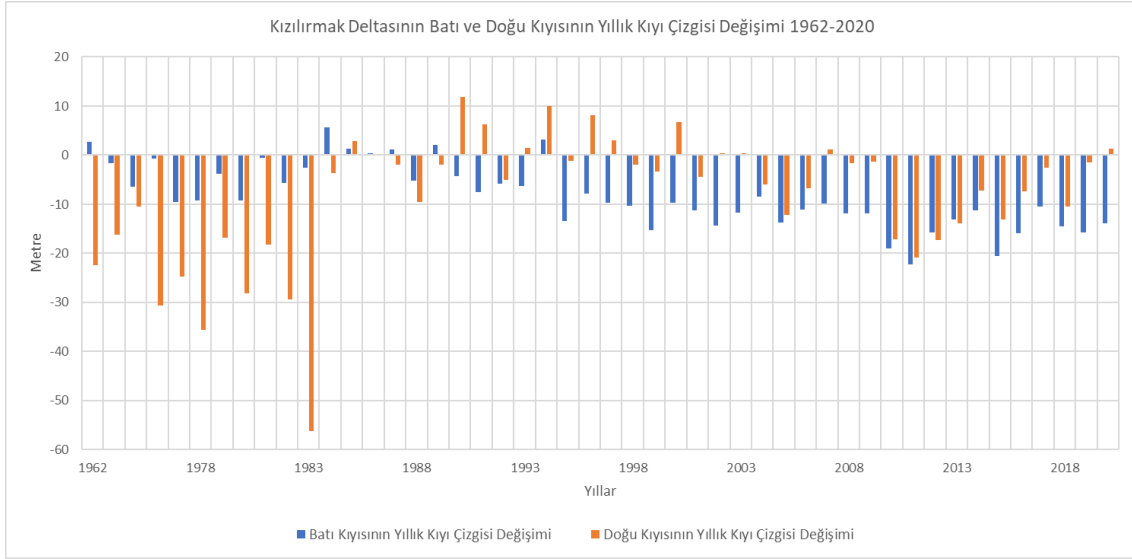
Barajların etkisini incelediğimiz 1. Dönemde, barajlar kurulmadan önceki haritalar değerlendirildiğinde, Kızılırmak Deltasının kıyı çizgisinin aşınım ve birikim süreçlerinin çok hızlı değişen ve dinamik bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. 1816 yılında deltanın burun kısmında akarsuyun iki kola ayrılması, 1829 yılında bu durumun devam etmesi, 1846 yılında doğu kıyısında göl alanının oluşması, 1853 yılında doğu kıyısında bir lagün oluşumu ve 1875 yılında bu lagün alanının karalaşması ile göl alanının oluşması gibi aşınım ve birikim süreçleri takip edildiğinde, delta kıyısının birikim süreci içerisinde olduğu, fakat barajlar kurulmadan önceki 1. döneme ait az sayıdaki sayısal verilerden yapılan kıyı analizi ile bu sürecin bittiği ya da sonuna yaklaşıldığı anlaşılmaktadır. Kızılırmak Deltasındaki tüm kıyı çizgisinin ortalaması değerlendirildiğinde 1. dönemde kıyı ortalaması, 10,18 m'lik aşınım %34 azalarak, 2. dönemde 9,45 m'lik aşınım, 2.

dönemde gerçekleşen 9,45 m’lik aşınım ise %32 azalarak 3. dönemde 7,82 m’lik bir aşınım gerçekleşmiştir. Bu durum, dönemler arasında kıyı çizgisindeki gerilemenin azalmış olsa da devam ettiğini göstermektedir (Şekil 58). Deltanın tüm kıyı çizgisi yıllık ortalama 0,2 m gerilediği tespit edilmiştir.



Şekil 58 Kızılırmak Deltasının yıllık kıyı çizgisi değişimi (m) (1962-2020)

Kızılırmak Deltasının Doğu ve Batı kıyı çizgisindeki değişimler farklı etkilenme derecelerine sahiptir. Doğu ve Batı kıyısının ortalamaları incelendiğinde, Batı kıyısı, 1. dönemde ortalama 4,06 m’lik birikim %171 azalarak 2. dönemde 2,91 m’lik aşınım; 2. dönemde gerçekleşen 2,91m’lik aşınım ise %311 daha azalarak 3. dönemde 11,98 m’lik bir aşınım gerçekleşmiştir. Doğu kıyısı 1. dönemde ortalama 23,74 m’lik aşınım %33 azalarak 2. dönemde 15,75 m’lik aşınım; 2. dönemde gerçekleşen 15,75 m’lik aşınım, %75 azalarak 3. dönemde 3,88 m’lik bir aşınım söz konusudur (Tablo 25, Şekil 58). Bu değerler Batı kıyısında 1. dönemde birikimin, 2. dönemde aşınım etkili olduğunu, 3. dönemde ise aşınımın artarak devam ettiğini göstermektedir. Delta kıyısının ortalama değerleri dikkate alındığında Altinkaya Barajı kurulduktan sonra kıyı çizgisinin daha fazla aşınımına uğradığı görülmektedir (DSİ, 2021c) (Tablo 25, Şekil 58).



Şekil 59 Kızılırmak Deltasının batı ve doğu yıllık kıyı çizgisi değişim (m) (1962-2020)

Doğu ve batı kıyısının dönemlik ortalamalarının yanı sıra en fazla aşınım ve birikim olan bölgeleri de incelenmiştir (Tablo 25). Buna göre batı kıyısının en fazla aşınım gösterdiği bölgeler incelendiğinde, 1. dönemde 41,04 m’lik aşınım %478’lik artışla, 2. dönemde 237,1 m’ye çıkmıştır. 2.dönemde gerçekleşen 237,1 m’lik aşınım ise %11’lik artışla 3. dönemde 264,01 m olarak gerçekleşmiştir (Tablo 25, Şekil 59). Batı kıyısının en fazla birikim gösteren bölgeleri incelendiğinde ise 1. dönemde 334,63 m’lik birikim %51 oranında azalarak, 2. dönemde 163,97 m’ye gerilemiştir. 2. dönemde gerçekleşen 163,97 m’lik birikim ise 3. dönemde %66 oranında artarak 273,67 m olarak gerçekleşmiştir (Tablo 25, Şekil 59).

Buna göre doğu kıyısının en fazla aşınım ve birikim gösterdiği bölgeler incelendiğinde, 1. dönemde 338,49 m’lik aşınım %78’lik artışla, 2. dönemde 603,32 m’ye çıkmıştır. 2.dönemde gerçekleşen 603,32 m’lik aşınım ise %44’lük artışla 3. dönemde 871,09 m olarak gerçekleşmiştir (Tablo 25, Şekil 59). Buna göre doğu kıyısının en fazla birikim gösterdiği bölgeler incelendiğinde, 1. dönemde 273,87 m’lik birikim %64’lük artışla, 2. dönemde 451,42 m’ye çıkmıştır. 2.dönemde gerçekleşen 451,42 m’lik aşınım ise %31’lik artışla 3. dönemde 593,7 m olarak gerçekleşmiştir (Tablo 25, Şekil 59).

Batı kıyısının en fazla aşınım ve birikim değerleri dönemlik incelendiğinde (Tablo 25), birikim süreçlerinin aşınım süreçlerine dönüştüğü görülmektedir. 2. dönemde dikkat çekecek şekilde aşınımın arttığı, birikimin azaldığı görülmektedir. 3. dönemde ise değerleri incelendiğinde ise hem aşınımın hem de birikimin arttığı görülmektedir. Bu durum batı kıyısının aşınım ve birikim süreçleri üzerinde Hirfanlı Barajının bariz bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Doğu kıyısının en fazla aşınım ve birikim değerleri dönemlik incelendiğinde (Tablo 25), Aşınım değerlerinin düzenli olarak azaldığı görülmekte olup, bunda doğu kıyısına yerleştirilen mahmuzlarında etkisi göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Altinkaya Barajı kurulduktan sonraki değerler incelendiğinde ise aşınımın ve birikimin, Hirfanlı Barajı kurulduktan sonraki döneme göre daha az olduğu görülmektedir. Bu durum doğu kıyısının aşınım ve birikim süreçleri üzerinde Hirfanlı Barajının bariz bir etkisi olduğu göstermektedir (Tablo 25, Şekil 59).

Sayısal Kıyı Çizgisi verilerinin Dönemlere Göre Bölünmesi	Tarih	Tüm Kıyı Çizgisinin En Yüksek Aşınım Değeri (m)	Değişim (%)	Tarih	Tüm Kıyı Çizgisinin En Yüksek Birikim Değeri (m)	Değişim (%)	Tüm Kıyı Çizgisinin Genel Ortalaması (m)
1954-1962	1962	-338.49	-	1962	334.62	-	-10.18
1966-1990	1989	-603.30	-78	1990	451.42	35	-9.45
1991-2020	2008	-871.10	-44	2017	593.70	32	-7.82
	Tarih	Batı Kıyısı Çizgisinin En Yüksek Aşınım Değeri (m)		Tarih	Batı Kıyısı Çizgisinin En Yüksek Birikim Değeri (m)		Batı Kıyısı Çizgisinin Genel Ortalaması (m)
1954-1962	1962	-41.01	-	1962	334.63	-	4.06
1966-1990	1990	-237.10	-478	1981	163.97	-51	-2.91
1991-2020	1996	-264.01	-11	2011	273.67	67	-11.98
	Tarih	Doğu Kıyısı Çizgisinin En Yüksek Aşınım Değeri (m)		Tarih	Doğu Kıyısı Çizgisinin En Yüksek Birikim Değeri (m)		Batı Kıyısı Çizgisinin Genel Ortalaması (m)
1954-1962	1962	-338.49	-	1962	273.9	-	-23.74
1966-1990	1989	-603.32	-78	1990	451.4	65	-15.75
1991-2020	2008	-871.09	-44	2017	593.7	32	-3.88

Tablo 25 Doğu ve Batı kıyısının dönemlere göre en fazla aşınım ve birikim değerleri

Deltaya ulaşan sediment iletim miktarına incelendiğinde, Altinkaya Baraj Havzası 61,03 hm³/yıl, Hirfanlı Barajı 41,39 hm³/yıl sediment iletmektedir. Bu durum, deltaya en yakınlardan biri olan Altinkaya Baraj Havzasının en fazla sediment ileten baraj havzası olduğunu göstermektedir. Aynı analizi baraj havzası temel alınarak, havzanın çıkış kısmına iletilen sediment miktarı olarak da tekrar uygulanmıştır. Buna göre Altinkaya Baraj Havzası, havzasının ağız kısmına 68,36 hm³/yıl'lık sediment iletirken, Hirfanlı Baraj Havzası 81,12 hm³/yıl'lık sediment iletmektedir. Bu durum, havzanın tamamı

dikkate alındığında, bu iki havzadan en fazla erozyon hacmine sahip havzanın Altınkaya Baraj Havzası olmasına rağmen Hirfanlı Baraj Havzasının en fazla sediment iletim miktarına sahip olması, Hirfanlı Baraj Havzasının delta alanına olan mesafesinden kaynaklanmaktadır (Tablo 23-26). Fakat baraj havzası temel alınarak yapılan analizde, Hirfanlı Baraj Havzasının (81,12 hm³/yıl) sediment iletim miktarının, Altınkaya Baraj Havzasından (68,36 hm³/yıl) daha fazla olduğu görülmektedir.

