

Kızılırmak Nehrinin Sinüsellik ve Örgülülük Karakteristiklerindeki Zamansal Değişimlerin Belirlenmesi

Derya Öztürk, Faik Ahmet Sesli

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 55139, Samsun.

Özet

Bu çalışma kapsamında yaklaşık 1300 km uzunluğundaki Kızılırmak nehrinin kanal pateni 1987, 2000 ve 2013 yıllarına ait Landsat TM/ETM+/OLI uydu görüntülerinden elde edilen veriler ile Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında üretilmiş ve 1987-2000 ve 2000-2013 periyotları için nehrin sinüsellik ve örgülülük karakteristiklerindeki zamansal değişimler belirlenmiştir. Kızılırmak nehrinin sağ ve sol sahil kıyı çizgileri, akarsu kanalı içerisinde yer alan ada ve barların kıyı çizgileri, NDWI (Normalized Difference Water Index) ve MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) indeksleri entegre edilerek uydu görüntülerinden otomatik olarak çıkartılmıştır. Sinüsellik ve örgülülük özelliklerinin hesabı için gerekli olan veriler, kıyı çizgilerinin CBS ortamında değerlendirilmesiyle elde edilmiştir. Nehrin örgülülüğünü belirlemek için “örgülülük indeksi (BI)”, “örgü-kanal oranı (B)” ve “örgülülük oranı (BR)” ve sinüselliği belirlemek için “sinüsellik indeksi (S)” kullanılmıştır. Kızılırmak nehri toplam 21 alt bölüme ayrılarak incelenmiş ve sonuçlar, topoğrafik ve hidrolojik koşullardaki farklılaşmaların 1987-2000 ve 2000-2013 periyotlarında hem sinüsellik hem de örgülülükte farklı değişim eğilimlerine neden olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Sözcükler

Kızılırmak, Sinüsellik, Örgülülük, Landsat, CBS

1. Giriş

En önemli doğal kaynaklar arasında yer alan akarsuların etkin bir planlama ve yönetim anlayışı içerisinde sürdürülebilirliğinin sağlanması için, doğal ve doğal kabul edilemeyen (kontROLSÜZ) değişimlerin belirlenmesi ve gerekli durumlarda tedbirlerin alınması önemlidir. Akarsu paterninin incelenmesi ve değişimlerin analizi için literatürde sinüsellik ve örgülülük kavramları tanımlanmıştır. Akarsuların sinüselliği ve örgülülüğü, her akarsu için ve bir akarsu boyunca akarsuyun farklı kesimlerinde farklı karakteristikler gösterebilir. Bununla birlikte, doğal ve yapay etkenler zaman içerisinde akarsuların sinüsellik ve örgülülük özelliklerinde değişimlere neden olur.

Akarsuların sinüsellik indeksi, akarsuyun incelenen bölümünde talveg hattı boyunca ölçülen akarsu uzunluğunun, inceleme bölümünde kanalın başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki yatay mesafeye oranıdır (Crosato, 2008). Ancak, talveg hattı dip topoğrafyasıyla ilgilidir ve batimetrik ölçümler gerektirir (Eziashi, 1999). Friend ve Sinha (1993) tarafından modifiye edilen sinüsellik indeksi (S); akarsuyun incelenen bölümünde ana kanalın merkez hattı uzunluğunun, kanalın başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki yatay mesafeye oranlanmasıyla (Eşitlik 1) bulunur (Friend ve Sinha, 1993). 1.5'ten daha düşük sinüsellik indeksine sahip akarsular sinüs, 1.5'ten fazla olan akarsular ise menderes akarsular olarak adlandırılır (Singh, 2005).

$$S = \frac{L_{cmax}}{L_0} \quad (1)$$

Burada; L_{cmax} inceleme bölümünde başlangıç ve bitiş noktaları arasında talveg hattı veya ana kanalın merkez hattının uzunluğu ve L_0 inceleme bölümünde başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki yatay mesafedir.

Örgülülük, akarsu kanalının birden çok sayıda daha küçük kanala ayrılması ve bu kanalların bağlanmasıdır (Briggs ve Smithson, 1986). Örgülü akarsular, ada ve barlarla ayrılan ve yeniden birleşen çoklu ve karmaşık bir kanal yapısı gösterirler (Jagers, 2003). Akarsu örgülülüğü için çok sayıda parametre tanımlanmıştır. Bunlardan başlıcaları Brice (1964) “örgülülük indeksi”, Friend ve Sinha (1993) “örgü-kanal oranı” ve Görendağlı (2010) “örgülülük oranı”dır.

Örgülülük indeksi (braiding index: BI), akarsuyun inceleme bölümünde akarsuda yer alan ada ve barların çevre uzunluklarının toplamının inceleme bölümünde kanalın başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki yatay mesafeye oranıdır. Çoğu ada veya barın uzunluğu (kanala paralel) genişliğinden önemli derecede büyüktür. Dolayısıyla, ada ve barların çevre uzunluğu, ada ve bar uzunluğunun yaklaşık 2 katı olacaktır (Brice, 1964; Friend ve Sinha, 1993). Bu nedenle Brice (1964) tarafından önerilen BI örgülülük indeksi ada ve bar uzunluklarının toplamının 2 katının, akarsu kıyılarının merkez hattının uzunluğuna oranlanmasıyla (Eşitlik 2) hesaplanır (O'Neill ve Thorp, 2011).

$$BI = 2(\sum L_i) / L_r \quad (2)$$

Burada; $\sum L_i$ akarsuyun incelenen bölümünde tüm ada ve barların toplam uzunluğu ve L_r akarsuyun incelenen bölümünde kanal kuşağının kıyıları arasında merkez hat olarak ölçülen uzunluktur.

Örgü-kanal oranı (braid-channel ratio: B), inceleme bölümünde tüm kanalların uzunluklarının en geniş kanalın uzunluğuna bölünmesiyle (Eşitlik 3) elde edilir (Friend ve Sinha, 1993; O'Neill ve Thorp, 2011).

$$B = L_{ctot} / L_{cmax} \quad (3)$$

Burada; L_{ctot} akarsuyun incelenen bölümünde tüm segmentlerin merkez hat uzunluklarının toplamı ve L_{cmax} akarsuyun incelenen bölümünde en geniş kanalın merkez hat uzunluğudur (Friend ve Sinha, 1993).

Örgölölük oranı (braiding ratio: BR), akarsuyun incelenen bölümünde ada ve barların toplam alanının, toplam kanal alanına oranlanmasıyla (Eşitlik 4) hesaplanır (Görendağlı, 2010).

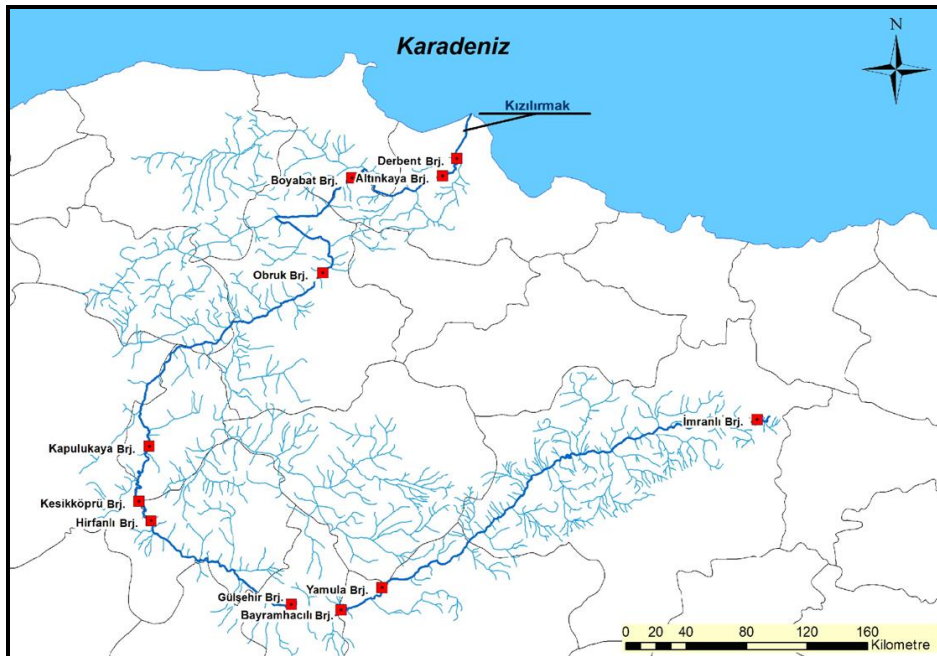
$$BR = A_{bi} / A_c \quad (4)$$

Burada; A_{bi} akarsuyun incelenen bölümünde ada ve barların toplam alanı ve A_c toplam kanal alanıdır.

