KIZILIRMAK DELTASI KIYI ÇİZGİSİNİN ZAMANSAL DEĞİŞİMİ

Işık BEYAZIT[1], Derya ÖZTÜRK[2], Fatmagül KILIÇ[3]

[1] NEBULA Mühendislik İnşaat Harita San. ve Dış. Tic. Ltd. Şti., 34080 Fatih, İstanbul, isikbeyazit@gmail.com
[2] Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kurupelit, 55139, Samsun, dozturk@omu.edu.tr
[3] Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, Davutpaşa, İstanbul, fkilic@yildiz.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmanın amacı Kızılırmak Deltası kıyı çizgisinin, 1987 ve 2011 yılları arasında geçen 24 yıllık süre içerisinde gerçekleşen değişimlerini inceleyerek, bölgede kıyıyı korumak adına alınan önlemlerin ne derece etkili olduğunu belirlemek ve kıyı değişimlerine sebep olarak gösterilen olayların bu tarihler arasındaki etkilerini araştırmaktır. Bu amaç ile araştırmada 1987, 1998, 2002, 2007 ve 2011 yıllarına ait Landsat-5 TM uydu görüntüleri kullanılmıştır. Kıyı çizgilerinin belirlenmesinde Landsat TM görüntülerinin 2, 4 ve 5 no.lu bantları kullanılarak, bant oranlama ve histogram eşikleme yöntemlerinin entegre edildiği bir yaklaşım uygulanmıştır. Kıyı çizgisindeki değişimlerinin belirlenmesinde SCE (Shoreline Change Envelope), EPR (End Point Rate) ve LRR (Linear Regression Rate) yöntemleri kullanılmıştır. Analizlerin sonucunda 1987-2011 yılları arasında maksimum değeri 655,60 m olan bir erozyon belirlenmiştir. Sonuçlar, uluslararası öneme sahip olan bu alan için gerekli tedbirlerin acil olarak alınması gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Kızılırmak Deltası, kıyı çizgisi, SCE, EPR, LRR

ABSTRACT

DETECTION OF COASTLINE CHANGES OF KIZILIRMAK DELTA

In this study, it is aimed to examine the alterations in Kizilirmak Delta shoreline during 24 years between 1987-2011 thereby to determine how effective is the precautions had been taken to prevent the coast in the area as well as to research the effects of the cases shown as reason for changes in the coast between these years. Landsat-5 TM satellite images from 1987, 1998, 2002, 2007 and 2011 were used to determine temporal changes. The approach, which integrates band ratioing and histogram thresholding methods, was applied using the 2nd, 4th and 5th bands of the Landsat TM images. The shoreline change envelope (SCE), end point rate (EPR) and linear regression rate (LRR) methods were used to determine the coastline changes. It is detected that a landward migration that occurred on the delta, where its maximum migration was 655,60 m between 1987 and 2011. This study reveals that it is crucial to take necessary measures for Kizilirmak Delta, which has an international importance.

Keywords: Kizilirmak Delta, coastline, SCE, EPR, LRR

1. GİRİŞ

Kıyı bölgelerinde meydana gelen kontrolsüz değişimler, çevreyi ve üzerinde yaşayan canlıları oldukça olumsuz yönde etkilemektedir (Dolan *vd.*, 1991). Bu nedenle denize kıyısı olan ülkelerde, kıyı bölgelerinde meydana gelen değişimler, başta yönetim ve planlama olmak üzere birçok meslek disiplini için daima önemli bir konu olmuştur. Kıyı değişimlerinin belirlenmesi, geleceğe yönelik kestirimler ve simülasyonlar, planlama ve önlem çalışmaları, tüm dünyada ilgi odağında olmasına karşın ülkemizde bu konuda yapılan çalışmalar ve sorunlara alınan önlemler son derece yetersiz kalmaktadır.

Türkiye, İran'ın Ramsar kentinde 1971 yılında imzalanan ve kentin adıyla anılan Ramsar Sözleşmesine 1994 yılında taraf olmuş ve sözleşmeden doğan yükümlülükleri yerine getirmek amacıyla "Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği"ni 2002 yılında uygulamaya koymuştur. Sözleşmeye bağlı olarak Türkiye'de şu ana kadar toplam 14 adet Ramsar alanı ilan edilmiştir. 15.04.1998 tarihinde Ramsar alanı ilan edilen Kızılırmak Deltası, gerek yöneticilerin gerekse araştırmacıların ilgi odağı olmuş (Erciyas-Yavuz, 2011; Yeniyurt *vd.*, 2011; Çağırankaya ve Meriç, 2013) ve özellikle delta kıyılarında yaşanan erozyon nedeniyle deltanın karşı karşıya olduğu tehlikeye dikkat çekilmiştir (Uzun, 2005; Yılmaz, 2005; Yüksek, 2008; Sertel *vd.*, 2008; Turoğlu, 2010; Özdemir, 2010; Zeybek *vd.*, 2011; Kuleli, 2010; Kuleli *vd.*, 2011).

Bu çalışmada Kızılırmak Deltası kıyı çizgisinde 1987 ve 2011 yılları arasında meydana gelen değişimler kantitatif olarak ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamında; Kızılırmak Deltasının 1987, 1998, 2002, 2007 ve 2011 yıllarına ait kıyı çizgileri Landsat-5 TM uydu görüntülerinin 2, 4 ve 5 no.lu bantlarından histogram eşikleme ve bant oranlama yöntemlerinin entegre kullanımıyla otomatik olarak elde edilmiş, kıyı çizgisindeki değişim miktarları SCE

(Shoreline Change Envelope) ve kıyı değişim oranları ise EPR (End Point Rate) ve LRR (Linear Regression Rate) yöntemleriyle hesaplanmıştır.

2. KIZILIRMAK DELTASI

Kızılırmak Deltası (Şekil 1), Karadeniz Bölgesinde yaklaşık 41° 30' - 41° 45' kuzey enlemleri ve 35°43' - 36° 08' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Deltanın toplam alanı 56.000 hektar olup, bunun 21.700 hektarı Ramsar alanı kapsamındadır (URL 1). Delta doğuda Engiz Çayı yakınlarındaki Muşta Köyü, batıda Alaçam ilçe merkezinin batısı, kuzeyde Karadeniz kıyısı ve güneyde Doğankaya Köyü ile sınırlandırılmıştır (Özdemir, 2010). Merkezinde bulunan Bafra ilçesinden dolayı Bafra Ovası olarak da isimlendirilen ve Türkiye'nin en büyük ve en önemli deltalarından biri olan Kızılırmak Deltası, 1.355 km uzunluğundaki Kızılırmak Nehrinin binlerce yıl süresince taşıdığı alüvyonlar ile oluşmuştur (Akkan, 1970; Yılmaz, 2005; Erciyas-Yavuz, 2011; URL 2). Deltanın kıyı uzunluğu yaklaşık 73 km'dir. Delta, yüksek enerjili Kızılırmak'ın taşıdığı çökeller sonucunda meydana geldiğinden, kısmen dalga etkili ancak genel açıdan akarsu etkili delta türüne bir örnektir (Özdemir, 2010).