Havza Adı	Deltaya Ulaşan Sediment Miktarı			Havza Ağızına Ulaşan Sediment Miktarı		
	Yıllık Ortalama Gerçek Sediment İletimi (Gy) (m ³ /ha/yıl)	Yıllık Toplam Gerçek Sediment İletimi (Gy) (hm ³ /yıl)	Yıllık Toplam Gerçek Sediment İletimi (Gy) (%)	Yıllık Ortalama Gerçek Sediment İletimi (Gy) (m ³ /ha/yıl)	Yıllık Toplam Gerçek Sediment İletimi (Gy) (hm ³ /yıl)	Yıllık Toplam Gerçek Sediment İletimi (Gy) (%)
Altınkaya Brj. Havz.	12.85	61.03	57.03	14.39	68.36	2.87
Derbent Brj. Havz.	13.97	0.89	0.83	294.51	18.91	6.98
Germeçtepe Brj. Havz.	6.63	0.06	0.06	30.75	0.27	0.43
Hirfanlı Brj. Havz.	14.4	41.39	38.67	28.22	81.12	74.73
Delta Alanı	19.35	3.24	3.02	118.44	19.84	13.37
Kesikköprü Brj. Havz.	10.55	0.27	0.25	39.65	0.99	1.02
Karaçomak Brj. Havz.	7.11	0.13	0.12	28.44	0.52	0.6

Tablo 26 Kızılırmak Havzasının ve baraj havzalarının sediment iletim miktarları

Akım değerleri üzerinde barajların etkisini göstermek için Hirfanlı Barajı temel alınmıştır. Hirfanlı Barajının etkisini inceleyebilmek için akım gözlem istasyonlarından Yahşihan ve Yamula akım gözlem istasyonları verileri kullanılmıştır (Şekil 56-57). Akım gözlem istasyonlarının verileri incelendiğinde Yahşihan Akım Gözlem İstasyonunun akım değerlerinde Hirfanlı Barajından önce ve baraj kurulduktan sonraki akım değerlerinde %255'lere varan farklılıklar görülmüştür (Şekil 56) (DSİ, 2021c). Bu farkın sebebi mevsimsel şartlardan bağımsız olarak kurak veya yağışlı dönemlerde Hirfanlı Barajından tüm yıl boyunca belli akım değerlerinde su bırakılmasıdır. Böylelikle kurak geçen yaz aylarında, aylık ortalama akım değerlerinin 26-36 m³/sn olması gerekirken (Şekil 56-57) Hirfanlı Barajından düzenli olarak su bırakılması nedeniyle bu değer 79-83 m³/sn'ye çıkmaktadır. Kızılırmak Nehri, Hirfanlı Barajı nedeniyle kurak geçen aylarda akım değerlerinin düzenli olmasına rağmen, akarsuyun bünyesinde bulunması gereken

sedimentin baraj rezervuar alanlarında çökmesinden dolayı taşınması gereken sedimentten yoksun bir şekilde akışa devam etmektedir.

CVI analizi ile Kızılırmak Deltasının etkilenebilir alanları ortaya konmuştur. Batı kıyısının etkilenebilirlik durumu incelendiğinde, deltanın burun bölgesi orta ve yüksek değerlere sahipken güney bölgesi düşük değerlere sahiptir (Şekil 51). Akıntı, rüzgar yönü ve batimetri özellikleri incelendiğinde, akıntının deltanın doğusundan batısına doğru, rüzgar yönünün ise kuzeybatı-güneydoğu yönlü olduğu ve şelf alanında batıda daha geniş yer kapladığı görülmektedir (Şekil 52-53). Bu durum, batı kıyısının, şelf alanı geniş olmasına rağmen aşınım kuvvetlerinin etkisi altında olduğunu göstermektedir.

Doğu kıyısının etkilenebilirlik durumu incelendiğinde, burun bölgesinin orta ve yüksek derecede etkilenebilir olduğu görülmektedir (Şekil 51). Doğu kıyısının özellikle orta kesiminin etkilenebilirlik derecesi çok yüksek çıkarken güney kesimlerinin düşük olduğu belirlenmiştir. Burun kısmı ise batı kıyısına göre daha az etkilenebilir gözükmektedir. 1999-2002 yılları arasında doğu kıyısına yerleştirilen mahmuzlar, gerilemeyi yavaşlatarak kıyı etkilenebilirliğini azaltmıştır. Doğu kıyısında akıntı (doğu-batı) ve rüzgar yönü (kuzeybatı-güneydoğu), kıyının birikim yapmasına elverişli iken kıta sahanlığının dar olması aşınım ve birikim süreçlerinin dinamik bir yapıda olmasını neden olmaktadır.

Yazar	Yıl	Kullanılan Materyal	Kullanılan Yöntem	Ortalama Geri Çekilme	En Fazla Aşınım ve Toprak Kaybı Miktarları	Açıklama
(Kuleli, 2010)	1989 1999 2009	Landsat TM uydu görüntüsü	DSAS	Ortalama 16,10 m/yıl aşınım var.	660 m aşınım var.	Altınkaya Barajı
(Ataol vd., 2019)	1951 1975 1990 2004 2017	Hava Fotoğrafları, topografik harita, QuickBird uydu görüntüsü	DSAS	Ortalama aşınım 6,82 m	En fazla aşınım 725,36 m, En fazla birikim 384,84 m	Altınkaya ve Derbent barajları
(Kökpınar vd., 2000)	1990 2000	DSİ VII. bölge Müdürlüğünün Çalışması Alıntılanmış	-		1.000 m aşınım vardır	Altınkaya ve Derbent barajları
(Öztürk ve Sesli, 2015b)	1962 1974 1987 2013	Landsat-MSS/TM/OLI uydu görüntüleri ve 1/100.000 topografik harita kullanılmıştır.	DSAS	Ortalama aşınım 26 m	En fazla aşınım 871,09 m, en fazla birikim 476 m	Radiometrik düzeltme yapılmış
(Zeybek vd., 2018)	2017 2018	Google Earth Pro görüntüleri	Bruun	Toplamda 50-60 m'lik aşınım var.	3,64 km ² 'lik Alan Kaybı söz konusudur	Altınkaya ve Derbent barajları ve deniz seviyesi artışı
(Öztürk vd., 2015)	1987 1998 2002 2007 2011	Landsat TM-5 uydu görüntüleri	DSAS	Ortalama 29,7 m/yıl aşınım var	665,6 m aşınım var. 169 ha Alan kaybedilmiştir.	Altınkaya ve Derbent barajları

Tablo 27 Kızılırmak Deltasında yapılan çalışmalar

Yapılan çalışmalarda, deltadaki kıyı çizgisi gerilemesinin ana nedeni, Altınkaya ve Derbent barajlarının sediment tutarak, sedimentin kıyıya ulaşmasının engellemesi olarak belirtilmektedir (Ataol vd., 2019; Beyazıt, 2014; Kökpınar vd., 2000; Kuleli, 2010; Öztürk vd., 2015; Öztürk ve Sesli, 2015b; Zeybek vd., 2018) (Tablo 27). Altınkaya ve Derbent barajlarının kıyıya en yakın su yapılarının olması, kıyı çizgisini en fazla etkileyen barajlar olduğu düşüncesini desteklemektedir. Fakat kıyıya en yakın baraj olan Derbent barajı 164 hm³ sediment tutarken, Hirfanlı Barajı 4.200 hm³ sediment tutmaktadır. Bu da

analiz yaparken, havza içerisinde yer alan diğer büyük hacimli baraj rezervuar yapılarının göz ardı edilmemesi gerektiğini göstermektedir.

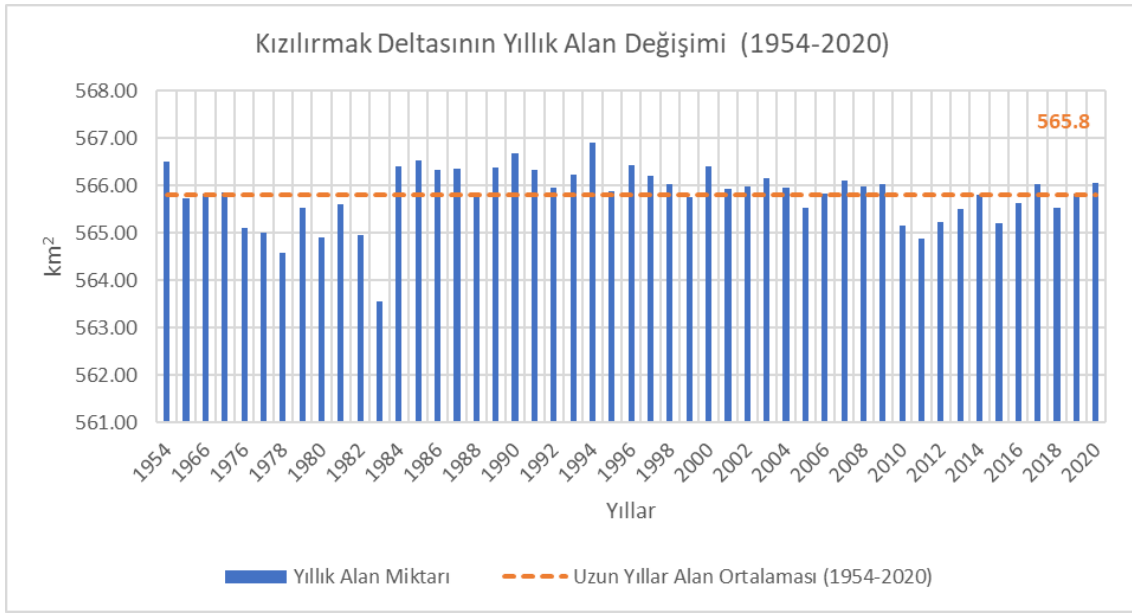
Delta alanında en eski uydu görüntüsü kullanılarak yapılan kıyı çizgisi değişimi çalışmasında, 1951-1975-1990-2004 ve 2017 yıllarına ait görüntülerle delta burnunun doğu kesimi, 2 bölüm halinde incelemiştir (Ataol vd., 2019). Çalışma incelendiğinde, en fazla birikim 384,84 m, en fazla aşınım 725,36 m ve ortalama ise 6,82 m'lik birikim olduğu belirtilmektedir (Ataol vd., 2019). Bu çalışmada doğu kıyısı için yapılan analizde, en fazla aşınım 871,09 m, en fazla birikim ise 593,70 m, ortalama ise 14,45 m olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma, delta burnunun doğu kesiminde, hem çok küçük bir alanı kaplamakta hem de belirli tarihlere ait görüntüler kullanılması nedeniyle Kızılırmak deltasında 2008 yılında gerçekleşen 871,09 m'lik kıyı çizgisindeki aşınımı, tespit edilememiştir.