Bu çalışmayla Türkiye topraklarından doğarak yine Türkiye topraklarından denize dökülen en uzun akarsu olması özelliğiyle ülkemizin en önemli akarsularından biri olan Kızılırmak Nehrinin kaynak ve çıkış ağız arasında nehrin tamamına yönelik bir araştırma yapılmış, 1987, 2000 ve 2013 yılları için nehrin planimetrik geometrisi analiz edilerek sinüselliik ve örgölölükteki zamansal değişimler belirlenmiştir.

2. Kızılırmak Nehri

Kızılırmak nehri (Şekil 1), Türkiye topraklarından doğarak yine Türkiye topraklarından denize dökülen en uzun akarsudur (ÇOB, 2004; OSB, 2014a). Nehir adını akarsu yatağının tabanında bulunan, 3. zaman ortalarında çökelmiş kırmızı renkteki kumlu-killi tortudan almaktadır (Önal, 2009; Bahadır, 2011) ve uzunluğu yaklaşık olarak 1300 km'dir (ÇOB, 2004). Nehir, Sivas ilinde bulunan Kızıldağ'ın güney yamaçlarından yaklaşık 39.80° kuzey ve 38.80° doğu noktasından doğar, ilk önce batı ve güney batıya doğru akar, daha sonra yay şeklinde biçimlenir. Bu noktadan sonra ilk olarak batıya, daha sonra güneybatıdaki Tuz Gölü'nün kuzey doğusundan geçerek kuzey batıya akar. Daha sonra kuzey ve kuzeydoğuya yönelir. Bu kesimde en büyük kollarından biri olan Delice Irmağı ile birleşir ve sonra kıvrımlar yaparak kuzeybatıya akar. Bu kesimden sonra Devrez Çayı ile birleşir ve kuzeydoğuya doğru döner. Kızılırmak nehri 41.72° kuzey ve 35.95° doğu noktasında Bafra Burnundan Karadenize dökülür (Önal, 2009; Bahadır, 2011). Nehir bu akış sırasında sırasıyla Sivas, Kayseri, Nevşehir, Kırşehir, Kırıkkale, Ankara, Çankırı, Çorum ve Samsun illerinden geçer ve çok sayıda dere ve çayın sularını toplar (ÇOB, 2004). Nehrin izlediği bu yol büyük ölçüde neotektonik dönemde oluşmuş aktif fay kuşakları tarafından belirlenmiştir (Doğan vd., 2009). Yağmur ve kar sularıyla beslenen nehrin rejimi düzensizdir (ÇOB, 2004). Temmuz ve Şubat arasında düşük su düzeyinde akan nehir, Mart ayında hızla kabarmaya başlar ve Nisan ayında en yüksek su düzeyine ulaşır. Nehrin ortalama debisi 184 m³/sn'dir. 1972-2007 yılları arasındaki 35 yıllık gözlem süresince debinin en az 18.4 m³/sn ve en çok 1673 m³/sn olduğu tespit edilmiştir. Kızılırmak'ın suları yazın alçalarak Ağustos ayında en düşük düzeye iner (Bahadır, 2011). Kızılırmak, antik çağda tuzlu akarsu anlamına gelen "Halys" adıyla da anılır. Genellikle jipsli araziden akarak gelen Kızılırmak'ın suları tuzlu ve acıdır (OSB, 2014a). Kızılırmak nehrinin binlerce yıl süresince taşıdığı alüvyonlar (Akkan, 1970; Yılmaz, 2005) uluslararası öneme sahip olan ve Ramsar sözleşmesiyle koruma altına alınan Kızılırmak Deltasını oluşturmuştur (Erciyas-Yavuz, 2011; Yeniurt vd., 2011; Çağrankaya ve Meriç, 2013). Kızılırmak nehrinin drenaj alanı 78180 km² (OSB, 2014b) olup, nehrin ana kolu üzerinde şu anda toplam 11 adet baraj (Şekil 1) bulunmaktadır (DSİ, 2014).



Şekil 1. Kızılırmak nehri

3. Veri ve Yöntem

Kızılırmak nehrinin sinüselliik ve örgürlölük parametrelerini belirlemek ve değışimleri analiz etmek için 1987 yılına ait Landsat TM, 2000 yılına ait Landsat ETM+ ve 2013 yılına ait Landsat OLI görüntüleri kullanılmıştır. Her bir analiz yılı için 9'ar adet olmak üzere kullanılan toplam görüntü sayısı 27'dir. Görüntülerin mümkün olduğunca yılın aynı döneminde (Kraus ve Rosati, 1997) ve atmosferik koşulların uygun olması sebebiyle yaz ve yaz mevsimine yakın dönemlerde seçilmesine (Barnard vd., 2008) özen gösterilmiştir. Kullanılan verilerin path/row bilgileri ve tarihleri: 1987 yılı Landsat-5 TM (174/32 (15-09-1987), 174/33 (30-08-1987), 175/32 (20-07-1987), 175/33 (04-07-1987), 176/31 (27-07-1987), 176/32 (28-08-1987), 176/33 (27-07-1987), 177/32 (18-07-1987), 177/33 (18-07-1987)); 2000 yılı Landsat-7 ETM+ (174/32 (22-06-2000), 174/33 (22-06-2000), 175/32 (13-06-2000), 175/33 (13-06-2000), 176/31 (23-08-2000), 176/32 (06-07-2000), 176/33 (08-09-2000), 177/32 (10-05-2000), 177/33 (10-05-2000)); 2013 yılı Landsat-8 OLI (174/32 (01-05-2013), 174/33 (20-07-2013), 175/32 (25-06-2013), 175/33 (11-07-2013), 176/31 (31-05-2013), 176/32 (31-05-2013), 176/33 (03-08-2013), 177/32 (23-06-2013), 177/33 (25-07-2013)). Uydu görüntülerinin işlenmesinde ENVI 5.1, kıyı çizgilerinin çıkarımı, morfolojik indekslerin belirlenmesi ve değışim analizinde ArcGIS 10.0 yazılımları kullanılmıştır.

Kızılırmak nehrinin sinüselliik ve örgürlölük karakteristiklerindeki zamansal değışimlerin belirlenmesi için 1987, 2000 ve 2013 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılarak, 1987-2000 ve 2000-2013 periyotları için değışimler belirlenmiştir. Nehrin örgürlölüğünü belirlemek için i) Brice (1964) "örgürlölük indeksi", ii) Friend ve Sinha (1993) "örgü-kanal oranı", iii) Görendağlı (2010) "örgürlölük oranı"; sinüselliği belirlemek için Friend ve Sinha (1993) tarafından modifiye edilen "sinüselliik indeksi" kullanılmıştır.