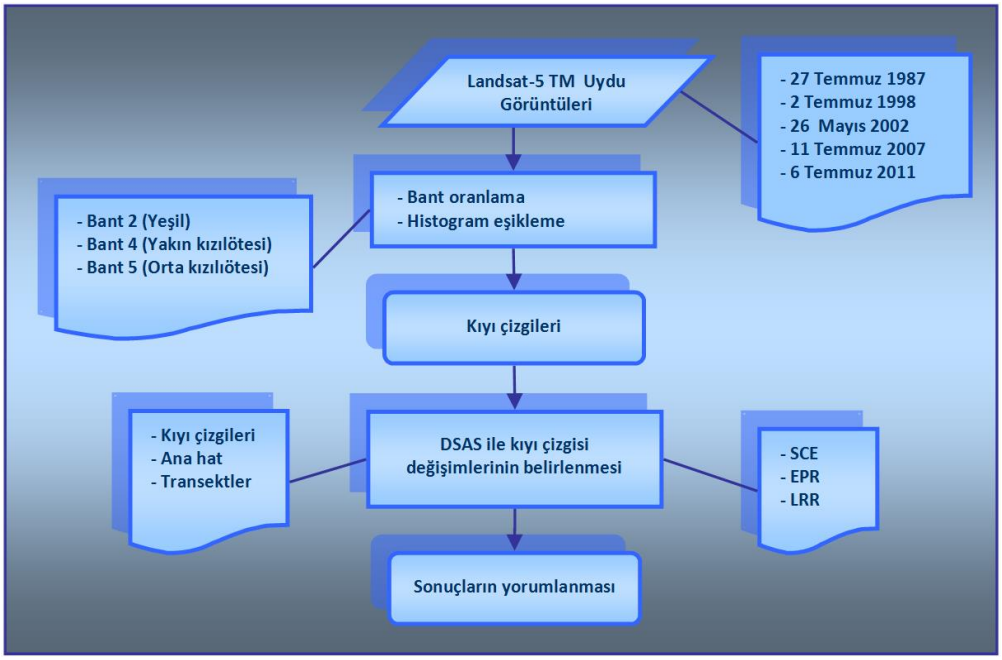
Şekil 1. Çalışma alanı: Kızılırmak Deltası.

Kızılırmak Nehrinin ana kolu üzerinde toplam 10 adet baraj bulunmaktadır (URL 3). Bunlar arasında Altınkaya ve Derbent barajları deltaya yakın kesimlerde kurulmuş olduğundan (Nehir ağzına uzaklıklar: Derbent barajının 32 km, Altınkaya barajının 51 km) delta üzerinde çok önemli etkilere sahiptirler (Yılmaz, 2005; Uzun, 2006; Yüksek, 2008; Zeybek *vd.*, 2011). Deltanın oluşum ve büyüme süreci 1988'de Altınkaya Barajının su tutmaya başlamasına kadar devam etmiştir. Nehir üzerine inşa edilen barajlar Kızılırmak'ın getirdiği alüvyonları tutmaya başlamış, bu nedenle akarsu deltayı besleyemediğinden deltanın büyümesi durmuş, hatta kıyı akıntısı ve dalga erozyonuyla birlikte delta küçülme sürecine girmiştir (Yılmaz, 2005; Uzun, 2006). Nehir üzerine yapılan barajların devreye girmesiyle Karadeniz'e ulaşan malzeme miktarı % 98 oranında azalmıştır (Yılmaz, 2005). Altınkaya Barajının ardından 1990 yılında işletmeye açılan Derbent Barajının su tutmaya başlamasından sonra akarsuyun deltaya taşıdığı malzeme daha da azalmıştır. Kızılırmak'ın taşıdığı sediment miktarı 1960 yılında 23,1 milyon ton/yıl iken 1988 yılında 18 milyon ton/yıl'a düşmüş ve delta ovasına kurulmuş olan Altınkaya ve Derbent barajlarından sonra daha da azalarak 2008 yılında 0,30 milyon ton/yıla düşmüştür. Sonuçta sediment bütçesi açık veren deltanın büyümesi zamanla durmuş ve kıyı çizgisi kara yönünde yer değiştirmeye başlamıştır (Yılmaz, 2005; Kökpınar *vd.*, 2007; Yüksek, 2008; Zeybek, 2011). Deltadaki kıyı erozyonunu durdurmak için 1999 yılında mahmuz yapımına başlanmıştır. 1999 yılında 1 no.lu I şeklinde (düz) mahmuz ve 2 ve 3 no.lu Y şeklinde iki mahmuz tamamlanmıştır. 2001 ve 2002 yıllarında da nehrin denize birleşimini düzenleyen Batı Mahmuzu (J Mahmuzu) ve Doğu Mahmuzu inşa edilmiştir. 2001-2002 yıllarında 1 no.lu mahmuzun doğusuna 5 adet daha I mahmuzu inşa edilmiştir (Özdemir 2010; Zeybek, 2011). Ancak yapılan mahmuzlar kendi bölgelerindeki erozyonu azaltırken erozyon probleminin deltanın doğu tarafına taşınmasına yol açmıştır (Yüksek, 2008). Bu nedenle, 2010 yılında doğu kesiminde 7 adet daha I mahmuz inşa edilmiştir. Böylece 1999-2010 yılları arasında toplam 17 mahmuz inşa edilmiştir.

3. METOT

Çalışmada izlenen metodoloji Şekil 2'de gösterilmektedir. Çalışmada ilk olarak hangi görüntülerin kullanılacağına karar verilmiştir. Analizi yapılacak yılların seçiminde deltanın kıyı çizgisinin değişiminde önemli rol oynayan akarsu ve kıyı yapılarının inşa tarihleri göz önünde bulundurulmuştur. Diğer yandan, mevsimsel farklılıklardan doğabilecek değişimlerin analiz sonuçlarına etkisini en aza indirgemek ve karşılaştırmalar neticesinde daha gerçekçi ve sağlıklı sonuçlar elde etmek amacı ile farklı yıllara ait uydu görüntülerinin seçiminde birbirlerine ay ve gün olarak yakın olmalarına özen gösterilmiştir.