Deltanın tüm kıyı çizgisini kapsayan bir başka çalışmada ise 1962 yılına ait 1/100.000 ölçekli topografik haritada, 1974-1987 ve 2013 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, en fazla aşınım 827 m, en fazla birikimi 476 m, ortalama ise 26 m'lik aşınım, tespit edilmiştir (Öztürk ve Sesli, 2015b). Bu tezde yapılan analizde, kıyının tümü için en fazla aşınım 871,09 m, en fazla birikim ise 593,70 m, ortalama ise 9,15 m olarak tespit edilmiştir. En fazla aşınım ve birikim değerlerinin birbirine en yakın olduğu çalışma Öztürk ve Sesli, (2015)'in yaptığı çalışmadır. Ortalama değerdeki farkın ana nedeni, Öztürk ve Sesli, (2015)'in 4 yıllık veri seti kullanması, yaptığımız çalışmada ise 49 yıllık veri seti kullanmamızdan kaynaklanmaktadır.

Türkiye'deki tüm Karadeniz kıyılarını kapsayan çalışmada, 1987-2001 yıllarına ait uydu görüntüleri kullanılarak en fazla aşınım 118 m, en fazla birikim ise 635 olarak tespit edilmiştir (Güneroğlu, 2015). Bu çalışmada kullanılan 2 yıllık uydu görüntüsü verisi ve 18 kesit ile analizin yapılması Karadeniz kıyıları hakkında genel bir fikir vermesine fakat

delta gibi daha yerel kıyı analizleri için yetersiz kalmasına neden olmuştur. Tuna Nehri gibi büyük nehir üzerine 1970 yılında Iron Gate I, 1983 yılında Iron Gate II barajlarının kurulmasından sonra kıyıya gelen sediment miktarı %50 oranında azalarak ortalama 20 m'lik aşınım söz konusudur (Stănică ve Panin, 2009; Stănică vd., 2011; Alfred ve Editors, 2017). Tuna Nehri Havzasında 187 adet baraj, sadece Tuna Nehri üzerinde ise 78 adet baraj bulunmakta ve delta alanına yılda 25-35 milyon ton sediment taşımaktadır (Rădoane ve Rădoane, 2005). Kızılırmak Deltasında 53 baraj ve ortalama 9,15 m'lik kıyı çizgisi aşınımı söz konusudur. Tuna Nehri Havzasının delta alanına taşıdığı sediment miktarı çok fazla olmasına rağmen, barajların etkisi nedeniyle kıyı çizgisindeki aşınım Kızılırmak Deltasındaki kıyı çizgisi aşınımının 2 katından fazladır.

Kızılırmak Deltasının kıyı çizgisindeki değişim analizleri gibi alansal değişimleri de çalışılmıştır. Alansal olarak yapılan çalışmada, 1960-2013 döneminde 56 ha'lık, 1987-2011 döneminde 169 ha'lık (Öztürk vd., 2015; Öztürk ve Sesli, 2015b), 2017-2018 yılları arasında 364 ha'lık alan kaybı belirlenmiştir (Zeybek vd., 2018). Bu tez çalışmasında ise 1954-2020 dönemi için 26 ha'lık alan kaybı tespit edilmiştir. Çalışmalar arasındaki alan kaybı farkı, uydu görüntüsü tarihleri, çalışma alanı ve çizim hassasiyetinden kaynaklanmaktadır. Yapılan çalışmalarda 2 ile 5 yıllık uydu görüntüsü veri seti kullanılmış, bu tez çalışmasında ise 49 yıllık veri seti kullanılmıştır (Şekil 60). Bu durum, delta çalışmalarında yıllık veri seti kullanmanın önemini göstermektedir. Seçilen yıllar delta gelişiminde önemli tarihlerin (1983 yılı gibi) atlanmasına ve yapılan analizlerin hatalı ve yanıltıcı olmasına neden olmaktadır.



Şekil 60 Kızılırmak Deltasının yıllık alan değişimi (km²) (1954-2020)

Kızılırmak Deltasındaki kıyı çizgisi değişiminin genel eğilimi aşınım yönündedir. deltadaki aşınım sorununun çözümü, kıyının etkilendiği yerden değil (mahmuz inşası gibi), kıyıyı etkileyen (barajlar gibi) alanlardaki sediment iletim sorununu çözmek gerekmektedir. Bu sorunun çözümü için baraj rezervuar alanlarına ulaşan sedimentin tahliyesi için kullanılan yöntemler bulunmaktadır.

Barajlarda rezervuar alanında bulunan sedimenti tahliye etmek için kullanılan yöntemler 3 şekilde sınıflandırılmıştır (Brown, 1943). Bunlar, akarsu tarafından taşınan sedimentin baraj rezervuar alanına girişini azaltan yöntemler, baraj rezervuar alanına ulaşan fakat daha çökmemiş olan sedimentlere yönelik yöntemler ve baraj rezervuar alanına çökmüş olan sedimentlerin tahliyesi için kullanılan yöntemlerdir (Avcı ve Odabaşı, 2011; Brown, 1943). Sedimentin baraj rezervuar alanına girişini engellemek için kullanılan yöntemleri; erozyon, heyelan kontrol modelleri, sedimentin bitki tuzakları ile engellenmesi, kontrol barajları çevirme kanalları ve yan derelerden gelen sedimentin engellenmesi şeklinde uygulanmaktadır (Avcı ve Odabaşı, 2011). Baraj rezervuar alanına ulaşmış fakat daha çökelim göstermemiş sedimentin iletilmesi için hidrolik ve mekanik yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntem özellikle su seviyesinin düşürülmediği elektrik

retme amaçlı kullanılan baraj yapılarında ve yoğunluk akımları oluşuyorsa tercih edilmektedir (Avcı ve Odabaşı, 2011).

Bu sediment birikimini engelleyecek diğerk bir yöntem de barajlara düşük seviyeli havalandırma kapaklarının kurulmasıdır (Annandale, 1987). Çok yaygın olmamakla birlikte baraj rezervuarlarında biriken sediment, yoğun akımlarla rezervuar alanına çökmeden taşınabilir. Akarsuyun baraj rezervuar alanına taşıdığı su yoğunluğu baraj rezervuar alanından daha fazladır. Akan sudaki yüksek sediment konsantrasyonu ve rezervuar alanındaki sudaki sıcaklık farkları, baraja giriş yapan suyu daha yoğun hale getirmektedir. Bu durum yoğun olan akımın rezervuarda bulunan suyun altına dalmasına ve yatağı boyunca baraja doğru hareket etmesine neden olmaktadır. Bu yoğunluk akımı baraj rezervuar duvarında yukarı doğru hareket ederek rezervuar alanı içinde devridaim yapabilir. Bu hareket gerekleştğinde, havalandırma kapakları açılarak sedimentin rezervuar alanına çökmeden iletimini sağlayarak sediment birikimi engelleyebilmektedir. Dikkat edilmesi gereken husus kapakların açılış zamanının doğru ayarlanmasıdır. Bu şekilde baraj çıkış noktasında yüksek sediment yükü deşarj edilebilmektedir (Annandale, 1987). Baraj rezervuar alanındaki çökmemiş olan sedimentin yoğun akım vasıtasıyla boşaltılmasının, çökelmiş olan sedimentin yıkama yöntemiyle boşaltılmasından daha etkili olduğu kabul edilmektedir (Scheuerlein, 1987). Yıkama yönteminde barajların kurulumu esnasında projelendirilmiş düşük seviyedeki dipsavaklara ihtiyaç vardır. Bu yöntemde barajda bulunan dipsavaklar birden açılarak rezervuar alanındaki suyun ivmelenmesini ve birikmiş olan sedimentin yerinden koparılarak baraj çıkış noktasından verilmesi ile gerçekleşir (Avcı ve Odabaşı, 2011). Bu yöntemle boşaltılan sediment normalde akarsuyun taşıyabileceği miktarın çok üstündedir. Akarsu taşıyamayacağı sedimenti birikim yaparak akarsuyun morfolojisinin değişmesine neden olacaktır. Diğerk bir sorun ise dipsavağın yakın çevresindeki sedimentin boşaltılıyor olmasıdır. Rezervuar alanın dipsavağa yakın olmayan kısımlarında sediment birikimi devam etmesi istenilen