3.1. Görüntülerde Ön işlemler: Rektifikasyon, Radyometrik Kalibrasyon, Radyometrik Düzeltme

2013 yılına ait Landsat OLI görüntüleri 1/25.000 ve 1/100.000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılarak rektifiye edilmiş ve daha sonra 2000 ve 1987 yıllarına ait görüntüler 2013 görüntüsü kullanılarak görüntüden görüntüye referanslandırılmıştır. İşlemler sırasında toplam karesel ortalama hatanın 0.5 pikselin altında kalmasına özen gösterilmiştir. Landsat TM, ETM+ ve OLI sensörleri tarafından kaydedilen değerler TOA (Top of Atmosphere) yansıtım değerlerine dönüştürülmüştür. Bu normalleştirme işlemi farklı sensörlerle elde edilen görüntüleri karşılaştırırken ve farklı görüntüleri kullanarak görüntü mozaigi oluştururken sensör farklılıkları ve solar zenit açısı farklılıkları nedeniyle görüntüler arasında oluşan farklılaşmaların ortadan kaldırılmasında büyük önem taşır (Bruce ve Hilbert, 2006; Chander vd., 2009; GIS Ag Maps, 2011; U.S. Geological Survey, 2013). TOA yansıtım değerlerine dönüştürülen verilerde DOS (Dark Object Subtraction) (Chavez, 1996) modeli uygulanmıştır. DOS, değışim belirleme çalışmalarında radyometrik düzeltme için en iyi yöntemler arasında düşünülen ve yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır (Song vd., 2001; Mancino vd., 2014). DOS modelinin temel avantajı tamamen görüntü tabanlı olması, arazi çalışması gerektirmemesi ve dolayısıyla uygulanmasının basit oluşudur (Chavez, 1996).

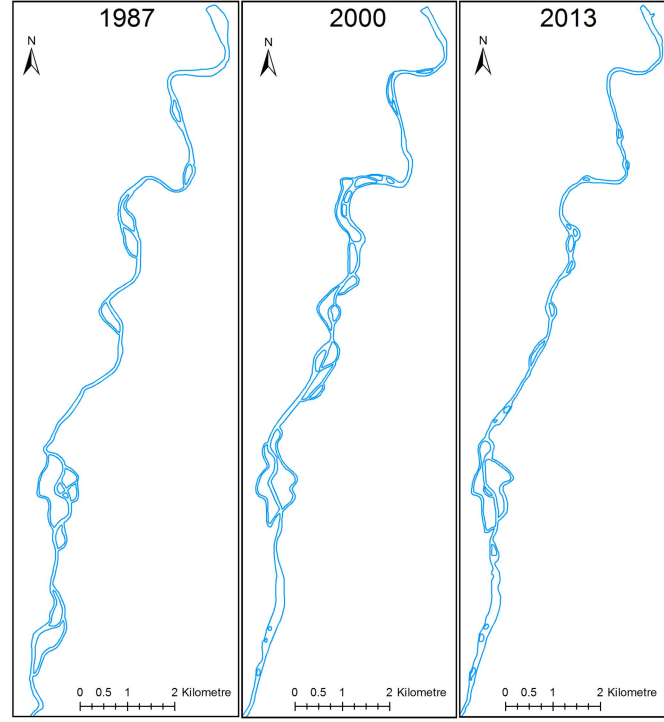
3.2. Kıyı Çizgilerinin Belirlenmesi

Harita üretimi amaçlı çalışmalarda yüksek su seviyesi kıyı çizgisinin göstergesi olarak kabul edilir (Pajak ve Leatherman, 2002). Bu çalışmada da yüksek su seviyesi kıyı çizgisinin göstergesi olarak kabul edilmiş, Kızılırmak nehrinin sağ ve sol sahil kıyı çizgilerinin ve nehrin içerisinde yer alan ada ve barların kıyı çizgilerinin çıkartılmasında NDWI (Normalized Difference Water Index) ve MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) uygulanmıştır (Tablo 1). Görüntüler üzerinden kontrollü olarak seçilen pikseller yardımıyla NDWI ve MNDWI görüntülerine eşik değeri uygulanmış ve kara için 1 ve su için 0 değeri kodlanarak binary görüntüler elde edilmiştir. Binary kodlanmış bu indeks görüntüleri "mantıksal ve operatörü" ile birleştirilerek (indeks görüntüleri çarpılmış) sonuç görüntü elde edilmiştir. Bu şekilde yeşil ve yakın kızılötesi bantları kullanan NDWI ve yeşil ve orta kızılötesi bantları kullanan MNDWI indekslerinin sonuçları entegre edilerek kıyı çizgisi için sonuç hassasiyet artırılmıştır. Orta kızılötesi için SWIR 1 bantları kullanılmıştır. Kara ve su olarak kodlanmış raster formundaki sonuç görüntülerde raster-vektör dönüşümü uygulanmıştır. Vektör forma dönüştürülen kıyı çizgileri çeşitli bant kombinasyonlarından görsel yorumlama ile editlenmiş ve gerekli yerlerde düzeltmeler yapılmıştır. Dar akarsu bölümlerinde kıyı çizgilerinin, özellikle akarsu su seviyesinin düşük olduğu dönemlere ait görüntülerden ayırt edilebilirliği azalmış ve bu bölgelerde elde edilen kıyı çizgileri daha fazla editleme gerektirmiştir. Editlenen kıyı çizgileri poligon formuna dönüştürülerek veritabanına aktarılmıştır. Kızılırmak nehrinin 1987, 2000 ve 2013 yılları için elde edilen vektör formundaki kıyı çizgilerinin mansap kısmındaki yaklaşık 18 km'lik bölümü Şekil 2'de gösterilmektedir. Görüntüdeki kesitte örgülenme yapısındaki değışim açıkça görülmektedir.

Tablo 1. Kıyı çizgilerinin çıkartılmasında kullanılan indeksler

İndeks	Eşitlik	Referans
Normalized Difference Water Index	$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$	McFeeters, 1996
Modified Normalized Difference Water Index	$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR)$	Xu, 2006

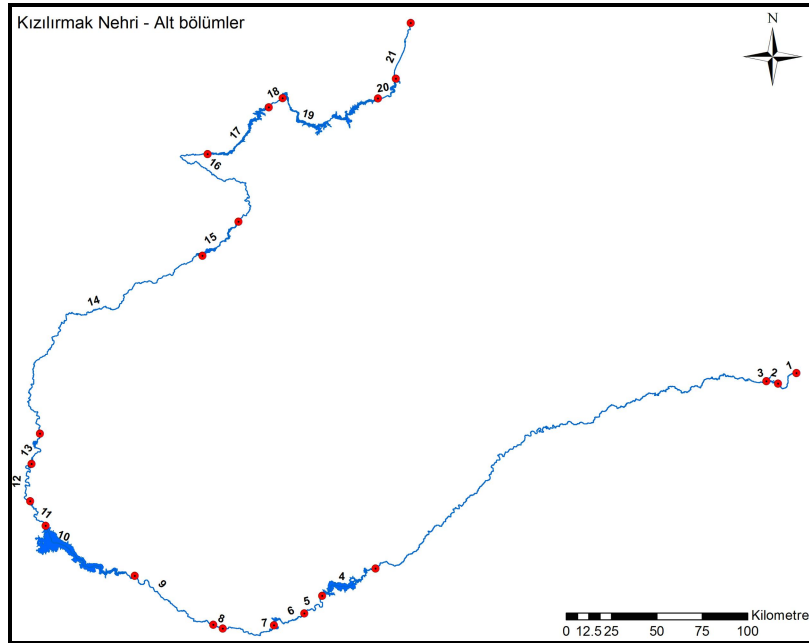
Poligon formundaki akarsu kanallarından merkez hatları oluşturulmuştur. Akarsu merkez hat uzunluğunun en önemli özelliği, su seviyesindeki değişimlere bağlı olarak sonucun değişmemesidir (Friend ve Sinha, 1993). Bu nedenle uydu görüntüsünün mevsimi, kanal merkez hattının ölçümünde bir sorun yaratmamaktadır.