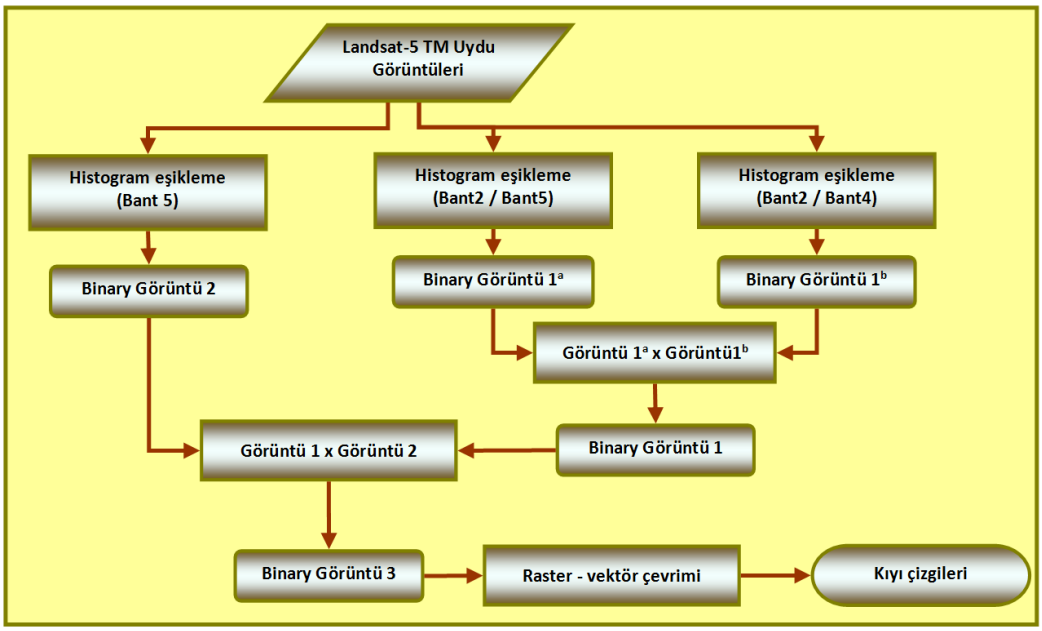
Çalışmanın ilk adımında 27 Temmuz 1987, 2 Temmuz 1998, 26 Mayıs 2002, 11 Temmuz 2007 ve 6 Temmuz 2011 tarihlerine ait, 24 yıllık bir zaman dilimini kapsayan Landsat-5 TM uydu görüntüleri (URL 4) kullanılarak, bant oranlama ve histogram eşikleme yöntemlerinin entegrasyonuyla kıyı çizgileri çıkartılmış ve raster formundaki kıyı çizgileri vektör veriye dönüştürülmüştür. Kıyı çizgisinin çıkartılmasında tüm işlemler ArcGIS 10.0 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen vektör formundaki kıyı çizgilerinden değişim analizleri için ArcGIS yazılımı üzerinde çalışan DSAS (Digital Shoreline Analysis System) (Thieler *vd.*, 2009) aracı kullanılmıştır. Kıyı çizgisi değişim miktarlarının hesaplanması için SCE ve değişim oranlarının hesaplanmasında EPR ve LRR yöntemleri uygulanmıştır.



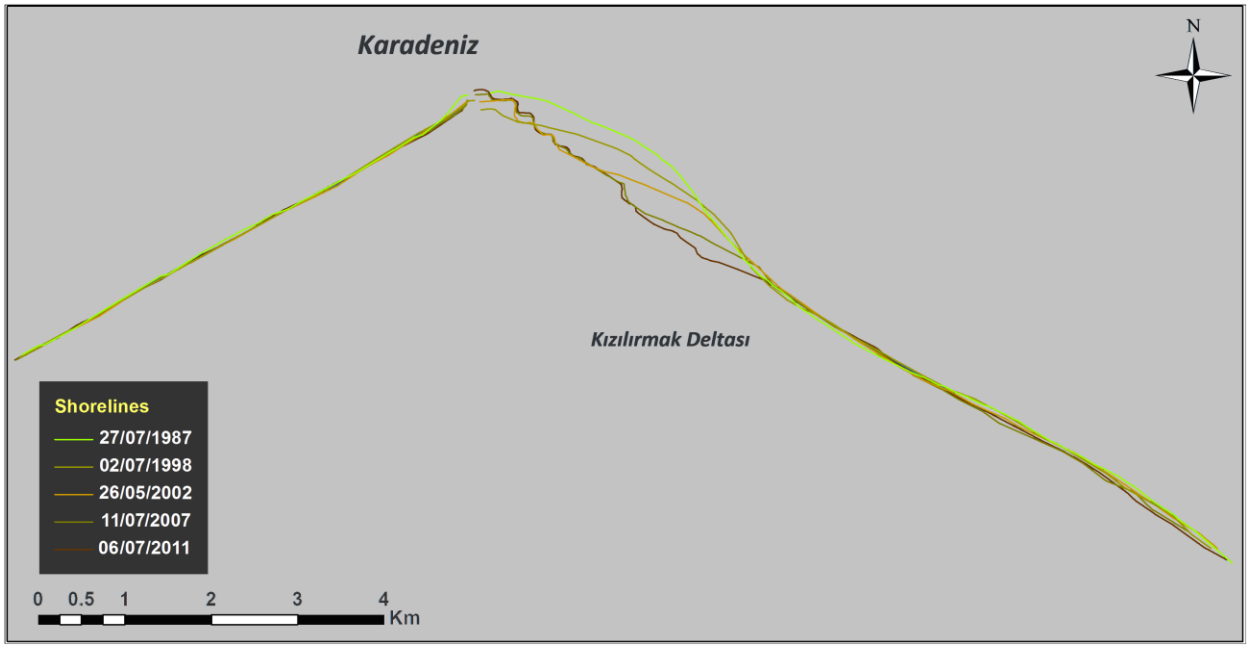
Şekil 2. Çalışmanın ana işlem adımları.

3.1. Kıyı Çizgilerinin Belirlenmesi

Kıyı çizgilerinin belirlenmesinde izlenen metodoloji Şekil 3'te ve vektör formunda elde edilen kıyı çizgileri Şekil 4'te yer almaktadır.