sonuca ulaşılmasını engellemektedir. Yıkama işleminin diğer bir çeşidinde ise baraj rezervuar alanındaki su seviye alçaltılarak oluşan akıntı, biriken sedimentin içerisinde bir kanal oluşturur ve genişlemeye başlar ve bu şekilde dipsavağın yakın çevresindeki sediment alanının daha da genişletilmesi mümkün hale gelir (White, 1984). Mekanik taşıma yöntemlerinde biri olan sedimentin taranarak uzaklaştırılması, yıkama yöntemin başarılı olmadığı ve yıkama için yeterli suyun olmadığı durumlarda tercih edilmektedir (Fan, 1985). Baraj yapılarında sedimentin iletimi için ilk tercih sedimentin askıdaki durumu değerlendirilerek akış kuvveti ile baraj rezervuar alanından çıkartılmalıdır. Baraj rezervuar alanında biriken sediment için rezervuar alanındaki suyun seviyesi düşülerek dipsavaklar daha etkin kullanılması sağlanarak sediment iletimi gerçekleştirilmelidir. Sediment iletimi hem barajların ömrünü uzatacağı gibi barajlardan çok uzakta yer alan kıyı değişimlerinin kendi doğal sürecinde gelişmesine olanak sağlayacaktır. Sediment birikim durumunu sadece ekonomik değil çevresel olarak da ele alınıp değerlendirilmelidir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, elde edilen bulgular sonucunda Kızılırmak Deltasına ait kıyı çizgisi değişimini etkileyen ve kısa dönem içerisinde gözlemlenebilen faktörler arasındaki barajların etkisi incelenmiştir. Kızılırmak Deltasının kıyı çizgisi değişimi üzerine yapılan çalışmalarda, deltanın sadece kıyı çizgisindeki değişim durumu ortaya konmuş, etkili olan karasal ve denizel faktörler göz ardı edilmiştir. Bulgularımızda ise Hirfanlı Barajının işletmeye alınması ile kıyı çizgisindeki aşınımın çok yüksek gerçekleştiği, Altinkaya ve Derbent barajlarının işletmeye alındıktan sonra ise kıyı çizgisindeki gerilemenin artarak devam ettiği tespit edilmiştir. Deltanın hem bölümlere ayrılarak hem de tümünün incelenmesi, analizlerin daha doğru sonuç vermesine ve daha tutarlı çözüm üretilmesini sağlamaktadır. Kızılırmak Deltası için batı kıyısı fazla bir değişim göstermezken, doğu kıyısında çok fazla değişim olmaktadır. Bu durum, batı kıyısına önerilecek çözüm önerileri ile doğu kıyısına önerilecek çözüm önerilerinin farklı olması gerektiğini göstermektedir. Bu durumda kıyı değişim analizleri yapılırken, kıyının etkilenebilir alanlarının tespiti, kıyı değişim analizi, kıyının bulunduğu havza alanının erozyon hacmi ve sediment iletim miktarı ve denizel etkinin (CVI, akıntı yönü, kıta sahanlığı) kıyıya olan etkisinin bir arada incelenmesi, kıyıya etki eden faktörlerin bütüncül bir şekilde ortaya konulması gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda göz ardı edilen durumlar, deltanın sadece bir kısmının veya tamamının incelenmemesi, belirli yıllara ait uydu görüntülerinin kullanılması, çalışmalarda ulaşılan sonuçların ve yorumların yanıltıcı olmasına neden olabilmektedir. Kıyı değişim analizlerinde ulaşılabilen tüm veri kaynaklarının bir arada ve etkileşimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, 1. dönem tarihi haritalar incelendiğinde, Kızılırmak Havzasının oldukça dinamik bir yapıya sahip olduğu, deltanın alanında meydana gelen göl alanının Karadeniz ile belli zaman aralıklarında birleşmesi veya Karadeniz ile bağlantısının kesilmesinden anlaşılmaktadır. 2. dönemde ise ilk baraj olan Hirfanlı barajı kurulduktan

sonra Batı kıyı çizgisinde %78'lere varan aşınımlar tespit edilmiştir. Bu durum Hirfanlı barajı kurulduğunda kıyı çizgisinin normalden çok daha fazla etkilendiğini göstermektedir. 3. dönemde ise Altinkaya Barajı kurulduktan sonra kıyı çizgisindeki gerileme %44 olarak gerçekleşmiştir. Bu dönemlerde yapılan analizler sonucunda kıyı gerilemesini tetikleyen asıl unsurun Hirfanlı Barajı olduğu, gerilemenin hızı düşerek Altinkaya Barajından sonra da gerilemenin yavaşlamasına rağmen devam ettiği tespit edilmiştir.

Sediment gözlem istasyonlarındaki veri yetersizliği nedeniyle değerlendirmeye alınamayan veriler için uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak sediment hesaplanması konusunda daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, kıyı değişimlerinin nedenlerinin araştırılma yöntemleri (erozyon risk analizi, sediment iletim miktarı, kıyı etkilenebilirliği analizi, akım değerleri, kıyı değişim analizi, akıntı yönleri gibi) bakımından genel bir değerlendirme yapmıştır. Bu yöntemler vasıtasıyla kıyı çizgisi değişimine etki eden barajların etkisi daha net bir şekilde ortaya konulabilmektedir. Kıyı çizgisi değişiminin bir süreç olduğu ve kıyıyı etkileyebilecek tüm etmenlerin göz önünde tutularak bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiği görülmüştür. Bu da kıyı çizgisi değişimi çalışmalarında, havzayı etkileyen karasal, denizel etkilerle birlikte havzada yer alan yer alan su yapılarının tamamı değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir

6. KAYNAKÇA

- Adger, W. N., Hughes, T. P., Folke, C., Carpenter, S. R., ve Rockström, J. (2005). Social-Ecological Resilience to Coastal Disasters. *Science*, 309(5737), ss. 1036–1039.
- Akar, S., ve Akdoğan, D. A. (2016). Environmental and Economic Impacts of Wave Energy: Some Public Policy Recommendations fo Implementation in Turkey. *Handbook of Research on Green Economic Development Initiatives and Strategies* (ss. 285–309). IGI Global.
- Akkan, E. (1970). Bafra Burnu ve Delice Kavşağı Arasında Kızılırmak Vadisinin Jeomorfolojisi. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Yayınları*, 191, ss. 24–36.
- Alam, M. K., Mirza, M. R., Amsterdam, D., Maughan, O. E., ve State, W. (2021). Constraints and Opportunities in Planning for the Wise Use of Natural Resources in Developing Countries : Example of a Hydropower Project Author (s): Mohammed K . Alam , Muhammad R . Mirza and O . Eugene Maughan Published by : Cambridge University Press. *Environmental Conservation*, 22(4), ss. 352–358.
- Albuquerque, M., Espinoza, J., Teixeira, P., Oliveira, A., Correa, I., ve Calliari, L. (2013). Erosion or Coastal Variability: An Evaluation of the DSAS and the Change Polygon Methods for the Determination of Erosive Processes on Sandy Beaches. *Journal of Coastal Research*, 165, ss. 1710–1714.
- Alfred, M. R., ve Editors, V.-S. (2017). *Springer Geography Landform Dynamics and Evolution in Romania*. tarihinde <http://www.springer.com/series/10180> adresinden erişildi.
- Alley, R. B., Berntsen, T., Bindoff, N. L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Friedlingstein, P., Gregory, J. M., vd. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*, s. 21. tarihinde <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-spm-1.pdf> adresinden erişildi.
- Annandale, G. W. (1987). Reservoir Sedimentation. *Reservoir sedimentation*.
- Apaydın, A., ve Durmaz, M. (2020). Giresun-Piraziz Arasında Karadeniz Sahil Yoluna Bağlı Kıyı Çizgisi Değişimi ve Güncel Plaj Oluşumları. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(150), ss. 150–166.
- Arrowsmith, A. (1816). Outlines of the Countries Between Delhi and Constantinople. *Arrowsmith, A.* tarihinde https://www.davidrumsey.com/luna/servlet/detail/RUMSEY~8~1~323740~90092946:-W--Sheet--Outlines-of-the-Countrie?sort=Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2CSeries_No&qvq=w4s:/where%2FTurkey%2Fwhen%2F1816;q:turkey;sort:Pub_List_No_InitialSort%2C adresinden erişildi.
- Ataol, M., Kale, M. M., ve Tekkanat, İ. S. (2019). Assessment of the Changes in Shoreline Using Digital Shoreline Analysis System: a Case Study of Kızılırmak Delta in Northern Turkey from 1951 to 2017. *Environmental Earth Sciences*, 78(19).
- Avcı, İ., ve Odabaşı, B. (2011). *Rezervuarlarda Sediment Birikiminin Önlenmesi Ve Rezervuar Ekonomik Ömrünün Uzatılması*. Thesis. İstanbul Teknik Üniversitesi.

- Avşar, B. N., Kutoğlu, Ş. H., Erol, B., ve Jin, S. (2015). Coastal Risk Analysis of the Black Sea Under the Sea Level Rise (7725) Coastal Risk Analysis of the Black Sea under the Sea Level Rise Coastal Risk Analysis of the Black Sea under the Sea Level Rise, (May 2015), ss. 17–21. tarihinde https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2015/papers/ts05a/T_S05A_avsar_kutoglu_et_al_7725.pdf adresinden erişildi.
- Avşar, N. B., Jin, S., Kutoglu, H., ve Gürbüz, G. (2016). Sea Level Change Along the Black Sea Coast from Satellite Altimetry, Tide Gauge and GPS Observations. *Geodesy and Geodynamics*, 7(1), ss. 50–55.
- Babur, M. (2018). Classification By Reservoir Capacity. *International Commission on Large Dams*. tarihinde https://www.icold-cigb.org/article/GB/world_register/general_synthesis/classification-by-reservoir-capacity adresinden erişildi.
- Bartholomew, J. (1959). Turkey West. *The Geographical Institute*.
- Bayraktar, E. A., Bayraktar, D., ve Yüksek, Ö. (2016). Doğu Karadeniz Kıyılarında T Mahmuzlarının Kıyıya Etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(3), ss. 509–517.
- Berkun, M., ve Aras, E. (2007). Wastewater and Waste-Generated Pollution at the Southeastern Black Sea Region. *Environmental Engineering Science*, 24(6), ss. 778–789.
- Berkun, M., Aras, E., ve Koç, T. (2008). Barajların ve Hidroelektrik Santrallerin Nehir Ekolojisi Üzerine Oluturduğu Etkiler. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 452(January), ss. 41–48.
- Bertarelli, L. V., Marinelli, O., ve Corbellini, P. (1929). Turchia, Siria e Palestina, Turkiya, Suriye, Filistin Map. *Touring club italiano*. tarihinde https://www.davidrumsey.com/luna/servlet/detail/RUMSEY~8~1~31855~1151195:88-89--Turchia%2C-Siria%2C-Palestina-?sort=Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2C-Series_No&qvq=w4s:/when%2F1929;q:turkey;sort:Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_Li adresinden erişildi.
- Beşel, C., ve Tanır Kayıkçı, E. (2020). Investigation of Black Sea Mean Sea Level Variability By Singular Spectrum Analysis. *International Journal of Engineering and Geosciences*, ss. 33–41.
- Beyazıt, I. (2014). *Kızılırmak Deltasının Zamansal Kıyı Değişiminin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Belirlenmesi*. İstanbul Üniversitesi. Tarihinde [adresinden](http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf) erişildi
- Beyazıt, I., Öztürk, D., ve Kılıç, F. (2014). Kızılırmak Deltası Kıyı Çizgisinin Zamansal Değişimi. 5. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*, ss. 14–17.
- Bezak, N., Mikoš, M., Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., vd. (2021). Soil Erosion Modelling: A Bibliometric Analysis. *Environmental Research*, 197(March).
- Birkinshaw, S. J., ve Bathurst, J. C. (2006). Model Study of the Relationship Between Sediment Yield and River Basin Area. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31(6), ss. 750–761.