Şekil 2. Kızılırmak nehrinin 1987, 2000 ve 2013 yılı uydu görüntülerinden elde edilen kıyı çizgilerinin mansap bölümünden küçük bir kesiti

3.3. Sinüselli ve Örgürlük Karakteristiklerinin Belirlenmesi

1987 ve 2013 yılları arasında nehrin üzerinde çok sayıda baraj inşa edildiğinden dolayı 1987, 2000 ve 2013 yıllarına ait analizler için baraj göl alanları dikkate alınarak nehir 21 alt bölüme ayrılarak incelenmiştir (Şekil 3). Oluşturulan bölümler membadan mansaba doğru 1'den başlayarak numaralandırılmıştır. Barajların karşılık geldiği bölümler Tablo 2'de gösterilmiştir.



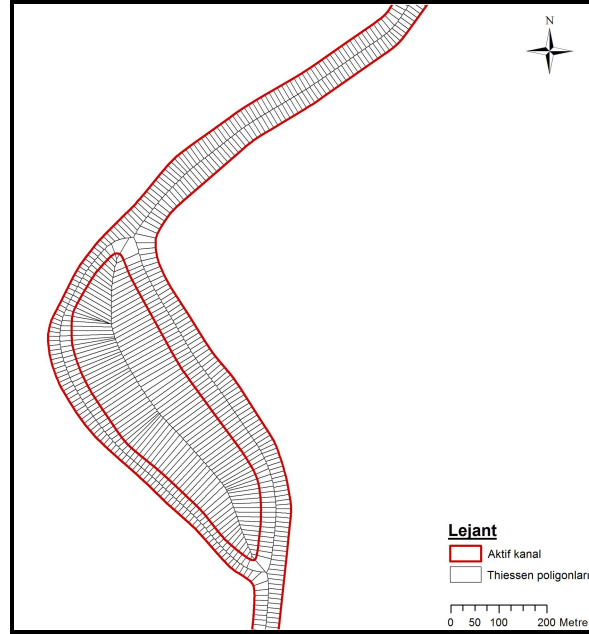
Şekil 3. Kızılırmak nehrinin analizi için oluşturulan alt bölümler

Tablo 2. İnceleme bölümlerinde 1987, 2000 ve 2013 yıllarında baraj bulunması durumu. x işaretli bölümlerde baraj gölü bulunmaktadır. Bölümlerde yer alan barajlar ve inşa yılları: (Bölüm 2: İmranlı (2002); Bölüm 4: Yamula (2005); Bölüm 6: Bayramhacılı (2011); Bölüm 8: Gülşehir (2012); Bölüm 10: Hirfanlı (1959); Bölüm 11: Kesikköprü (1966); Bölüm 13: Kapulukaya (1989); Bölüm 15: Obruk (2007); Bölüm 17: Boyabat (2012); Bölüm 19: Altınkaya (1987); Bölüm 20: Derbent (1990)) (DSİ, 2014)

Yıl	Bölüm no																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1987										x	x								x		
2000										x	x		x						x	x	
2013		x		x		x		x		x	x		x		x		x		x	x	

Kızılırmak nehrinin sinüselliik ve örgürlölük karakteristiklerinin belirlenmesinde sinüselliik indeksi ve üç farklı örgürlölük parametresi kullanılmıştır. Sinüselliik ve örgürlölük hem tek kanallı hem de çok kanallı akarsu yapılarında kanal paternini tanımlamak için kullanılabilir (Eziashi, 1999).

Bu çalışmada, BI örgürlölük indeksi için akarsuyun sağ ve sol sahil kıyı çizgileri arasındaki merkez hattı, B örgü-kanal oranı ve sinüselliik indeksinin hesaplanmasında ise en geniş akarsu kolunun merkez hattı oluşturulmuştur. Bu amaçla Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında kıyı çizgileri üzerinde 10 metre aralıklarla noktalar oluşturulmuş ve Thiessen poligonları yaratılmıştır (Şekil 4). Thiessen poligonlarından merkez hattı oluşturularak veritabanına aktarılmıştır. 1987, 2000 ve 2013 yılları için ardışık olarak bu işlemler tekrarlanmıştır. Ayrıca ada ve barların alanları ve ada ve barların akarsu kıyısına paralel olan uzunlukları (L_r) hesaplanarak öznitelik verisi olarak veritabanına aktarılmıştır. Tüm verilere ait oldukları alt bölümün numarası öznitelik olarak atanmış ve 21 bölüm için analizler ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 1987 yılı verilerinde Thiessen poligonlarının küçük bir kesiti

Sinüselliğin belirlenmesinde ana kanalın merkez hattı üzerinde nehrin sinüs karakteristiğini temsil edecek şekilde (Cooley, 2014) 3 km aralıklarla düzenli olarak noktalar atılmıştır. Ayrıca barajların başlangıç ve bitiş noktaları da işaretlenmiştir. Oluşturulan her bir parça için sinüselliik hesaplanarak her bölüm için ayrı ayrı ortalama değerler oluşturulmuştur.

Sinüselliik ve örgürlölüğün derecelendirilmesinde Tablo 3'teki ölçek kullanılmıştır. Örgürlölük karakteri, ada ve barların azlığının-çokluğunun bir fonksiyonudur (Ethridge ve Schumm, 2007). Örgürlölük derecesi ada ve/veya bar içeren kanal uzunluğunun yüzde olarak temsil edilmesiyle kantitatif olarak ifade edilir (Summerfield, 1991).

Tablo 3. Sinüselliik ve örgürlölük derecelendirmesi (Ethridge ve Schumm, 2007)

Derece	Sinüselliik	Örgülenme ve anastomozlaşma
0	-	< 5 %
1	1-1.05	5-34 %
2	1.06-1.25	35-65 %
3	>1.26	>65 %

4. Bulgular ve Tartışma

21 bölüme ayrılarak incelenen Kızılırmak nehrinin 1987, 2000 ve 2013 yılları için hesaplanan en geniş kanalın merkez hat uzunlukları ve kanal merkez hat uzunlukları Tablo 4'te verilmektedir. En geniş kanalın merkez hat uzunluklarının toplamı 1987 yılında 1316.053 km, 2000 yılında 1313.438 km ve 2013 yılında 1292.462 km; kanal merkez hat uzunluklarının toplamı ise 1987 yılında 1302.230, 2000 yılında 1301.541 ve 2013 yılında 1280.969 km'dir. Tablo 4 incelendiğinde kanal uzunluklarındaki değişimlerin 2000-2013 periyodunda 1987-2000 periyodunda gerçekleşenden daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 4. Kızılırmak nehrinin her bir bölümü için kanal uzunluklarının yıllara göre değişimi

Bölüm no	En geniş kanalın merkez hat uzunluğu (km)			Merkez hat uzunluğu (km)		
	1987	2000	2013	1987	2000	2013
Bölüm 1	19.263	19.097	19.165	19.263	19.097	19.067
Bölüm 2	7.985	7.920	7.591	7.985	7.920	7.591
Bölüm 3	359.675	359.691	356.290	355.887	356.250	354.313
Bölüm 4	54.167	53.758	43.028	53.561	53.166	43.662
Bölüm 5	23.814	23.813	23.752	23.752	23.827	23.585
Bölüm 6	24.145	24.237	23.985	24.145	24.240	23.985
Bölüm 7	44.541	44.528	43.183	43.881	44.010	42.945
Bölüm 8	6.508	6.835	6.228	6.464	6.730	6.228
Bölüm 9	64.903	66.054	66.062	62.863	64.484	64.454
Bölüm 10	70.964	71.276	71.727	70.964	71.276	71.727
Bölüm 11	23.500	23.733	23.361	23.500	23.733	23.361
Bölüm 12	40.812	40.647	40.537	40.318	39.765	39.943
Bölüm 13	24.283	24.114	23.975	24.127	24.114	23.975
Bölüm 14	203.670	205.684	209.286	201.201	202.170	203.202
Bölüm 15	34.283	34.019	32.482	33.341	33.666	32.422
Bölüm 16	98.168	98.670	99.230	97.904	98.679	98.802
Bölüm 17	58.934	58.758	52.968	58.831	58.592	52.968
Bölüm 18	11.345	11.021	11.247	11.164	10.791	10.998
Bölüm 19	82.381	80.792	79.525	82.381	80.605	79.525
Bölüm 20	23.450	22.674	22.638	23.413	22.674	22.638
Bölüm 21	39.262	36.117	36.202	37.285	35.752	35.578
Toplam	1316.053	1313.438	1292.462	1302.230	1301.541	1280.969