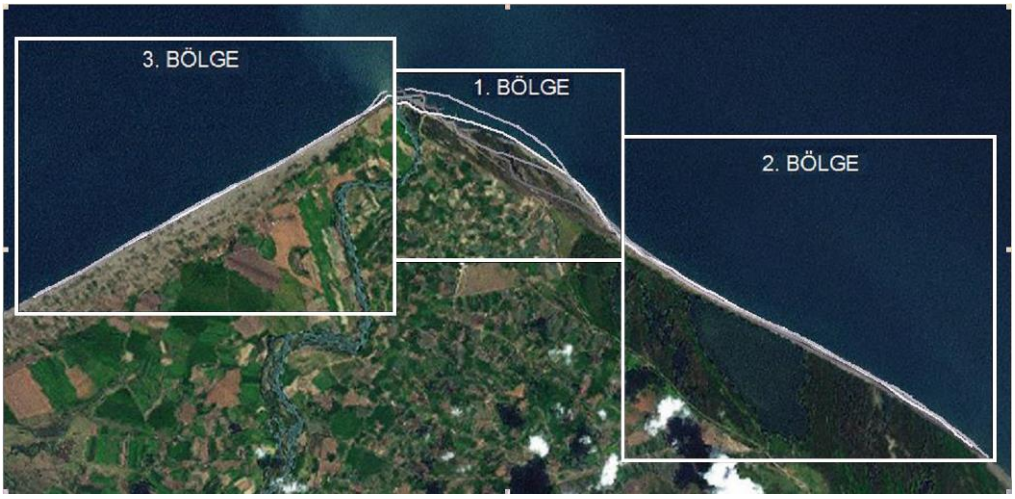
Şekil 3. Kıyı çizgilerinin çıkarımında izlenen işlem akışı (Alesheikh *vd.* (2007) ve Van ve Binh (2009)'den adapte edilmiştir).



Şekil 4. Kızılırmak Deltasının 27 Temmuz 1987, 2 Temmuz 1998, 26 Mayıs 2002, 11 Temmuz 2007 ve 6 Temmuz 2011 tarihlerine ait kıyı çizgileri.

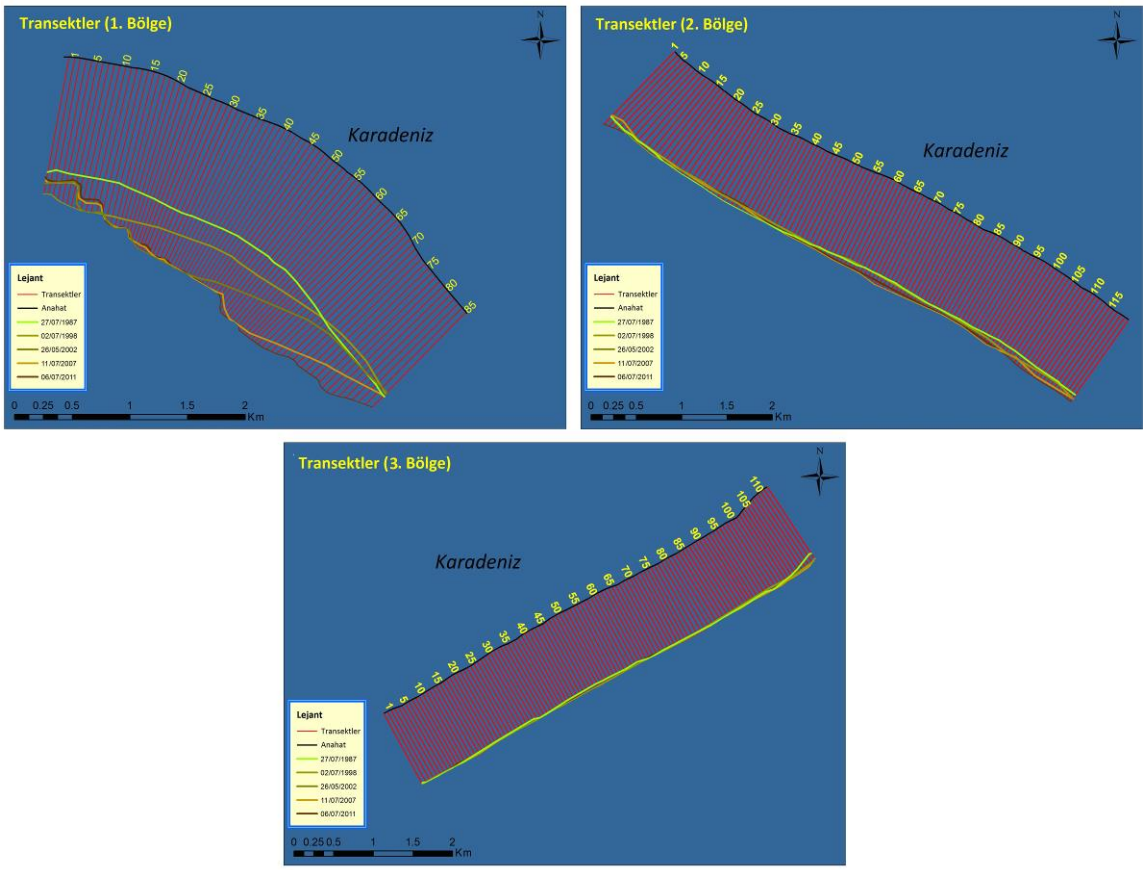
3.2. Kıyı Çizgisindeki Değişimlerin Belirlenmesi

Kıyı çizgisindeki değişimlerin belirlenmesinde çalışma alanının kendi içerisinde bölümlere ayrılarak incelenmesi, analizlerden çıkan sonuçların daha iyi yorumlanabilmesine olanak sağladığından bu çalışmada Kızılırmak Deltası 3 bölgeye ayrılmıştır (Şekil 5). Kızılırmak Nehrinin denize döküldüğü ve mahmuzların yer aldığı, aynı zamanda en fazla erozyonun gözlemlendiği kısım 1. Bölge, nehrin sağ sahil kısmı 2. Bölge, en az erozyon gözlemlenen ve aynı zamanda nehrin sol sahilini oluşturan kısım ise 3. Bölge olarak seçilmiştir.



Şekil 5. Değişim analizi için Kızılırmak Deltasının ayrıldığı alt bölümler.

DSAS aracı ile analizlerin gerçekleştirilmesinde öncelikle bir ana hattın (baseline) oluşturulması gerekmektedir. Bu amaçla Kızılırmak Nehrinin sol sahilinde yaklaşık 6 km ve sağ sahilinde yaklaşık 11 km uzunluğunda olmak üzere, kıyı çizgilerinin deniz yönünde 1 km paralelinde bir ana hat oluşturulmuştur. Yaklaşık 17 km uzunluğundaki bu ana hat üzerinde 50 m aralıklarla toplam 342 adet transekt oluşturulmuştur. Ancak özellikle nehir ağzına yakın kesimde transektlerin bir kısmının tüm kıyı çizgilerini kesmediği tespit edilmiştir. Hesaplamaların daha sağlıklı gerçekleştirilmesi amacıyla bu transektler ayıklanarak toplam 318 transekt ile analizler gerçekleştirilmiştir. Böylece transekt sayıları 1. Bölge için 86, 2. Bölge için 118 ve 3. Bölge için 114 adet olmuştur (Şekil 6). Oluşturulan transektler kullanılarak SCE, EPR ve LRR yöntemlerinin uygulanmasıyla kıyı çizgilerinin toplam değişim miktarı ve yıllık değişim oranları hesaplanmıştır.