- Blum, M. D., ve Roberts, H. H. (2009). Drowning of the Mississippi Delta due to insufficient sediment supply and global sea-level rise. *Nature Geoscience*, 2(July), ss. 28–31. Nature Publishing Group.
- Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C., Bezak, N., vd. (2021). Soil Erosion Modelling: A Global Review and Statistical Analysis. *Science of the Total Environment*, 780.
- Brown, C. B. (1943). *The Control of Reservoir Silting*. Washington DC: United States Department of Agriculture. tarihinde [https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=0JY_AAAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Brown,+C.B.+\(1943\):+““The+Control+of+Reservoir+Silting””,+U.S.+Department+of+Agriculture,+Miss.+Publ.,+No.521,+Aug.%2743.&ots=TYnNGEPfIb&sig=hYbpt8HjnWI9_nSDWnFAlwthA3k&redir_esc](https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=0JY_AAAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Brown,+C.B.+(1943):+““The+Control+of+Reservoir+Silting””,+U.S.+Department+of+Agriculture,+Miss.+Publ.,+No.521,+Aug.%2743.&ots=TYnNGEPfIb&sig=hYbpt8HjnWI9_nSDWnFAlwthA3k&redir_esc) adresinden erişildi.
- Brown, P. H., Magee, D., ve Xu, Y. (2008). Socioeconomic Vulnerability in China's Hydropower Development. *China Economic Review*, 19(4), ss. 614–627. Elsevier Inc. tarihinde <http://dx.doi.org/10.1016/j.chieco.2008.06.002> adresinden erişildi.
- Bruckner, T., Bashmakov, I. A., Mulugetta, Y., Chum, H., De la Vega Navarro, A., Edmonds, J., Faaij, A., vd. (2014). Energy Systems. *Operations Research Applications* (ss. 5-1-5–30). Cambridge University Press.
- Burke, L., Kura, Y., Kassem, K., Revenga, C., Spalding, M., ve McAllister, D. (2014). Coastal Ecosystems. *Encyclopedia of Earth Sciences Series* (ss. 73–78).
- Byfield, A., Karaer, F., ve Pearman, D. (2005). Çoruh Vadisi. *Trkiye'nin 122 Önemli Bitki Alanı* (ss. 129–132). İstanbul: WWF Türkiye (Doğal Hayatı Koruma Vakfı).
- Cazenave, A., Bonnefond, P., Mercier, F., Dominh, K., ve Tournazou, V. (2002). Sea Level Variations in the Mediterranean Sea and Black Sea from Satellite Altimetry and Tide Gauges, 34, ss. 59–86.
- ÇED. (2013). Samsun-Tokat-Çorum Planlama Bölgesi 1/100.000 Öçekli Çevre Düzeni Planı Değişikliği. *Çevre Şehircilik ve iklim Değişikliği Bakanlığı*. tarihinde <https://mpgm.csb.gov.tr/samsun---corum---tokat-planlama-bolgesi-i-82192> adresinden erişildi.
- Chao, B. F., Wu, Y. H., ve Li, Y. S. (2008). Impact of Artificial Reservoir Water Impoundment on Global Sea Level. *Science*, 320(5873), ss. 212–214.
- Chapot, V. (2020). Asia Minor. *The Roman World*. tarihinde https://www.davidrumsey.com/luna/servlet/detail/RUMSEY~8~1~31687~1150482:Asia-Minor-?sort=Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2CSeries_No&qvq=w4s:/where%2FTurkey%2Fwhen%2F1812;q:turkey;sort:Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2CS adresinden erişildi.
- Chen, J., Zhu, X., Vogelmann, J. E., Gao, F., ve Jin, S. (2011). A Simple and Effective Method for Filling Gaps in Landsat ETM+ SLC-off Images. *Remote Sensing of Environment*, 115(4), ss. 1053–1064. Elsevier B.V. tarihinde <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.010> adresinden erişildi.
- Church, J. A., Clark, P. U., Cazenave, A., Gregory, J. M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M. A., vd. (2013). Sea Level Change. *PM Cambridge University Press*, ss. 1137–1216.

- CORINE. (2018). Coordination of information on the environment. *European Environment Agency*. tarihinde <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> adresinden erişildi.
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ve Van Den Belt, M. (1997). The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, 387(6630), ss. 253–260.
- Dalaris, M., Psilovikos, A., Sapountzis, M., ve Mourtzis, P. (2013). Water Erosion Assessment in Skiathos Island Using the Gavrilovic Method. *Fresenius Environmental Bulletin*, 22(10), ss. 2943–2952.
- Dominici, R., Larosa, S., Viscomi, A., Mao, L., De Rosa, R., ve Cianflone, G. (2020). Yield Erosion Sediment (Yes): A Pyqgis Plug-in for the Sediments Production Calculation Based on the Erosion Potential Method. *Geosciences (Switzerland)*, 10(8), ss. 1–13.
- Dones, R., Bauer, C., Bolliger, R., Burger, B., Heck, T., Röder, A., ve Tuchschnid, M. (2007). Life Cycle Inventories of Energy Systems: Results for Current Systems in Switzerland and Other UCTE Countries. *Final report ecoinvent data v2. 0, 5*.
- Doukakis, E. (2005). Coastal Vulnerability and Risk Parameters. *European Water*.
- DPT. (2007). *Dokuzuncu Kalkınma Planı 2007–2013:Toprak ve Su Kaynaklarının Kullanımı ve Yönetimi Özel İhtisas Komisyonu Raporu*. Ankara.
- Dragičević, N., Karleuša, B., ve Ožanić, N. (2016). A review of the Gavrilović method (Erosion Potential Method) Application. *Gradjevinar*, 68(9), ss. 715–725.
- DSİ. (2021a). Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. tarihinde <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1352#> adresinden erişildi.
- DSİ. (2021b). *Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu*. Ankara.
- DSİ. (2021c). *Etiüt Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı*. Ankara.
- Durlevic, U., Momcilovic, A., Curic, V., ve Dragojevic, M. (2019). Gis application in analysis of erosion intensity in the Vlasina River Basin. *Glasnik Srpskog geografskog drustva*, 99(2), ss. 17–36.
- Durlević, U., Novković, I., Lukić, T., Valjarević, A., Samardzić, I., Krstić, F., Batoćanin, N., vd. (2021). Multihazard Susceptibility Assessment: A Case Study - Municipality of Štrpce (Southern Serbia). *Open Geosciences*, 13(1), ss. 1414–1431.
- E.İ.E İdaresi. (2003). *Su Akımları Aylık Ortalamaları 1935-2000*. (M. Yıldız, İ. Uçar, & E. Özay, Ed.). Ankara.
- EEA. (2017). *CLC2018 Technical Guidelines*. *European Environment Agency*. Wien. tarihinde https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/clc2018technicalguidelines_final.pdf adresinden erişildi.
- EMODnet. (2000). EMODnet (The European Marine Observation And Data Network). *Geological Survey of Israel*. tarihinde <https://cloud.emodnet-ingestion.eu/index.php/s/dT8qS60xymOWSCd> adresinden erişildi.
- European Commission. (2004). A guide to coastal erosion management practices in Europe: Lessons Learned. *Coastal erosion - Evaluation of the needs for action*. tarihinde http://www.euroSION.org/shoreline/lessons_learned.pdf adresinden erişildi.

- European Environment Agency. (2017). Trend in Absolute Sea Level in European Seas Based on Satellite Measurements. *EEA*. tarihinde <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/sea-level-changes-in-europe-october-1992-may-1> adresinden erişildi.
- Fan, J. (1985). *Methods of Preserving Reservoir Capacity. Methods of Computing Sedimentation in Lakes and Reservoirs*. Paris.
- Fanetti, D., ve Vezzoli, L. (2007). Sediment Input and Evolution of Lacustrine Deltas: The Breggia and Greggio Rivers Case Study (Lake Como, Italy). *Quaternary International*, 173–174(SUPPL.), ss. 113–124.
- Fearnside, P. M. (1995). Hydroelectric Dams in the Brazilian Amazon as Sources of ‘Greenhouse’ Gases. *Environmental Conservation*, 22(1), ss. 7–19.
- Fearnside, P. M. (1997). Greenhouse-Gas Emissions from Amazonian Hydroelectric Reservoirs: The Example of Brazil’s Tucuruí Dam as Compared to Fossil Fuel Alternatives. *Environmental Conservation*, 24(1), ss. 64–75.
- Garner, G. G., Hermans, T., Kopp, R. E., Slangen, A. B. A., Edwards, T. L., Levermann, A., Nowicki, S., vd. (2021). IPCC AR6 Sea Level Projections. *Zenodo*. tarihinde <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?type=global> adresinden erişildi.
- Gavrilovic, S. (1972). Inženjering o Bujičnim Tokovima i Erozijsi, Časopis “Izgradnja”,. *Specijalno izdanje*, s. 292.
- Gill, R., ve Anderson, M. (2012). Impacts of King River Power Development, Australia. *Water Resources Development and Management*, ss. 201–218.
- Gornitz, V. (1990). Vulnerability of the East Coast, USA to Future Sea Level Rise. *Journal of Coastal research*, ss. 201–237.
- Gornitz, V. M., Beaty, T. W., ve Daniels, R. C. (1997). a Coastal Hazards Data Base for the U.S. West Coast. Oak Ridge (USA): Environmental System Science Data Infrastructure for a Virtual Ecosystem (ESS-DIVE)(United States); Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC); Oak Ridge National Lab.(ORNL). tarihinde <https://www.osti.gov/servlets/purl/661514> adresinden erişildi.
- Gornitz, V. M., ve White, T. (1992). *A Coastal Hazards Data Base For The US East Coast*. Oak Ridge TN (United States).
- Gornitz, V. M., ve White, T. (1997). A Coastal Hazards Data Base for the U.S. West Coast (1997) (NDP-043C). Oak Ridge (USA): Oak Ridge National Laboratory.
- Gunarathna, M. H. P. J., Nirmanee, K. G. S., ve Kumari, N. (2016). Are Geostatistical Interpolation Techniques Better Than Deterministic Interpolation Methods? A Study in Ulagalla Tank Cascade, Sri Lanka. *International Journal of Research and Innovations in Earth Science*, 3(3), ss. 59–64.
- Güneroğlu, A. (2015). Coastal Changes and Land Use Alteration on Northeastern Part of Turkey. *Ocean and Coastal Management*, 118, ss. 225–233. Elsevier Ltd. tarihinde <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.06.019> adresinden erişildi.
- Hall, S. (1829). Turkey in Asia. *Longman, Rees, Orme, Brown, Green*. tarihinde https://www.davidrumsey.com/luna/servlet/detail/RUMSEY~8~1~21809~670042:Turkey-in-Asia-?sort=Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2CSeries_No&q

[vq=w4s:/when%2F1829;q:turkey;sort:Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2CSeries_No;lc:RU](http://www.usgs.gov/when%2F1829;q:turkey;sort:Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2CSeries_No;lc:RU) adresinden erişildi.