1987, 2000 ve 2013 yılları için sinüselliik indekslerine ait özet istatistiksel bilgiler ve Tablo 3'teki ölçek kullanılarak 21 bölüm için belirlenen sinüselliik dereceleri parantez içerisinde Tablo 5'te verilmiştir. En yüksek ortalama sinüselliik 1987 yılında 1.464 değeri ile 7 no.lu bölümde, 2000 yılında 1.419 değeri ile 12 no.lu bölümde ve 2013 yılında 1.451 değeri ile yine 12 no.lu bölümde görülmüştür. En düşük ortalama sinüselliik 1987 yılında 1.117 değeri ile 10 no.lu bölümde, 2000 yılında 1.106 değeri ile yine 10 no.lu bölümde ve 2013 yılında ise 1.091 değeri ile 8 no.lu bölümde görülmüştür. Ortalama sinüselliik değeri incelendiğinde ise her üç yıl için de 7 ve 12 no.lu bölümlerde diğer bölümlerden daha yüksek değerler elde edildiği görülmektedir.

Sinüselliik indeksinde 1987-2000 periyodunda 3, 5, 9, 14, 15 ve 16 no.lu bölümlerde artış, diğer bölümlerde ise azalma gözlemlenmiştir. 2000-2013 periyodunda ise 1, 10, 12, 14, 16 ve 18 no.lu bölümlerde artış, diğer bölümlerde azalma gözlemlenmiştir. 1987-2000 periyodunda en yüksek artış 9 no.lu bölümde (0.041), en yüksek düşüş 7 no.lu bölümde (-0.110); 2000-2013 periyodunda en yüksek artış 18 no.lu bölümde (0.046), en yüksek düşüş 17 no.lu bölümde (-0.139) gerçekleşmiştir. Tablo 5 incelendiğinde sinüselliik indeksinde 2000-2013 periyodunda 1987-2000 periyoduna göre daha fazla değişim yaşandığı görülmektedir. Sinüselliik dereceleri her bir bölümde genel olarak stabil görünse de 4 no.lu bölümde 1987 ve 2000 yıllarında 3 olan sinüselliik derecesi 2013 yılında 2'ye düşmüştür. 14 no.lu bölümde 1987 ve 2000 yıllarında 2 olan sinüselliik derecesi 2013 yılında 3'e çıkmıştır. 17 no.lu bölümde ise 1987 yılında 3 olan sinüselliik derecesi 2000 ve 2013 yılları için 2'dir.

Ada ve barların toplam sayısı ve alanlarına ilişkin bilgiler Tablo 6'da gösterilmektedir. 1987 yılında toplam ada ve bar sayısı 384 ve ada ve bar alanlarının toplamı 2023.457 ha iken, 2000 yılında toplam ada ve bar sayısı 329 ve ada ve bar alanlarının toplamı da 1368.320 ha'dır. 2013 yılında ise toplam ada ve bar sayısı 272 ve ada ve bar alanlarının toplamı 1252.334 ha'dır. Tablo 6 incelendiğinde toplam ada ve bar sayısı 1987-2000 periyodunda 55 adet, 13 ve 20 no.lu bölümler hariç tutulduğunda ise (bu bölümlerde 1987 yılından sonra baraj yapılmıştır) 43 adet; 2000-2013 periyodunda 57 adet, 2, 4, 6, 8, 15 ve 17 no.lu bölümler hariç tutulduğunda ise (bu bölümlerde 2000 yılından sonra baraj yapılmıştır) 26 adet azalmıştır. 1987, 2000 ve 2013 yılları için ada ve barların toplam alanları ele alındığında en yüksek değer 1987 yılında 9, 2000 yılında 14 ve 2013 yılında yine 14 no.lu bölümde görülmektedir. Toplam ada ve bar alanlarındaki en fazla değişimlerin 3, 9, 14 ve 21 no.lu bölümlerde gerçekleştiği görülmektedir. Toplam ada ve bar alanları 1987-2013 periyodunda 3, 9 ve 21 no.lu bölümlerde azalmış, 14 no.lu bölümde artmıştır.

Tablo 5. Kızılırmak nehrinin 1987, 2000 ve 2013 yılları için sinüselliik indeksi özet istatistiksel değerleri

Bölüm no	sinüselliik								
	1987			2000			2013		
	Ort.	Maks.	Min.	Ort.	Maks.	Min.	Ort.	Maks.	Min.
Bölüm 1	1.131 (2)	1.204	1.063	1.119 (2)	1.163	1.049	1.126 (2)	1.199	1.042
Bölüm 2	1.220 (2)	1.399	1.093	1.201 (2)	1.241	1.169	1.159 (2)	1.217	1.045
Bölüm 3	1.338 (3)	2.714	1.042	1.355 (3)	2.843	1.049	1.322 (3)	2.980	1.038
Bölüm 4	1.313 (3)	1.646	1.030	1.297 (3)	1.625	1.026	1.167 (2)	1.468	1.016
Bölüm 5	1.277 (3)	1.424	1.122	1.306 (3)	1.776	1.073	1.277 (3)	1.453	1.127
Bölüm 6	1.163 (2)	1.233	1.089	1.156 (2)	1.262	1.084	1.123 (2)	1.242	1.036
Bölüm 7	1.464 (3)	3.303	1.036	1.354 (3)	2.761	1.020	1.313 (3)	2.655	1.020
Bölüm 8	1.240 (2)	1.417	1.063	1.201 (2)	1.423	1.056	1.091 (2)	1.119	1.046
Bölüm 9	1.143 (2)	1.370	1.030	1.184 (2)	1.498	1.052	1.163 (2)	1.308	1.025
Bölüm 10	1.117 (2)	1.532	1.006	1.106(2)	1.694	1.011	1.122 (2)	1.521	1.006
Bölüm 11	1.251 (2)	1.539	1.048	1.248 (2)	1.662	1.038	1.245 (2)	1.506	1.049
Bölüm 12	1.455 (3)	2.134	1.052	1.419 (3)	2.111	1.070	1.451 (3)	2.149	1.061
Bölüm 13	1.229 (2)	1.653	1.030	1.148 (2)	1.300	1.034	1.145 (2)	1.354	1.015
Bölüm 14	1.237 (2)	1.954	1.040	1.242 (2)	2.162	1.027	1.263 (3)	1.698	1.028
Bölüm 15	1.191 (2)	1.381	1.033	1.200 (2)	1.478	1.047	1.096 (2)	1.229	1.028
Bölüm 16	1.194 (2)	1.496	1.032	1.221 (2)	1.807	1.027	1.249 (2)	2.084	1.022
Bölüm 17	1.259 (3)	1.871	1.079	1.247 (2)	1.860	1.087	1.108 (2)	1.401	1.022
Bölüm 18	1.182 (2)	1.321	1.096	1.159 (2)	1.420	1.013	1.205 (2)	1.519	1.045
Bölüm 19	1.218 (2)	2.706	1.020	1.176 (2)	2.548	1.023	1.110 (2)	1.277	1.020
Bölüm 20	1.290 (2)	1.496	1.055	1.225 (2)	1.423	1.025	1.221 (2)	1.386	1.020
Bölüm 21	1.207 (2)	1.737	1.014	1.138 (2)	1.556	1.020	1.134 (2)	1.535	1.017

Tablo 6. Kızılırmak nehrinin 1987, 2000 ve 2013 yılları için ada ve bar sayıları, ada ve bar alanları