Şekil 6. Kızılırmak Deltasının alt bölümlerinde değişim analizi için oluşturulan ana hat ve transektler.

SCE ile bir oran değil mesafe belirlenmektedir. Bu yöntem her bir transektte -kıyı çizgilerinin sahip olduğu tarihten bağımsız olarak- meydana gelen en büyük değişimi hesaplamaktadır (Thieler *vd.*, 2009).

EPR yönteminde hesaplamalar Eşitlik 1'de gösterildiği şekilde toplam kıyı değişim mesafesinin arada geçen zaman farkına bölünmesiyle gerçekleştirilir. EPR yöntemi iki farklı tarihteki kıyı çizgisini kullanarak hesaplama yapmaktadır. Eğer ikiden fazla kıyı çizgisi var ise EPR yöntemiyle farklı kombinasyonlar için hesaplamalar yapılır. EPR, kolay uygulanabilir bir yöntem olduğundan dolayı çok yaygın olarak kullanılır (Dolan *vd.*, 1991; Gentz *vd.*, 2007; Thieler *vd.*, 2009).

$$EPR = \frac{(d_1 - d_0)}{(t_1 - t_0)} \text{ m/yıl} \quad (1)$$

LRR yönteminde amaç tüm kıyı çizgilerini kesen her bir transekt için en uygun regresyon hattını geçirebilmektir. Doğrunun hesabı için en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır. Hesaplanan lineer doğrunun denklemi Eşitlik 2'deki gibidir (Dolan *vd.*, 1991; Gentz *vd.*, 2007; Thieler *vd.*, 2009).

$$y = mx + b \quad (2)$$

Formülde yer alan "*m*" değeri doğrunun eğimini, *b* sabit bir değeri, *x* bağımsız değişkeni, *y* değeri ise bağımlı değişkeni belirtmektedir (Thieler *vd.*, 2009).

LRR yönteminde çalışmada kullanılan tüm kıyı çizgileri hesaba katılmaktadır. Bu sebeple diğer kıyı değişimi oranı hesaplama yöntemlerine göre daha hassastır. Yöntemin bazı önemli avantajları şunlardır: (i) yöntem daha önceden kabul görmüş istatistiksel bir metoda dayanır, (ii) yöntemin kullanımı ve anlaşılması kolaydır, (iii) çalışmada kullanılan tüm kıyı çizgileri hesaba katılır ve bu durum yöntemin etkinliğini arttırır ve (iv) yöntem sadece basit bir hesaplamadan ibarettir (Thieler *vd.*, 2009).

4. BULGULAR

Deltanın geçirdiği önemli olayların tarihleri de göz önüne alınarak hesaplamalar altı farklı zaman dilimine (1987-1998, 1998-2002, 2002-2007, 2007-2011, 1987-2007, 1987-2011) ayrılmış ve SCE ve EPR analizleri bu tarih aralıklarında gerçekleştirilmiştir. 1987-1998 yılları arasındaki analizlerle akarsu üzerine yapılan barajların deltaya olan etkisi araştırılırken, 1998-2002 yılları arasındaki analizlerde kıyıda ilk aşamada yapılan üç adet mahmuzun, 2002-2007 yılları arasındaki analizlerde ise daha sonradan eklenen yedi adet mahmuzun delta kıyılarındaki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. 2007-2011 tarih aralığı seçilerek tüm mahmuzların tamamlanmasından günümüze kadar gerçekleşen değişimler hesaplanırken, 1987-2007 yılları arasındaki analizle baraj ve ilk 10 mahmuzun deltada meydana getirdiği değişimlerin birleşik sonuçlarının incelenmesi amaçlanmıştır. 1987-2011 tarih aralığı kullanılarak net kıyı değişim miktarının bulunması hedeflenmiştir. Çalışmada üç bölge için 1987-2011 yılları arasında LRR değerleri hesaplanmıştır. LRR değerlerinin hesaplanmasında tüm veriler (1987, 1998, 2002, 2007, 2011) kullanılmıştır. Kıyı değişim analizi için zaman ve mesafe değişkenleri kullanılmıştır. Burada belirtilen zaman değişkeni kıyı çizgilerine ait yıl bilgileri, mesafe olarak belirtilen değişken ise transektlerin ana hattan itibaren kıyı çizgilerini kestiği noktaya kadar olan mesafeleridir. Oluşturulan doğrunun eğimi kıyı çizgisi değişim oranını vermektedir.

Analiz sonuçlarına ait özet istatistiksel bilgiler SCE için Tablo 1, EPR için Tablo 2 ve LRR için Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 1. SCE yöntemiyle analiz sonuçlarına göre kıyı çizgisi değişim miktarları (m) (1987-1998, 1998-2002, 2002-2007, 2007-2011, 1987-2007, 1987-2011).

SCE	1. Bölge	Yıllar	**1987-1998**	**1998-2002**	**2002-2007**	**2007-2011**	**1987-2007**	**1987-2011**
		Ortalama Değer	166,69	154,46	115,18	50,02	374,11	411,85
		Standart Sapma	85,07	93,07	117,80	59,80	173,76	163,90
		Maksimum Değer	301,78	301,99	321,96	215,16	627,32	655,60
		Minimum Değer	6,70	0,31	0,90	1,14	3,43	51,10
	2. bölge	Yıllar	**1987-1998**	**1998-2002**	**2002-2007**	**2007-2011**	**1987-2007**	**1987-2011**
		Ortalama Değer	25,98	27,76	34,05	24,91	57,32	56,51
		Standart Sapma	19,25	19,01	21,73	23,84	29,05	31,96
		Maksimum Değer	68,47	67,95	81,90	138,33	121,14	119,47
		Minimum Değer	0,02	0,09	0,04	0,09	1,50	1,58
	2. Bölge	Yıllar	**1987-1998**	**1998-2002**	**2002-2007**	**2007-2011**	**1987-2007**	**1987-2011**
		Ortalama Değer	19,20	20,55	8,97	7,39	20,40	20,46
		Standart Sapma	16,45	42,12	8,78	5,35	19,87	20,90
		Maksimum Değer	94,93	302,48	31,67	19,46	110,42	114,37
		Minimum Değer	0,10	0,67	0,01	0,06	0,23	0,09

Tablo 2. EPR yöntemiyle analiz sonuçlarına göre kıyı çizgisi değişim oranları (m/yıl) (1987-1998, 1998-2002, 2002-2007, 2007-2011, 1987-2007, 1987-2011).