- Hammar-Klose, E. S., ve Thieler, E. R. (2001). *Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: a Preliminary Database for the U.S. Atlantic, Pacific, and Gulf of Mexico Coasts*. tarihinde <https://pubs.usgs.gov/dds/dds68/htmldocs/ofreport.htm> adresinden erişildi.
- Han, J., Gasparani, N. M., Johnson, J. P. L., ve Murphy, B. P. (2014). Modeling The Influence Of Rainfall Gradients On Discharge, Bedrock Erodibility, And River Profile Evolution, With Application To The Big Island, Hawai. *J. Geophys. Res. Earth Surf.*, 119(6), ss. 1418–1440.
- Hanasaki, N., Kanae, S., ve Oki, T. (2006). A reservoir Operation Scheme for Global River Routing Models. *Journal of Hydrology*, 327(1–2), ss. 22–41.
- Hancock, G. S., ve Anderson, R. S. (1998). Beyond Power: Bedrock River Incision Process And Form. *Rivers Over Rock* (ss. 35–60). Washington DC: Geophysical Monograph-American Geophysical Union. tarihinde [https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=vI13qo6qIGwC&oi=fnd&pg=PA35&dq=Hancock,+G.+S.,+R.+S.+Anderson,+and+K.+X.+Whipple+\(1998\),+Beyond+power:+Bedrock+river+incision+process+and+form,+in+Rivers+Over+Rock:+Fluvial+Process+in+Bedrock+Channels,+Geophy](https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=vI13qo6qIGwC&oi=fnd&pg=PA35&dq=Hancock,+G.+S.,+R.+S.+Anderson,+and+K.+X.+Whipple+(1998),+Beyond+power:+Bedrock+river+incision+process+and+form,+in+Rivers+Over+Rock:+Fluvial+Process+in+Bedrock+Channels,+Geophy) adresinden erişildi.
- Harley, M. D., Turner, I. L., Kinsela, M. A., Middleton, J. H., Mumford, P. J., Splinter, K. D., Phillips, M. S., vd. (2017). Extreme Coastal Erosion Enhanced by Anomalous Extratropical Storm Wave Direction. *Scientific Reports*.
- Hay, B. J. (1994). Sediment and Water Discharge Rates of Turkish Black Sea rivers Before and After Hydropower Dam Construction. *Environmental Geology*, 23(4), ss. 276–283.
- HGM. (1945). Samsun/Bafra. *Harita Genel Müdürlüğü*.
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., ve Farris, A. S. (2018). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.0 User Guide. *Open-File Report 2018-1179*, s. 126.
- Hinrichsen, D. (1998). *Coastal Waters of the World: Trends, Threats, and Strategies*. Washington DC: Island Press. tarihinde https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=fQy8BwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR2&dq=Hinrichsen,+D.,+1998.+Coastal+Waters+of+the+World:+Trends,+Threats+and+Strategies.+Island+Press,+Washington+DC.+275+pp.&ots=IhWGJ3EUVWU&sig=OR7nXzfn2PTHp2bufLK8lE4j8wo&redir_esc=y adresinden erişildi.
- Hoque, M. A., Hoque, M. M., ve Ahmed, K. M. (2007). Declining Groundwater Level and Aquifer Dewatering in Dhaka Metropolitan Area, Bangladesh: Causes and Quantification. *Hydrogeology Journal*, 15(8), ss. 1523–1534.
- Huda, S. A., ve Small, E. E. (2014). Modeling the Effects of Bed Topography on Fluvial Bedrock Erosion by Saltating Bed Load. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 119(6), ss. 1222–1239.
- ICOLD. (2011). Constitution of ICOLD. *International Commission on Large Dams*, (2), ss. 1–21. tarihinde http://www.icold-cigb.org/userfiles/files/CIGB/INSTITUTIONAL_FILES/Constitution2011.pdf adresinden erişildi.

- ICOLD. (2020). International Commission on Large Dams. *International Commission on Large Dams*. tarihinde https://www.icold-cigb.org/article/GB/world_register/general_synthesis/general-synthesis adresinden erişildi.
- IIED. (2001). Dams and Development: a New Framework for decision-Making: Overview of the Report by the World Commission on Dams. *Issue paper (Drylands Programme) ; no. 108*, (December), s. 17 p.
- Jarraud, M., ve Steiner, A. (2012). *Summary for policymakers. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (C. 9781107025).
- Jeftic, L., Pernatta, J., Keckes, S., ve UNEP. (1996). *Climatic Change And The Mediterranean : Environmental And Societal Impacts Of Climate Change And Sea Level Rise In The Mediterranean Region. Volume 2* (2. baskı). London, New York.
- Johnston, A. K. (1893). Turkey in Asia (Asia Minor) and Transcaucasia. W.& A.K. Johnston. tarihinde https://www.davidrumsey.com/luna/servlet/detail/RUMSEY~8~1~37976~1210989:Asia-Minor-?sort=Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2CSeries_No&qvq=w4s:/when%2F1893;q:turkey;sort:Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2CSeries_No;lc:RUMSE adresinden erişildi.
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, P., vd. (2019). Climatologies at High Resolution for the Earth Land Surface Areas CHELSA V1 . 2: Technical specification. *Scientific Data*, 4(April), s. 170122. tarihinde <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122> adresinden erişildi.
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., vd. (2017). Climatologies at High Resolution for the Earth's Land Surface Areas. *Scientific Data*, 4, ss. 1–20. The Author(s).
- Ketin, İ. (1948). Son On Yılda Türkiye'de Vukua Gelen Büyük Depremlerin Tektonik ve Mekanik Neticeleri Hakkında. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 2(1), ss. 1–13.
- Ketin, İ. (1976). San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları Arasında Bir Karşılaştırma. *MTA Dergisi*, (August), ss. 149–154.
- KHGM. (1992). *Etüt ve Proje Dairesi Başkanlığı 1/100.000 Ölçekli Toprak Haritası*. Ankara.
- Kiepert, H., ve Delius, H. (1853). Karte des Turkischen Reichs in Asien. *Verlag and Schropp Comp.* tarihinde https://www.davidrumsey.com/luna/servlet/detail/RUMSEY~8~1~298935~90070223:Karte-des-Turkischen-Reichs-in-Asie?sort=Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2CSeries_No&qvq=w4s:/when%2F1853;q:turkey;sort:Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2CSeries_No;lc:RUMSE adresinden erişildi.
- Kiepert, ve Richard. (1914). Sinob, 3rd edition Karte von Kleinasien. *Dietrich Reimer*. tarihinde <https://www.davidrumsey.com/luna/servlet/detail/RUMSEY~8~1~333529~90105211:AIV--Sinob%2C-3rd-edition-Karte-von->

K?sort=Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2CSeries_No&qvq=w4s:/when%2F1914;q:turkey;sort:Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_ adresinden erişildi.

- Kökpınar, M. A., Güler, I., ve Darama, Y. (2000). Bafra Ovası Kızılırmak Birleşimindeki Kıyı Erozyonunun İncelenmesi. *III. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu* içinde (ss. 507–524). Çanakkale.
- Korotenko, K. A. (2016). High-Resolution Numerical Model for Predicting the Transport and Dispersal of Oil Spill in Result of Accidental Deepwater Blowout in the Black Sea. *Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference, 2016-Janua*(February), ss. 1534–1541.
- Küçükosmanoğlu, A., Küçükosmanoğlu, Ö., ve Soyaslan, İ. İ. (2016). Çolaklı Plajı Kıyı Boyu Tek Boyutlu Kum Taşınımı. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), ss. 1–10.
- Kuleli, T. (2010). Kızılırmak ve Yeşilirmak Deltalarındaki Kıyı Değişimlerinin Landsat TM ve DSAS ile Belirlenmesi. *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları VII. Ulusal Kongresi*, (1).
- Kumar, A., ve Freitas, M. (2011). Hydropower, (December 2014).
- KVMGM. (2019). Samsun İli Sınırları İçerisindeki Sit Bölgelerinin Gruplandırılması. *Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü*. tarihinde <https://samsun.ktb.gov.tr/Eklenti/44184,1-sit-alanlari.docx?0> adresinden erişildi.
- Laaraj, M., Benaabidate, L., ve Mesnage, V. (2021). Assessment and Mapping of Water Erosion by the Integration of the Gavrilovic “EPM” Model in the Inaouene Watershed, Morocco. *E3S Web of Conferences*, 314, s. 03009. tarihinde <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202131403009> adresinden erişildi.
- Manatunge, J., Nakayama, M., ve Priyadarshana, T. (2008). Environmental and Social Impacts of Reservoirs: Issues and Mitigation. *Oceans and aquatic ecosystems*, I, ss. 212–255.
- Martínez, M. L., Intralawan, A., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O., Sutton, P., ve Landgrave, R. (2007). The Coasts of Our World: Ecological, Economic and Social Importance. *Ecological Economics*. tarihinde <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800906005465> adresinden erişildi.
- Mcallister, D. E., Craig, J. F., Davidson, N., Delany, S., ve Seddon, M. (2001). Biodiversity Impacts of Large Dams. *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources and the United Nations Environmental Programme*, (1), s. 63.
- Mentaschi, L., Voudoukas, M. I., Pekel, J. F., Voukoualas, E., ve Feyen, L. (2018). Global Long-Term Observations of Coastal Erosion and Accretion. *Scientific Reports*, ss. 1–11.
- Milanesi, L., Pilotti, M., Clerici, A., ve Gavrilovic, Z. (2015). Application of an Improved Version of the Erosion Potential Method in Alpine Areas. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 15(1), ss. 17–30.
- Mitchell, S. A. (1846). Turkey In Asia. (with) Environs of Constantinople. *Mitchell, S. A.*