Bölüm no	Ada ve barların toplam sayısı (1987)	Ada ve barların toplam alanı (ha) (1987)	Ada ve barların toplam sayısı (2000)	Ada ve barların toplam alanı (ha) (2000)	Ada ve barların toplam sayısı (2013)	Ada ve barların toplam alanı (ha) (2013)
Bölüm 1	0	0.000	0	0.000	2	2.441
Bölüm 2	0	0.000	0	0.000	0	0.000
Bölüm 3	78	397.677	68	308.503	50	80.697
Bölüm 4	14	36.228	11	26.509	0	0.000
Bölüm 5	1	3.119	1	1.796	2	10.847
Bölüm 6	0	0.000	2	1.646	0	0.000
Bölüm 7	19	41.197	14	34.184	9	25.505
Bölüm 8	5	21.054	3	14.453	0	0.000
Bölüm 9	74	613.117	44	260.764	36	332.981
Bölüm 10	0	0.000	0	0.000	0	0.000
Bölüm 11	0	0.000	0	0.000	0	0.000
Bölüm 12	18	53.908	24	61.881	23	66.753
Bölüm 13	6	7.909	0	0.000	0	0.000
Bölüm 14	100	420.587	113	414.482	106	613.459
Bölüm 15	13	41.743	12	43.189	0	0.000
Bölüm 16	11	21.767	3	5.900	6	8.248
Bölüm 17	2	6.419	3	5.502	0	0.000
Bölüm 18	3	12.532	3	10.117	2	8.478
Bölüm 19	0	0.000	0	0.000	0	0.000
Bölüm 20	6	65.432	0	0.000	0	0.000
Bölüm 21	34	280.768	28	179.394	36	102.925
Toplam	384	2023.457	329	1368.320	272	1252.334

Tablo 7'de 1987, 2000 ve 2013 yılları için BI örgürlük indeksi, B örgü-kanal oranı ve BR örgürlük oranı değerleri verilmiştir (Baraj olan bölümlerde örgürlük değerleri 0'dır: 1987 yılı için 10, 11, 19; 2000 yılı için 10, 11, 13, 19, 20; 2013 yılı için 2, 4, 6, 8, 10, 11, 13, 15, 17, 19 ve 20 no.lu bölümler). Baraj bölgesi olmamasına rağmen, hiçbir ada ve bar barındırmayan ve dolayısıyla örgürlük değeri 0 olan bölümler 1987 yılı için 1, 2 ve 6; 2000 yılı için 1 ve 2 no.lu bölümlerdir. BI örgürlük indeksi ele alındığında en yüksek örgürlük indeksinin 9 ve 21 no.lu bölümlerde bulunduğu anlaşılmaktadır. Tablo 3'teki ölçek kullanılarak 21 bölüm için belirlenen örgülenme dereceleri Tablo 7'de parantez içerisinde gösterilmiştir. Örgürlük dereceleri BI indeksinin yarı değerleri hesaplanarak elde edilmiştir.

Tablo 7. Kızılırmak nehrinin 1987, 2000 ve 2013 yılları için örgüölölük değerleri (örgüölölük indeksi, örgü-kanal oranı ve örgüölölük oranı)

Bölüm no	$BI = 2(\Sigma L_i) / L_r$			$B = L_{ctot} / L_{cmax}$			$BR = A_{br} / A_c$		
	1987	2000	2013	1987	2000	2013	1987	2000	2013
Bölüm 1	0.000	0.000	0.048 (0)	0.000	0.000	0.066	0.000	0.000	0.039
Bölüm 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Bölüm 3	0.180 (1)	0.155 (1)	0.073 (0)	0.233	0.202	0.104	0.163	0.121	0.040
Bölüm 4	0.167 (1)	0.123 (1)	0.000	0.220	0.176	0.000	0.102	0.076	0.000
Bölüm 5	0.043 (0)	0.027 (0)	0.084 (0)	0.053	0.035	0.114	0.023	0.013	0.075
Bölüm 6	0.000	0.030 (0)	0.000	0.000	0.046	0.000	0.000	0.013	0.000
Bölüm 7	0.256 (1)	0.193 (1)	0.133 (1)	0.350	0.276	0.171	0.130	0.108	0.080
Bölüm 8	0.594 (1)	0.399 (1)	0.000	0.801	0.523	0.000	0.311	0.266	0.000
Bölüm 9	1.352 (2)	0.659 (1)	0.623 (1)	1.465	0.772	0.782	0.471	0.355	0.386
Bölüm 10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Bölüm 11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Bölüm 12	0.290 (1)	0.356 (1)	0.366 (1)	0.403	0.492	0.504	0.134	0.135	0.183
Bölüm 13	0.103 (1)	0.000	0.000	0.158	0.000	0.000	0.033	0.000	0.000
Bölüm 14	0.348 (1)	0.355 (1)	0.390 (1)	0.510	0.510	0.528	0.177	0.190	0.283
Bölüm 15	0.218 (1)	0.226 (1)	0.000	0.336	0.333	0.000	0.129	0.148	0.000
Bölüm 16	0.059 (0)	0.016 (0)	0.021 (0)	0.085	0.023	0.038	0.033	0.011	0.015
Bölüm 17	0.030 (0)	0.026 (0)	0.000	0.039	0.039	0.000	0.018	0.015	0.000
Bölüm 18	0.191 (1)	0.170 (1)	0.145 (1)	0.269	0.246	0.193	0.159	0.138	0.105
Bölüm 19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Bölüm 20	0.360 (1)	0.000	0.000	0.453	0.000	0.000	0.265	0.000	0.000
Bölüm 21	1.033 (2)	0.827 (2)	0.579 (1)	1.164	0.946	0.812	0.406	0.324	0.228

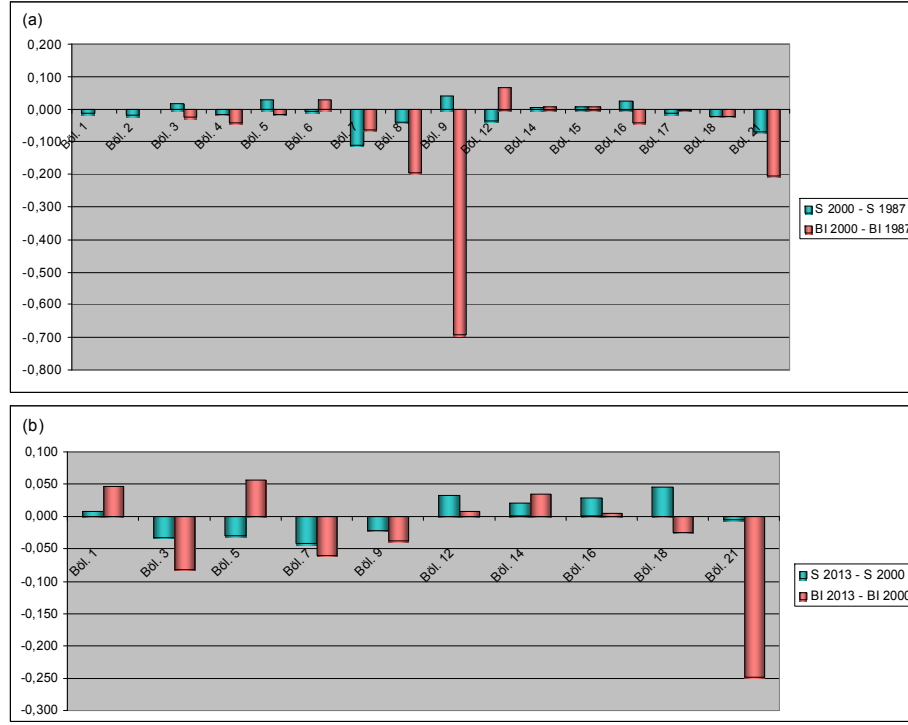
Örgüölölük değerlerindeki değişimler incelendiğinde; 1987-2000 periyodunda 6 ve 12 no.lu bölümde BI, B ve BR değerlerinde artış, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 13, 16, 18, 20 ve 21 no.lu bölümlerde ise BI, B ve BR değerlerinde azalma gerçekleşmiştir. 15 no.lu bölümde BI ve BR örgüölölük değerlerinde artış, B değerinde azalma görülmüştür. BI ve BR değerleri 14 no.lu bölümde artış, 17 no.lu bölümde azalma gösterirken bu bölümlerde B değerinde bir değişim olmamıştır. 2000-2013 periyodunda 1, 5, 12, 14 ve 16 no.lu bölümlerde BI, B ve BR değerlerinde artış, 3, 4, 6, 7, 8, 15, 17, 18 ve 21 no.lu bölümlerde ise BI, B ve BR değerlerinde azalma görülmüştür. 9 no.lu bölümde B ve BR değerlerinde artış, BI indeksinde azalma gerçekleşmiştir.