EPR	1. Bölge	Yıllar	**1987-1998**	**1998-2002**	**2002-2007**	**2007-2011**	**1987-2007**	**1987-2011**
		Ortalama Değer	-13,61	-31,85	-19,52	-9,49	-18,74	-17,20
		Standart Sapma	10,38	32,21	26,19	17,0	8,72	6,85
		Maksimum Değer	6,12	51,90	16,32	23,77	0,17	-2,13
		Minimum Değer	-27,61	-75,86	-63,83	-53,97	-31,43	-27,38
	2. bölge	Yıllar	**1987-1998**	**1998-2002**	**2002-2007**	**2007-2011**	**1987-2007**	**1987-2011**
		Ortalama Değer	-0,18	-0,87	-6,11	0,03	-1,82	-1,51
		Standart Sapma	2,95	8,41	5,18	8,65	2,66	2,25
		Maksimum Değer	5,25	17,07	4,81	12,94	2,97	3,00
		Minimum Değer	-6,26	-15,11	-16,24	-34,70	-6,07	-4,99
	2. Bölge	Yıllar	**1987-1998**	**1998-2002**	**2002-2007**	**2007-2011**	**1987-2007**	**1987-2011**
		Ortalama Değer	-0,96	-2,69	0,23	0,52	-1,00	-0,75
		Standart Sapma	2,11	2,94	2,48	2,23	1,02	0,97
		Maksimum Değer	3,21	3,33	5,66	4,88	0,22	0,78
		Minimum Değer	-8,68	-9,22	-6,28	-3,96	-5,53	-4,78

Tablo 3. LRR yöntemiyle analiz sonuçlarına göre kıyı çizgisi değişim oranları (m/yıl).

LRR	1. Bölge	Yıllar	**1987, 1998, 2002, 2007, 2011**
		Ortalama Değer	-18,15
		Standart Sapma	8,04
		Maksimum Değer	-0,56
		Minimum Değer	-29,67
	2. Bölge	Yıllar	**1987, 1998, 2002, 2007, 2011**
		Ortalama Değer	-1,70
		Standart Sapma	2,26
		Maksimum Değer	2,75
		Minimum Değer	-4,69
	3. Bölge	Yıllar	**1987, 1998, 2002, 2007, 2011**
		Ortalama Değer	-0,85
		Standart Sapma	0,90
		Maksimum Değer	0,52
		Minimum Değer	-4,62

Kıyı çizgilerinin değişimi ile ilgili yapılan araştırmalarda kıyı değişim oranlarının ve mesafelerinin hesaplanmasının yanında toprak kayıpları (erozyon) sonucunda kaybedilen toprak miktarları ve birikme neticesinde ortaya çıkan toprak kazançları da hesaplanmaktadır (Natesan *vd.*, 2012; Adarsa *vd.*, 2012; Theuerkauf ve Rodriguez, 2013; Smith ve Cromley, 2012; Mahapatra *vd.*, 2013; Albuquerque *vd.*, 2013). Toprak kazanç ve kayıplarının hesaplanması için çok sayıda yöntem kullanılmakla birlikte en basit yöntem; kıyı çizgilerinden bölgeye ait alanlar oluşturup, daha sonra bu alanların farkını almaktır. Bu çalışmada, Kızılırmak Deltasının 1987 ile 2011 yılları arasındaki toprak kaybını hesaplayabilmek için poligon alanlarının farkından yararlanılmıştır. Bölgeye ait poligonlar kıyı çizgileri, ana hat ve her bölgeyi birbirinden ayıran transektlerin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Bu amaçla ArcGIS yazılımında çizgi verilerinden kapalı alanlara dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Her bir bölge için 1987 ve 2011 yıllarına ait poligonlar oluşturulduktan sonra alan farkları alınarak bölgelere ait net toprak kayıpları hesaplanmıştır (Tablo 4).

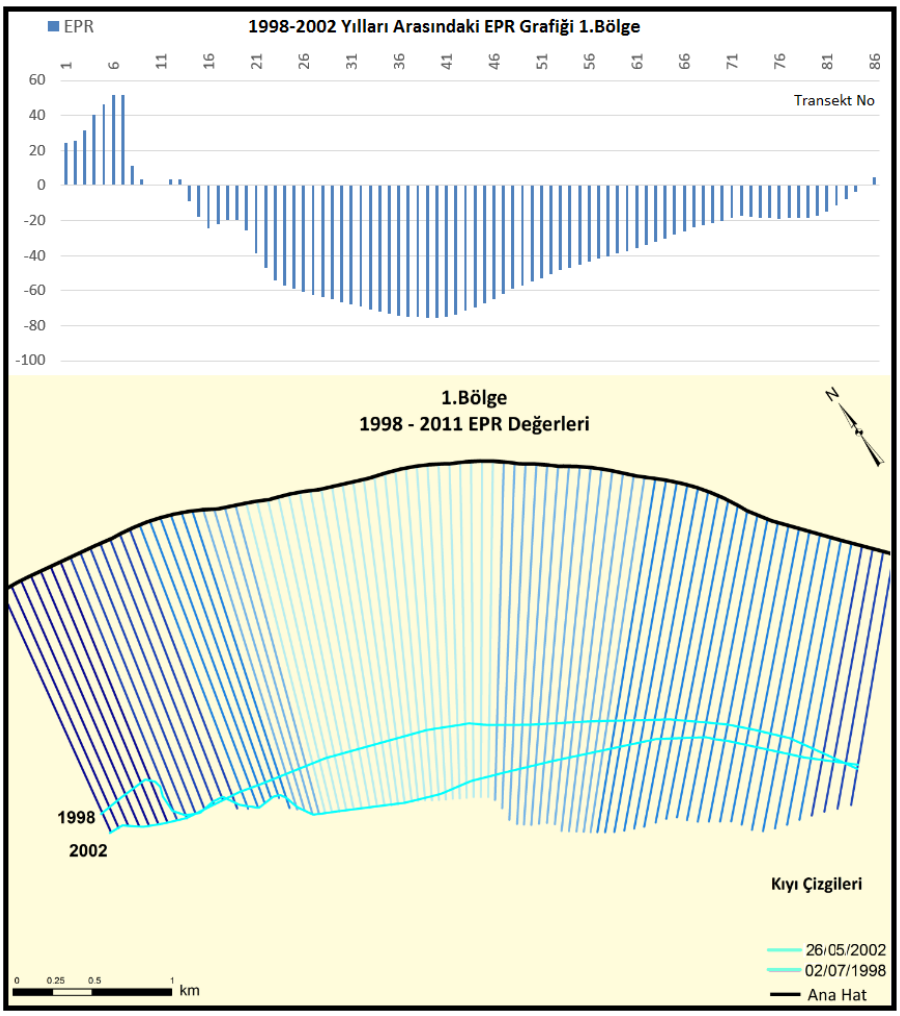
Tablo 4. 1987 ve 2011 yılları arasında gerçekleşen toprak kayıpları.