- tarihinde
https://www.davidrumsey.com/luna/servlet/detail/RUMSEY~8~1~2029~150064:Turkey-in-Asia-?sort=Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2CSeries_No&qv=w4s:/when%2F1846;q:turkey;sort:Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2CSeries_No;lc:RUM adresinden erişildi.
- Montgomery, M. R., Mcgranahan, G., Kim, D., Mara, V., Todd, M., Balk, D., Montgomery, M. R., vd. (2009). Mapping Urban Settlements and the Risks of Climate Change in Africa , Asia and South America.
- Montzka, S. A., Dlugokencky, E. J., ve Butler, J. H. (2011). Non-CO 2 Greenhouse Gases and Climate Change. *Nature*, 476(7358), ss. 43–50. Nature Publishing Group.
- Moosdorf, N., Cohen, S., ve Hagke, C. V. (2018). A Global Erodibility Index To Represent Sediment Production Potential Of Different Rock Types. *Applied Geography*, 101, ss. 36–44.
- MTA. (2002). *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 1/500.000 Ölçekli Jeoloji Haritası*. Ankara. tarihinde
<https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/SINOP.pdf> adresinden erişildi.
- Mulligan, M., van Soesbergen, A., ve Sáenz, L. (2020). GOODD, a Global Dataset of More Than 38,000 Georeferenced Dams. *Scientific Data*, 7(1), ss. 1–8.
- Neumann, B., Vafeidis, A. T., Zimmermann, J., ve Nicholls, R. J. (2015). Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding - A global assessment. *PLoS ONE*, 10(3).
- Ni, L. (2013). Resettlement Planning of Three Gorges Project Immigrants. *China Three Gorges Construction Yearbook* (s. 120). Beijing: Three Gorges Media Co., Ltd.
- OSİB. (2017). *Erozyonla Mücadele Eylem Planı 2013-2017*. Ankara.
- Oyedotun, T. D. (2014). Shoreline Geometry : DSAS as a Tool for Historical Trend Analysis. *Geomorphological Techniques (online edition)*, 2(January 2014), ss. 1–12.
- Özdemir, S. (2010). *Kızılırmak Deltası'nda Aktüel Kıyı Çizgisi Değişiklikleri ve Sonuçları*. OMÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı-Yüksek Lisans Tezi.
- Öztürk, D., Beyazıt, I., ve Kılıç, F. (2015). Spatiotemporal Analysis of Shoreline Changes of the Kızılırmak Delta. *Journal of Coastal Research*, 31(6), ss. 1389–1402.
- Öztürk, D., ve Sesli, F. A. (2015a). Kızılırmak Lagünlerinin Kıyı Çizgisinde Meydana Gelen Değişimin Analizi. *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*, ss. 60–65.
- Öztürk, D., ve Sesli, F. A. (2015b). Shoreline Change Analysis of the Kızılırmak Lagoon Series. *Ocean and Coastal Management*, 118, ss. 290–308. Elsevier Ltd. tarihinde
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.03.009> adresinden erişildi.
- Panin, N., ve Popescu, I. (2007). The Northwestern Black Sea: Climatic and Sea-Level Changes in the Late Quaternary. *The Black Sea Flood Question: Changes in Coastline, Climate, and Human Settlement*, ss. 387–404.
- Rădoane, M., ve Rădoane, N. (2005). Dams, Sediment Sources and Reservoir Silting in Romania. *Geomorphology*, 71(1–2), ss. 112–125.
- Ramieri, E., Hartley, A. J., Barbanti, A., Santos, F. D., Gomes, A., Hilden, M., Laihonon,

- P., vd. (2011). *Methods for Assessing Coastal Vulnerability to Climate Change*. European Environment Agency, European topic centre on climate change impacts, vulnerability and adaptation. Bologna. tarihinde <http://cca.eionet.europa.eu/> adresinden erişildi.
- Rasul, A., Balzter, H., Ibrahim, G. R. F., Hameed, H. M., Wheeler, J., Adamu, B., Ibrahim, S., vd. (2018). Applying Built-Up and Bare-Soil Indices from Landsat 8 to Cities in Dry Climates. *Land*, 7(3).
- Rudd, J., Harris, R., Kelly, C., ve Hecky, R. (1993). Are Hydroelectric Reservoirs Significant Sources of Greenhouse Gases ? *Ambio (Sweden)*, 22(4), ss. 246–248.
- Rusu, L., Raileanu, A. B., ve Onea, F. (2018). A Comparative Analysis of the Wind and Wave Climate in the Black Sea Along the Shipping Routes. *Water (Switzerland)*, 10(7).
- Ryan, W. B. F., Pitman, W. C., Major, C. O., Shimkus, K., Moskalenko, V., Jones, G. A., Dimitrov, P., vd. (1997). An Abrupt Drowning of the Black Sea Shelf. *Marine Geology*, 138(1–2), ss. 119–126.
- Sakuno, N. R. R., Guıçardi, A. C. F., Spalevic, V., Avanzi, J. C., Silva, M. L. N., ve Mincato, R. L. (2020). Adaptation and Application of the Erosion Potential Method for Tropical Soils. *Revista Ciencia Agronomica*, 51(1), ss. 1–10.
- Scaramuzza, P., Micijevic, E., ve Chander, G. (2004). SLC Gap-Filled Products: Phase One Methodology., ss. 1–5.
- Scheuerlein, H. (1987). Sedimentation of Reservoirs-Methods of Prevention, Techniques of Rehabilitation. *First Iranian Symp. on Dam Engrg* içinde. Teheran: Obernach Hydraulics Laboratory, Techn. Univ.
- Schwartz, M. L. (2005). *Encyclopedia of Coastal Science*. Netherlands: Springer. tarihinde https://books.google.com.tr/books?id=VWnxpAxp6TMC&printsec=frontcover&hl=tr&source=gbv_ViewAPI&redir_esc=y#v=onepage&q=schwartz&f=false adresinden erişildi.
- Seabergh, W. C., ve Krock, J. (2003). *Jetty Spurs at Coastal Inlets for Reduction of Navigation Channel Shoaling*. Engineer Research And Development Center Vicksburg Ms Coastal And Hydraulics Lab. tarihinde <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA423498.pdf> adresinden erişildi.
- Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., Imren, C., Sakinç, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., vd. (2005). The North Anatolian Fault: A New Look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, ss. 37–112.
- Setianto, A., ve Triandini, T. (2015). Comparison of Kriging and Inverse Distance Weighted (Idw) Interpolation Methods in Lineament Extraction and Analysis. *Journal of Applied Geology*, 5(1), ss. 21–29.
- Shahin, M. (2003). Large Dams and Storage Reservoirs, and Their Impacts. *Hydrology and Water Resources of Africa*, 41, ss. 475–508.
- Simav, Ö., Şeker, D. Z., Tanık, A., ve Gazioğlu, C. (2015a). Kıyı Etkilenebilirlik Göstergesi ile Türkiye Kıyıları Risk Alanlarının Tespiti (Determining The Endangered Fields of Turkish Coasts with Coastal Vulnerability Index). *Harita Dergisi*, 153, ss. 1–8.

- Simav, Ö., Şeker, D. Z., Tanık, A., ve Gazioğlu, C. (2015b). Kıyı Etkilenebilirlik Göstergesi ile Türkiye Kıyıları Risk Alanlarının Tespiti. *Harita Dergisi*, 153.
- Sklar, L. S., ve Dietrich, W. E. (2001). Sediment and Rock Strength Controls on River Incision into Bedrock. *Geology*, 29(12), ss. 1087–1090.
- Small, E. E., Blom, T., Hancock, G. S., Hynek, B. M., ve Wobus, C. W. (2015). Variability Of Rock Erodibility İn Bedrock-Floored Stream Channels Based On Abrasion Mill Experiments. *J. Geophys. Res. Earth Surf*, 120.
- Sönmez, M. E. (2012). Barajların Mekân Üzerindeki Olumsuz Etkileri ve Türkiye ' den Örnekler The Negative Impacts of Dams on Environment and Their Samples in Turkey. *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(1), ss. 213–231.
- Sopkin, K. L., Stockdon, H. F., Doran, B. K. S., Plant, N. G., Morgan, K. L. M., Guy, K. K., ve Smith, K. E. L. (2014). Hurricane Sandy: Observations and Analysis of Coastal Change. *U.S. Geological Survey Open-File Report 2014-1088*. tarihinde <http://pubs.usgs.gov/of/2014/1088/> adresinden erişildi.
- Spalding, M. D., Ravilious, C., ve Green, E. P. (2001). *World Atlas of Coral Reefs*. California: Univ of California Press. tarihinde <https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=cFawvYZlKH0C&oi=fnd&pg=P13&dq=Spalding,+M.D.,+Ravilious,+C.,+Green,+E.P.,+2001.+World+Atlas+of+Coral+Reefs.+UNEP-WCMC.+University+of+California+Press,+USA.+424+pp.&ots=u4Z1Ngvxxv9&sig=sdSZN0Fr31NHT6tqfAgM1aph> adresinden erişildi.
- Stanford, A. (1904). Asia Minor, the Caucasus and the Black Sea. *Edward Stanford*. tarihinde https://www.davidrumsey.com/luna/servlet/detail/RUMSEY~8~1~314704~90083576:Asia-Minor%2C-Caucasus%2C-Black-Sea-?sort=Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2C-Series_No&qvq=w4s:/when%2F1904;q:turkey;sort:Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List adresinden erişildi.
- Stânică, A., Dan, S., Jiménez, J. A., ve Ungureanu, G. V. (2011). Dealing with Erosion Along the Danube Delta coast. The CONSCIENCE Experience Towards a Sustainable Coastline Management. *Ocean and Coastal Management*, 54(12), ss. 898–906.
- Stănică, A., ve Panin, N. (2009). Present Evolution and Future Predictions for the Peltaic Coastal Zone Between the Sulina and Sf. Gheorghe Danube River Mouths (Romania). *Geomorphology*, 107(1–2), ss. 41–46.
- Stephenson, W. (2013). Coastal Erosion. *Encyclopedia of Natural Hazards* (ss. 94–97). Springer. tarihinde <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results> adresinden erişildi.
- Stieler, A. (1875). Ost-Europa In 6 Blattern Enthaltend : Norwegen, Schweden, Russland, Kaukasien Und Die Türkei. *Justus Perthes*. tarihinde https://www.davidrumsey.com/luna/servlet/detail/RUMSEY~8~1~333169~90101351:Composite--Ost-Europa%2C-B1-1--6?sort=Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2C-Series_No&qvq=w4s:/when%2F1875;q:turkey;sort:Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List adresinden erişildi.