1 ve 2 no.lu bölümlerin 1987 ve 2000 yıllarında örgüölölüğü 0'dır. 10, 11 ve 19 no.lu bölümlerde ise 1987, 2000 ve 2013 yıllarında baraj bulunduğundan, bu yıllar için örgüölölükleri 0'dır. 13 ve 20 no.lu bölümlerde 1987'den sonra baraj yapılmasından dolayı 2000 ve 2013 yılları için örgüölölükleri 0'dır. 2, 4, 6, 8, 15 ve 17 no.lu bölümlerde ise 2000'den sonra baraj yapılmasından dolayı 2013 yılı için örgüölölük 0'dır.

BI indeksinde; 1987-2000 periyodunda en büyük değişimler sırasıyla 9, 20 ve 21 no.lu bölümlerde; 2000-2013 periyodunda ise en büyük değişimler sırasıyla 8, 21 ve 15 no.lu bölümlerde gerçekleşmiştir. B değerinde; 1987-2000 periyodunda en büyük değişimler sırasıyla 9, 20 ve 8 no.lu bölümlerde; 2000-2013 periyodunda ise en büyük değişimler sırasıyla 8, 15 ve 4 no.lu bölümlerde gerçekleşmiştir. BR değerinde; 1987-2000 periyodunda en büyük değişimler sırasıyla 20, 9 ve 21 no.lu bölümlerde; 2000-2013 periyodunda ise en büyük değişimler sırasıyla 8, 15 ve 21 no.lu bölümlerde gerçekleşmiştir. En büyük değişimler örgüölölükte azalma yönünde gerçekleşmiştir. Örgüölölük dereceleri ele alındığında değişimlerin 3, 9 ve 21 no.lu bölgelerde gerçekleştiği (baraj bölgeleri hariç) anlaşılmaktadır. 3 no.lu bölgede 1987 ve 2000 yıllarında 1 olan örgüölölük derecesi 2013 yılında 0 dereceye düşmüştür. 9 no.lu bölgede örgüölölük derecesi 1987 yılında 2 iken 2000 ve 2013 yılları için 1'dir. 21 no.lu bölümde ise 1987 ve 2000 yılında 2 olan örgüölölük derecesi 2013 yılında 1'e düşmüştür.

Örgüölölük indeksi, örgü-kanal oranı ve örgüölölük oranı değerleri karşılaştırıldığında BI ve B değerlerinin birbirlerine daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bununla birlikte her üç indeksin ürettiği sonuçlar arasında genel olarak bir paralellik-benzerlik bulunmaktadır. Aralık ölçeği (en küçük ve en büyük değer arasındaki fark) 1987 yılında BI için 1.322, B için 1.424, BR için 0.452; 2000 yılında BI için 0.811, B için 0.923, BR için 0.344; 2013 yılında BI için 0.602, B için 0.774, BR için 0.370'dir (0 değeri örgüölölük olmadığı anlamına geldiğinden değerlendirme dışında tutulmuştur). Bu değerlerden anlaşılacağı üzere B değerinde aralık ölçeği daha geniştir (Tablo 7).

Sinüselliik ve örgüölölük değişimleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için 1987-2000 ve 2000-2013 periyotları için karşılaştırmalar yapılmıştır (Baraj bulunan bölümlerde örgülenme 0 olduğundan, karşılaştırmalarda bu bölümler dışarıda tutulmuştur). Bu amaçla; 1987-2000 periyodundaki değişimlerin karşılaştırılması için 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 21; 2000-2013 periyodundaki değişimlerin karşılaştırılması için 1, 3, 5, 7, 9, 12, 14, 16, 18 ve 21 no.lu bölümler değerlendirmeye alınmıştır. Sinüselliik ve BI örgüölölük indekslerinin 1987-2000 ve 2000-2013 periyotlarındaki değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Sinüsellik ve BI örgütlülük indekslerinin 1987-2000 ve 2000-2013 periyotlarındaki değişimi

Şekil 5 incelendiğinde 1987-2000 periyodunda 3, 5, 9 ve 16 no.lu bölümlerde sinüsellik artarken örgülenmenin azaldığı, 6 ve 12 no.lu bölümlerde sinüsellik azalırken örgülenmenin arttığı, 14 ve 15 no.lu bölümlerde sinüsellik artarken örgülenmenin de arttığı, 4, 7, 8, 17, 18 ve 21 no.lu bölümlerde sinüsellik azalırken örgülenmenin de azaldığı; 2000-2013 periyodunda 18 no.lu bölümde sinüsellik artarken örgülenmenin azaldığı, 5 no.lu bölümde sinüsellik azalırken örgülenmenin arttığı, 1, 12, 14 ve 16 no.lu bölümlerde sinüsellik artarken örgülenmenin de arttığı, 3, 7, 9 ve 21 no.lu bölümlerde sinüsellik azalırken örgülenmenin de azaldığı görülmektedir. Buna göre Kızılırmak nehrinin alt bölümleri, 1987-2000 ve 2000-2013 periyotlarında farklı değişim eğilimleri göstermiştir. Bu durum her bir alt bölümde nehrin planformunu etkileyen faktörlerin iki farklı zaman diliminde değişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Doğal koşulların yanında Kızılırmak nehri üzerindeki insan müdahaleleri de oldukça fazladır. Baraj yapımı, akarsu ıslahı, akarsu tabanından kum alımı vb. faaliyetlerin bütünleşik etkileri Kızılırmak nehrinin planform özelliklerinde değişimler yaratmıştır.

Gerçekleşen değişimlerin nehir üzerindeki toplam etkisini belirlemek amacıyla 1, 3, 5, 7, 9, 12, 14, 16, 18 ve 21 no.lu bölümler bir bütün olarak ele alındığında, 1987-2000 ve 2000-2013 periyotlarının her ikisinde de ortalama sinüsellik indeksinin stabil olduğu ancak örgütlülük indeksinin aşamalı olarak azalma gösterdiği tespit edilmiştir. Burada ortalama sinüsellik ve ortalama örgütlülük için ağırlıklı ortalamalar hesaplanmıştır. Bölümlere ait indeksler bölümlerin merkez hattı uzunluklarıyla ağırlıklandırılarak sonuç ortalama değerler hesaplanmıştır. Buna göre ortalama sinüsellik 1987 yılı için 1.283, 2000 yılı için 1.287, 2013 yılı için 1.279; ortalama BI indeksi 1987 yılı için 0.324, 2000 yılı için 0.252, 2013 yılı için 0.216'dır.