Bölge	1. Bölge		2. Bölge		3. Bölge	
Tarih	**1987**	**2011**	**1987**	**2011**	**1987**	**2011**
Poligon alanı (ha)	396,3	536,4	596,1	615,1	568,1	578,0
Erozyon (ha)	140,1		19,0		9,9	

5. TARTIŞMA

SCE yöntemine ilişkin sonuçlar incelendiğinde, 1987 ve 2011 yılları arasındaki en büyük kıyı çizgisi değişiminin (kara yönünde gerileme) 655,6 m ile 1. Bölgede gerçekleştiği anlaşılmıştır. 2. Bölgedeki en büyük değişim miktarı 119,47 m ve 3. Bölgedeki en büyük değişim miktarı ise 114,37 m olarak bulunmuştur (Tablo 1).

Gerçekleşen kıyı erozyon oranı (m/yıl) ise EPR ve LRR yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. EPR yönteminde analizler iki kıyı çizgisi kullanılarak gerçekleştirildiğinden, hesaplamalar seçilen farklı tarih aralıklarında ayrı ayrı uygulanmıştır. EPR ile yapılan analizlerin sonucunda 1987-2011 yılları arasındaki en büyük erozyon oranı -27,38 m/yıl ile 1. Bölgede görülmüştür. Aynı tarih aralığında maksimum erozyon oranları 2. Bölgede -4,99 m/yıl, 3. Bölgede ise -4,78 m/yıl olarak hesaplanmıştır (Tablo 2). EPR değerlerine göre en fazla erozyon 1998-2002 yılları arasında ortalama değeri -31,85 m/yıl ve maksimum değeri -75,86 m/yıl olmak üzere 1. Bölgede gerçekleşmiştir (Şekil 7).



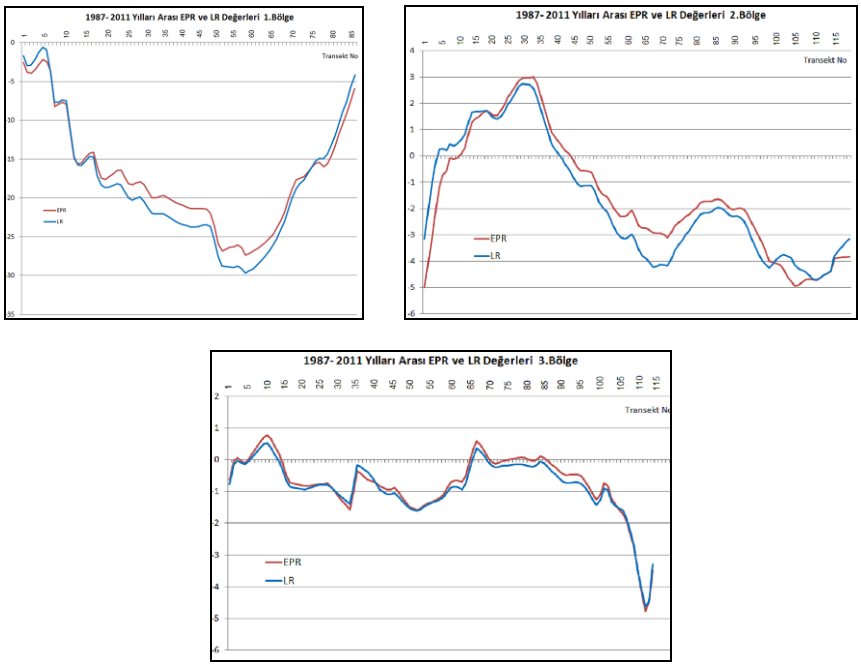
Şekil 7. 1998 ve 2002 yılları arasındaki EPR Grafiği - 1. Bölge.

1988 yılında Altınkaya ve 1990 yılında Derbent barajlarının su tutmaya başlamasının ardından gerçekleşen değişimi irdelemek için 1987-1998 yılları arasındaki EPR analizi sonuçları incelendiğinde, 1. Bölgede kıyı değişim oranının maksimum değerinin -27,61 m/yıl ve ortalama değerin ise -13,61 m/yıl olduğu görülmüştür. Bu sonuç, Kızılırmak Deltasına çok yakın inşa edilen Altınkaya ve Derbent barajlarının ardından, deltanın sediment bütçesinin bozularak küçülmeye başladığını kanıtlamaktadır.

Kıyıda meydana gelen bu erozyonu durdurmak için 1999-2002 yılları arasında yapılan mahmuz çalışmalarından sonraki değişimler incelendiğinde, ortalama değişim oranlarının 1998-2002 yılları arasında -31,85 m/yıl, 2002-2007 yılları arasında -19,52 m/yıl, 2007-2011 yılları arasında ise -9,49 m/yıl olduğu görülmektedir. Baraj inşaatlarından sonraki süreçte meydana gelen kara yönündeki gerileme, mahmuzların tamamlanmasının ardından zaman içerisinde azalma göstermiştir ancak erozyon tam olarak önlenememiştir.

LRR yöntemi ile 1987-2011 yılları arasındaki beş farklı tarih için (1987, 1998, 2002, 2007, 2011) elde edilen kıyı çizgilerinin tamamının aynı anda değerlendirmeye alınmasıyla hesaplanan erozyon oranları incelendiğinde, en yüksek erozyon oranının -29,67 m/yıl ile 1. Bölgede gerçekleştiği görülmüştür. 2. Bölgedeki maksimum erozyon oranı -4,69 m/yıl bulunurken, 3. Bölgedeki erozyon oranı ise -4,62 m/yıl olarak hesaplanmıştır (Tablo 3).

Çalışmada LRR ve EPR yöntemiyle bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında, yöntemlerin yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Şekil 8). 1987-2011 yılları arasında 1. Bölgede ortalama erozyon miktarı EPR yöntemi ile -17,20 m/yıl, LRR yöntemiyle -18,15 m/yıl olarak bulunmuştur. Erozyonun en çok oluştuğu 1. Bölgede görülen maksimum erozyon oranı EPR yöntemiyle -27,38 ve LRR yöntemiyle -29,67'dir (Tablo 2 ve 3).