- Taymaz, T., Jackson, J., ve McKenzie, D. (1991). Active Tectonics of the North and Central Aegean Sea. *Geophysical Journal International*, 106(2), ss. 433–490.
- Thieler, E. R., ve Hammar-Klose, E. S. (1999). *National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise. Preliminary Results for U.S. Atlantic Coast.* tarihinde <http://pubs.usgs.gov/of/1999/of99-593/> adresinden erişildi.
- Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., ve Ergul, A. (2008). *The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 - An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change.*
- Topçu, P. (2012). *Tarım Arazilerinin Korunması ve Etkin Kullanılmasına Yönelik Politikalar. İktisadi Sektörler Genel Müdürlüğü.* Ankara.
- Tortajada, C., Altinbilek, D., ve Biswas, K. A. (2012). *Water Resources Development and Management Impacts of Large Dams : A Global Assessment.* Berlin.
- Tošić, R., Dragičević, S., ve Lovrić, N. (2012). Assessment of Soil Erosion and Sediment Yield Changes Using Erosion Potential Model - Case Study: Republic of srpska (bih). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7(4), ss. 147–154.
- Tsimplis, M. N., Josey, S. A., Rixen, M., ve Stanev, E. V. (2004). On the Forcing of Sea Level in the Black Sea. *Journal of Geophysical Research C: Oceans*, 109(8), ss. 1–14.
- TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü. (2012). *Havza Koruma Eylem Planı - Kızılırmak Havzası.* Ankara. tarihinde https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/havza_koruma_eylem_planlari/Kizilirmak_Havzası.pdf adresinden erişildi.
- Tucker, G. E. (2004). Drainage Basin Sensitivity to Tectonic and Climatic Forcing: Implications of a Stochastic Model for the Role of Entrainment and Erosion Thresholds. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(2), ss. 185–205.
- Turoğlu, H. (2006). Kızılırmak Deltası ve Yakın Çevresinin Jeomorfolojik Özellikleri ve İnsan Yaşamındaki Etkileri. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Anadolu Araştırmaları XIX*, (1), ss. 99–111.
- UNESCO. (2003). UNESCO World Heritage List: Three Parallel Rivers of Yunnan Protected Areas. tarihinde <http://whc.unesco.org/en/list/1083> adresinden erişildi.
- USGS. (1900). EarthExplorer. U.S. Geological Survey. tarihinde <https://earthexplorer.usgs.gov/> adresinden erişildi.
- Uzun, A. (2006). *Samsun Deltaları ve Beklenen Değişmeler. Geçmişten Geleceğe Samsun* (1. baskı). Samsun: Samsun Büyükşehir Belediyesi Kültür ve Eğitim Hizmetleri Daire Başkanlığı Yayınları.
- Uzun, A., ve Yılmaz, C. (2005). Kızılırmak Deltası'nda kıyı Çizgisi Değişikliklerinin Sonuçları.
- Du Val, P. (1664). Carte de l'Empire des Turcs et de ses confins. www.davidrumsey.com. tarihinde https://www.davidrumsey.com/luna/servlet/view/search/where/Turkey/when/1664?q=turkey&sort=Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2CSeries_No adresinden erişildi.
- de Vente, J., ve Poesen, J. (2005). Predicting Soil Erosion and Sediment Yield at the Basin

- Scale: Scale issues and Semi-Quantitative Models. *Earth-Science Reviews*, 71(1–2), ss. 95–125.
- Wang, Y., Gao, M., Zuo, J., ve Bartsch, K. (2023). Social Capital and Social Integration After Project-Induced Displacement and Resettlement: Exploring the Impact on Three Life Stages in the Three Gorges Project. *Social Science Journal*, 60(1), ss. 56–74. Routledge. tarihinde <https://doi.org/10.1080/03623319.2020.1728503> adresinden erişildi.
- Watson, D. F. (1985). A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation. *Geoprocessing*, 2, ss. 315–317.
- WCD. (2000). *Dams and Development: A New Framework for Decision-Making. Report*. London. tarihinde https://www.ern.org/wp-content/uploads/sites/52/2016/12/2000_world_commission_on_dams_final_report.pdf adresinden erişildi.
- White, W. R. (1984). *The Feasibility of Flushing Sediments Through Reservoirs*. United Kingdom: International Association of Hydrological Sciences.
- Whitten, T., Soeriaatmadja, R. E., ve Afiff, S. (1996). *Ecology of Java and Bali*. Oxford University Press. (C. 2).
- Yardley, J. (2004). Dam building threatens China’s Grand Canyon. *The New York Times*, ss. 1–4. tarihinde <http://www.physics.rutgers.edu/~karin/140/articles/nytMarch102004nudam.pdf> adresinden erişildi.
- Yavuz, K. E. (2011). Önemli Bir Doğa Alanı: Kızılırmak Deltası (ss. 1–4). Samsun.
- Yeniyurt, C., Çağırankaya, S., Lise, Y., ve Ceran, Y. (2008). *Kızılırmak Deltası Sulak Alan Yönetim Planı*. Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı.
- Yin, G., Mariethoz, G., ve McCabe, M. F. (2017). Gap-Filling of Landsat 7 Imagery Using the Direct Sampling Method. *Remote Sensing*, 9(1).
- Yıldırım, Ş. (2005). Munzur Dağları. *Türkiye’nin 122 Önemli Bitki Alanı* (ss. 316–319). İstanbul: WWf Türkiye (Doğal Hayatı koruma Vakfı).
- Yılmaz, E. (2006). *Çamlıdere Barajı Havzasında Erozyon Problemi ve Risk Analizi*. Ankara Üniversitesi.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş. C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., vd. (2000). *When did the Western Anatolian Grabens Begin to Develop? Geological Society Special Publication* (C. 173).
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yigitbaş, E., ve Şengör, A. M. C. (1997). Geology and Tectonic Evolution of the Pontides. *AAPG Memoir*, (68), ss. 183–226.
- Zahnoun, A. A., Makhchane, M., Chakir, M., Al Karkouri, J., ve Watfae, A. (2019). Estimation and Cartography the Water Erosion by Integration of the Gavrilovic “EPM” Model Using a GIS in the Mediterranean Watershed: Lower Oued Kert Watershed (Eastern Rif, Morocco). *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 5(6), ss. 367–374.
- Zeigler, J. M. (1864). Asiatische Turkey. *Joh. Wurster Comp.* tarihinde <https://www.davidrumsey.com/luna/servlet/detail/RUMSEY~8~1~34886~1180499:Asiatische-Turkey->

[?sort=Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2C-Series_No&qvq=w4s:/when%2F1864;q:turkey;sort:Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2C-Series_No;l](https://www.turkishcountryside.com.tr/?sort=Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2C-Series_No&qvq=w4s:/when%2F1864;q:turkey;sort:Pub_List_No_InitialSort%2CPub_Date%2CPub_List_No%2C-Series_No;l) adresinden erişildi.

Zeybek, H. İ., Bağcı, H. R., ve Bahadır, M. (2018). Kızılırmak Deltasında (Samsun) Kıyı Çizgisi Değişimlerinin Bruun Kuralına Göre Değerlendirilmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11(58), ss. 308–317.

Zwahlen, R. (2003). Identification, Assessment, and Mitigation of Environmental Impacts of Dam Projects. *Modern Trends in Applied Aquatic Ecology*, ss. 281–370.



ÖZET

Kızılırmak Deltasındaki kıyı gerilemesine neden olan faktörlerin bütüncül olarak değerlendirildiği (DSAS, EPM, CVI) ve barajların etkisine odaklanıldığı bu çalışmada; Kızılırmak Deltasına ait kıyı çizgisi değişimleri incelenerek kısa dönem içerisinde gözlemlenebilen barajların etkisi ortaya konmuştur. Bu etki ortaya konulurken; üç farklı yöntemden yararlanılmıştır. Birinci yöntemle; DSAS ile kıyı çizgi değişiminin durum analizi tespit edilmiş, ikinci yöntemle Kızılırmak Havza alanının erozyon risk modeli (EPM) ile karasal etki, üçüncü yöntemle Kızılırmak Deltasının kıyı etkilenebilirliği (CVI) analizi ile denizel etki ortaya konmuştur. Yapılan analizler; Kızılırmak Deltası kıyı çizgisinde meydana gelen aşınımın Hirfanlı Barajı (1960) ile başladığını, Altinkaya (1988) ve Derbent (1990) barajları ile aşınımın artarak devam ettiğini göstermiştir. Hirfanlı Barajı kurulduktan sonra kıyı çizgisindeki gerileme %78 artmış, Altinkaya ve derbent barajları kurulduktan sonra ise gerileme miktarı %44'e kadar gerilemiştir. Bu çalışma sonucunda, batı kıyısının düzenli olarak gerilediğini, doğu kıyısının ise düzensiz bir şekilde aşınım ve birikim süreçlerine maruz kaldığı tespit edilmiştir. Bu çalışma kıyı değişimleri değerlendirilirken erozyon ve kıyı etkilenebilirliği analizlerinin dahil edilmesi gerektiği konusunda katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Erozyon Potansiyel Modeli (EPM), Kıyı Erozyonu, Kıyı Etkilenebilirliği analizi (CVI), Kıyı Değişim Analizi (DSAS), Kızılırmak Deltası.

ABSTRACT

In this study, in which the factors causing coastal regression in the Kızılırmak Delta are evaluated holistically (DSAS, EPM, CVI) and the impact of dams is focused on; the shoreline changes of the Kızılırmak Delta are analyzed and the impact of dams that can be observed in the short term is revealed. While revealing this effect; three different methods were utilized. The first method was to determine the status analysis of shoreline change with DSAS, the second method was to determine the terrestrial impact with the erosion risk model (EPM) of the Kızılırmak Basin area, and the third method was to determine the marine impact with the coastal vulnerability (CVI) analysis of the Kızılırmak Delta. The analyses showed that the erosion of the coastline of the Kızılırmak Delta started with the Hirfanlı Dam (1960) and continued with the Altinkaya (1988) and Derbent (1990) dams. After the construction of Hirfanlı Dam, the shoreline recession increased by 78%, and after the construction of Altinkaya and Derbent dams, the amount of recession decreased to 44%. As a result of this study, it was determined that the western shore was regularly receding, while the eastern shore was subjected to erosion and deposition processes in an irregular manner. This study will contribute to the inclusion of erosion and coastal vulnerability analyses when assessing coastal changes.

Key Words: Erosion Potential Model (EPM), Coastal Erosion, Coastal Vulnerability Index (CVI), Digital Shoreline Analysis System (DSAS), Kızılırmak Delta.