5. Sonuç ve Öneriler

Akarsuların sinüsellliği ve örgütlülüğü, her akarsu için farklı olabilir. Benzer şekilde, sinüsellik ve örgütlülük bir akarsu boyunca akarsuyun farklı kesimlerinde farklı karakteristikler gösterebilir. Doğal ve yapay etkenler zaman içerisinde akarsuların sinüsellik ve örgütlülük özelliklerinde değişimlere neden olur. Kızılırmak nehri de yıllar içerisinde doğal koşullar ve insan müdahaleleri nedeniyle önemli hidromorfolojik değişimler yaşamıştır. Bu çalışmada 1987, 2000 ve 2013 yıllarına ait Landsat TM/ETM+/OLI uydu görüntüleri kullanılarak Kızılırmak nehrinin kısa vadeli değişimleri ortaya konulmuştur. Çalışma alanı 21 alt bölüme ayrılarak incelenmiştir. 1987-2000 periyodunda 3, 5, 9, 14, 15 ve 16 no.lu bölümlerde; 2000-2013 periyodunda ise 1, 10, 12, 14, 16 ve 18 no.lu bölümlerde sinüsellik indeksi artış göstermiştir. 3 farklı örgütlülük parametresinin değerlendirmeye alındığı çalışmada, her üç parametrenin de artış gösterdiği bölümler 1987-2000 periyodunda 6 ve 12; 2000-2013 periyodunda 1, 5, 12, 14 ve 16 no.lu bölümler olmuştur. Bu çalışmanın sonuçları Kızılırmak nehrinin mevcut durumun değerlendirilmesinin yanı sıra gelecekteki potansiyel değişimlerin kestiriminde de kullanılabilecek niteliktedir. Nitekim, 26 yıllık periyot boyunca akarsu kanal planformunda değişikliğe neden olan faktörler, uzun dönemlerde önemli değişikliklere yol açabilecektir. Dolayısıyla bu değişimler doğrultusunda gelecek değişimlerin önceden öngörülmesi yönünde yapılacak çalışmalar, akarsu ve çevre koşullarının planlanmasında ve yönetiminde avantaj sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri komisyonu tarafından PYO.MUH.1901.13.001 Nolu proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Akkan E., (1970), *Bafra Burnu - Delice kavşağı arasında Kızılırmak Vâdisinin jeomorfolojisi*, A.Ü. DTCF Yay., Ankara.
- Bahadır M., (2011), *Kızılırmak nehri akım değişimlerinin istatistiksel analizi*, Turk. Stud., 6(3), 1339-1356, doi:10.7827/TurkishStudies.2120.
- Barnard P.L., Revell D.L., Eshleman J.L., Mustain N., (2008), *Carpinteria coastal processes study*, 2005-2007, Final Report: U.S. Geological Survey, Open-File Report 2007-1412.
- Brice J.C., (1964), *Channel patterns and terraces of the Loup Rivers in Nebraska*, United States Geological Survey Professional Papers, 422-D.
- Briggs D., Smithson P., (1986), *Fundamentals of physical geography*, Rowman & Littlefield, New Jersey.
- Bruce C.M., Hilbert D.W., (2006), *Pre-processing methodology for application to Landsat TM/ETM+ imagery of the wet tropics*, Research Report, Cooperative Research Centre for Tropical Rainforest Ecology and Management, James Cook University, Australia.
- Chander G., Markham B.L., Helder D.L., (2009), *Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1/ALI sensors*, Remote Sens. Environ., 113, 893-903, doi: 10.1016/j.rse.2009.01.007.
- Chavez P.S., (1996), *Image-based atmospheric corrections - Revisited and improved*, Photogramm. Eng. Rem. S., 62(9), 1025-1036.
- Cooley S.W., (2014), GIS4geomorphology: Channel Sinuosity. <http://www.gis4geomorphology.com>, [Erişim 1 Ağustos 2014].
- Crosato A., (2008), *Analysis and modelling of river meandering*, IOS Press, Amsterdam.
- Çağırnkaya 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.
- ÇOB, (2004), *Çevre Atlası*, Çevre ve Orman Bakanlığı, ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü, Çevre Envanteri Daire Başkanlığı, Ankara.
- Doğan U., Koçyiğit A., Wijbrans J., (2009), *Kızılırmak Nehri'nin evrimsel tarihi, Kapadokya kesimi: İç Anadolu Bölgesi'nde neotektonik rejimin başlangıcı için bir çıkarsama*, Türkiye 62. Jeoloji Kurultayı, 13-17 Nisan 2009, Ankara, Bildiri Özleri Kitabı II, 806-807.
- DSİ, (2014), Barajlar. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. <http://barajlar.dsi.gov.tr>, [Erişim 5 Ağustos 2014].
- Erciyas-Yavuz K., (2011), *Önemli bir doğa alanı: Kızılırmak Deltası*, Samsun Sempozyumu, 13-16 Ekim 2011, Samsun.
- Ethridge F.G., Schumm S.A., (2007), *Fluvial seismic geomorphology: A view from the surface*, Seismic Geomorphology: Applications to Hydrocarbon Exploration and Production'n içinde, (Davies R.J., Posamentier H.W., Wood L.J., Cartwright J.A., Eds.), Geological Society, Special Publication, London, 205-222.
- Eziashi A.C., (1999), *An appraisal of the existing descriptive measures of river channel patterns*, J. Environ. Sci., 3(2), 253-257.
- Friend P.F., Sinha R., (1993), *Braiding and meandering parameters*, Geological Society, London, Special Publications, 75(1), 105-111.
- GIS Ag Maps, (2011), Landsat 8 ESUN (for Atmospheric Correction), Radiance, and TOA Reflectance. <http://www.gisagmaps.com/landsat-8-atco/>, [Erişim 21 Haziran 2014].
- Görendağlı N.A., (2010), *1954 ve 2009 yılları arasında Kızılırmak'ın yatak tipinde gözlenen değişimler*, Avanos, Coğrafi Bilimler Dergisi (CBD), 8(1), 93-104.
- Jagers H.R.A., (2003), *Modelling planform changes of braided rivers*, PhD Thesis, University of Twente, The Netherlands.
- Kraus N.C., Rosati J.D., (1997), *Interpretation of shoreline position data for coastal engineering analysis*, Coastal Engineering Technical Note, CETN-II-39, U.S. Army Corps Engineer Coastal Hydraulic Laboratory.
- Mancino G., Nolè A., Ripullone F., Ferrara A., (2014), *Landsat TM imagery and NDVI differencing to detect vegetation change: assessing natural forest expansion in Basilicata, southern Italy*, iForest, 2, 75-84, doi: 10.3832/for0909-007.
- McFeeters S.K. (1996), *The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features*, Int. J. Remote Sens., 17, 1425-1432, doi:10.1080/01431169608948714.
- O'Neill B.J., Thorp J.H., (2011), *A Simple channel complexity metric for analyzing river ecosystem responses*, River Systems, 19(4), 327-335, doi: 10.1127/1868-5749/2011/0042.
- OSB, (2014a), *Kırşehir İlinde Doğa Turizmi Master Planı (2013-2023)*, Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- OSB, (2014b), *Ulusal Havza Yönetim Stratejisi (2014-2023)*, Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- Önal S., (2009), *Yapay sinir ağları metodu ile Kızılırmak Nehri'nin akım tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta.
- Pajak M.J., Leatherman S.P., (2002), *The high water line as shoreline indicator*, J. Coastal Res., 18, 329-337.
- Singh R.Y., (2005), *Sustainable management of headwater resources: Interface drainage analysis of a water divide*, Sustainable Management of Headwater Resources: Research from Africa and India'nın içinde, (Jansky L., Haigh M.J., Prasad H., Eds), United Nations University Press, 87-105.
- Song C., Woodcock C.E., Seto K.C., Lenney M.P., Macomber S.A., (2001), *Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effect*, Remote Sens. Environ., 75, 230-244, doi:10.1016/S0034-4257(00)00169-3.
- Summerfield M.A., (1991), *Global geomorphology*, Wiley, New York.
- U.S. Geological Survey, (2013), Using the USGS Landsat 8 Product. http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php [Erişim 30 Temmuz 2014].
- Xu H., (2006), *Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery*, Int. J. Remote Sens., 27, 3025-3033, doi: 10.1080/01431160600589179.
- Yeniçurt C., Hemmami M., Çağırnkaya S., Koopmanschap E., (2011), *Türkiye'nin Ramsar alanlarında sulak alan yönetim planları değerlendirme raporu*, Doğa Derneği, Ankara.
- Yılmaz C., (2005), *Kızılırmak Deltası'nda meydana gelen erozyonun coğrafi analizi*, TURQUA Türkiye Kuvaterner Sempozyumu V., 02-05 Haziran 2005, İstanbul.