Şekil 8. 1987-2011 yılları arasında EPR ve LRR değerlerinin karşılaştırılması.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Baraj inşaatlarından sonraki süreçte meydana gelen kara yönündeki gerileme, mahmuzların inşasıyla zaman içerisinde azalma göstermiştir. 2002-2007 yıllarında -63,83 m/yıl olan EPR değeri, 2007-2011 yılları arasında -53,97 m/yıl'a gerilemiştir. 2002-2007 yılları arasında -19,52 m/yıl olan ortalama erozyon oranı ise 2007-2011 yıllarında -9,49 m/yıl olmuştur. Buna göre kıyı erozyonunu önlemek adına alınan tedbirlerin erozyonu azalttığı ancak tam olarak önleyemediği sonucuna ulaşılmaktadır. 1987-2011 yılları arasında yaklaşık toprak kaybı 1. Bölgede 1.40 km², 2. Bölgede 0.19 km², 3. Bölgede ise 0.10 km² olarak hesaplanmıştır. Alınan önlemlere rağmen kıyıda devam eden erozyon, deltaya zarar veren tüm çalışmalardan vazgeçilmesi gerektiği ve önlemlerin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Deltada inşası düşünülen her tesis için delta ve üzerinde yaşayan binlerce canlı üzerindeki olası etkileri düşünülerek hareket edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Adarsa, J., Shamina, S., Arkoprovo, B., 2012. Morphological change study of Ghoramara Island, Eastern India using multi temporal satellite data. *Research Journal of Recent Sciences*, 1(10), 72-81.

Akkan, E., 1970. *Bafra Burnu - Delice Kavşağı Arasında Kızılırmak Vadisinin Jeomorfolojisi.* A.Ü. DTCF Yay.: Ankara; 158.

Albuquerque, M., Espinoza, J., Teixeira, P., Oliveria, A., Correa, I., 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*, 65, 1710-1714. DOI: 10.2112/SI65-289.1.

Alesheikh, A.A., Ghorbanali, A., Nouri, N., 2007. Coastline change detection using remote sensing. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4(1), 61-66.

Çağırankaya, S.S, Meriç, B.T., 2013. *Türkiye'nin Önemli Sulak Alanları, RAMSAR Alanlarımız.* Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Hassas Alanlar Dairesi Başkanlığı: Ankara; 168.

Dolan, R., Fenster, M.S., Holme, S.J., 1991. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, 7(3), 723-744.

Erciyas-Yavuz, K., 2011. Önemli bir doğa alanı: Kızılırmak Deltası**.** Samsun Sempozyumu, 13-16 Ekim 2011, Samsun.

Gentz, A.S., Fletcher, C.H., Dunn, R.A., Frazer, L.N., Rooney, J.J., 2007. The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*, 23(1), 87-105. DOI:10.2112/05-0521.1.

Kökpınar, M.A., Darama, Y., Güler, I., 2007. Physical and numerical modeling of shoreline evaluation of the Kizilirmak river mouth, Turkey. *Journal of Coastal Research*, 23(2), 445-456. DOI: 10.2112/04-0178.1.

Kuleli, T., 2010. Kızılırmak ve Yeşilırmak Deltalarındaki kıyı değişimlerinin Landsat TM ve DSAS ile Belirlenmesi. Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları VIII. Ulusal Kongresi, 27 Nisan-1 Mayıs 2010, Trabzon.

Kuleli, T., Güneroğlu, A., Karslı, F., Dikhan, M., 2011. Automatic detection of shoreline change on coastal Ramsar wetlands of Turkey. *Ocean Engineering*, 38, 1141-1149. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2011.05.006.

Mahapatra, M., Ratheesgh, R., Rajawat, A.S., 2013. Shoreline change monitoring the South Gujarat Coast using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Geology, Earth & Environmental Sciences*, 3(2), 115-120.

Natesan, U., Thulasiraman, N., Deepthi, K., Kathiravan, K., 2012. Shoreline change analysis of Vedaranyam coast, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(6), 5099-5109. DOI: 10.1007/s10661-012-2928-y.

Özdemir, S., 2010. Kızılırmak Deltası'nda Aktüel Kıyı Çizgisi Değişiklikleri ve Sonuçları. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Samsun; 61.

Sertel, E., Fındık, S., Kaya, N., Seker, D.Z., Samsunlu, A., 2008. Assessment of landscape changes in the Kizilirmak Delta, Turkey, using remotely sensed data and GIS. *Environmental Engineering Science*, 25(3), 353-361. DOI: 10.1089/ees.2006.0149.

Smith, J.M., Cromley, R.G., 2012. Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach, *Transactions in GIS*, 16(1), 3-15. DOI: 10.1111/j.1467-9671.2011.01292.x.

Theuerkauf, J.E., Rodriguez, B.A., 2013. Evaluating proxies for estimating subaerial beach volume change across increasing time scales and various morphologies. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(5), 593-604. DOI: 10.1002/esp.3467.

Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., Ergul, A., 2009. *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.

Turoğlu, H., 2010. Kızılırmak deltası ve yakın çevresinin jeomorfolojik özellikleri ve insan yaşamındaki etkileri, *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Anadolu Araştırmaları Dergisi*, 19, 99-111.

Uzun, A., 2005. Samsun ili kıyılarında antropojenik değişmeler. TURQUA Türkiye Kuvaterner Sempozyumu V, 02-05 Haziran 2005, İstanbul.

Uzun, A., 2006. *Samsun Deltaları ve Beklenen Değişmeler, Geçmişten Geleceğe Samsun 1. Kitap*, Samsun Büyükşehir Belediyesi Kültür ve Eğitim Hizmetleri Daire Başkanlığı Yayınları: Samsun, 541-548.

Van, T.T., Binh, T.T., 2009. Application of remote sensing for shoreline change detection in Cuu Long Estuary. *VNU Journal of Science, Earth Sciences*, 25, 217-222.

Yılmaz, C., 2005. Kızılırmak Deltası'nda meydana gelen erozyonun coğrafi analizi. TURQUA Türkiye Kuvaterner Sempozyumu V, 02-05 Haziran 2005, İstanbul.

Yeniyurt, C., Hemmami, M., Çağırankaya, S., Koopmanschap, E., 2011. *Türkiye'nin Ramsar Alanlarında Sulak Alan Yönetim Planları Değerlendirme Raporu*. Doğa Derneği: Ankara; 34.

Yüksek, O., 2008. Samsun'un batı kıyılarındaki erozyonların incelenmesi. TMMOB Samsun Kent Sempozyumu, 27-29 Kasım 2008, Samsun.

Zeybek, H.I., Uzun, A., Yılmaz, C., Özdemir, S., 2011. Kızılırmak Deltası'nda kıyı çizgisi değişikliklerinin sonuçları. Samsun Sempozyumu, 13-16 Ekim 2011, Samsun.

URL 1: Information Sheet on Ramsar Wetlands (RIS) – 2006-2008 version, http://sites.wetlands.org/reports/ris/3TR006%20RIS%202008.pdf (03.04.2014).

URL 2: http://www.samsunkulturturizm.gov.tr/TR,59848/kizilirmak-deltasi.html (22.12.2013).

URL 3: http://barajlar.dsi.gov.tr (05.01.2014).

URL 4: Landsat Bulk Metadata Service, http://landsat.usgs.gov/consumer.php (03.11.2013).