



Atf/Citation

Kırşan, K., (2021). SRTM DEM ve landsat 7 etm verileri ile Bingöl-Karlıova arası doğu anadolu fay zonunda çizgisellik analizleri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 26 (46), 143-158.

SRTM DEM VE LANDSAT 7 ETM VERİLERİ İLE BİNGÖL-KARLIOVA ARASI DOĞU ANADOLU FAY ZONU'NDA ÇİZGİSELLİK ANALİZLERİ

Lineament Analysis in Eastern Anatolian Fault Zone Between Bingöl-Karlıova By Landsat 7 ETM and SRTM DEM Data

Dr. Öğr. Üyesi Kemal KIRANŞAN*



Öz

Çizgisellik, şekilsel olarak etrafındaki yapılardan ayrılabilen ve olasılıkla yeraltı yapılarına karşılık gelen haritalanabilir yüzey özellikleridir. Araştırma sahası, Bingöl ile Karlıova arasında Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) 'nu kapsar. Uydu görüntüleri ve SRTM DEM verilerini kullanarak görüntü zenginleştirme teknikleri ile çalışma sahasının çizgiselliklerinin otomatik yöntemlerle belirlenmesi ve bunların faylar ile ilişkilerinin ortaya çıkarılması araştırmanın temel amacını oluşturur. Bu araştırmanın verileri, 1 Ağustos 2002 tarihli Landsat 7 ETM uydu görüntüleri, SRTM DEM, çeşitli ölçeklerde jeoloji, topografya haritaları ve literatür verileridir. Landsat 7 ETM uydu verisine Kenar Sağlama Filtresi (Sobel) uygulanmıştır. Daha sonra PCI Geomatica yazılımında çizgisellikler otomatik olarak çıkarılmış ve çıkarılan bu çizgisellikler, Arcmap yazılımında düzenlenmiştir. Çizgiselliklerin doğruluk analizleri için literatürde bulunan faylara 200 m'lik tampon sahalar oluşturulmuş ve bu sahaların içine düşen çizgisellikler, olası fay olarak kabul edilmiştir. Çizgisellikler ve fayların çizgi yoğunluğu ve yönlenme analizleri yapılarak çizgisellikler ile fayların yoğunlukları ve yönelimleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda Landsat 7 ETM uydu görüntüsünden çıkarılan çizgiselliklerin faylara karşılık gelme oranı % 25,5; SRTM DEM'den çıkarılan çizgiselliklerin faylara karşılık gelme oranı % 31'dir. Çizgisellik yoğunluğu ve yönlenme analizlerinde ise DAFZ ile uyumlu fay zonlarına ilaveten başka fay zonlarının varlığı ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Landsat 7 ETM, SRTM DEM, Doğu Anadolu Fay Zonu, Çizgisellik.

Abstract

Lineament is formally mappable surface properties that correspond to underground structures probably and that distinguish easily from the surrounding structures. The research area covers the Eastern Anatolian Fault Zone (EAFZ) between Bingöl-Karlıova. The purpose of study is to determine relationship with faults of lineaments and to define lineaments with image enhancement techniques and by automatic methods using satellite images and SRTM DEM. The data of this research are 1 August 2002 dated Landsat 7 ETM, SRTM DEM, geology, topography maps and literature data. Edgeat Filter is applied to the Landsat 7 ETM. Lineaments automatically obtained in the PCI Geomatica and later lineaments are edited map in the Arcmap. For accuracy analysis buffer zones of 200 m have been created for the faults and the lineaments falling into these zones have been accepted as faults. Lineament density and orientation analysis are made with lineament data and lineaments are compared with fault

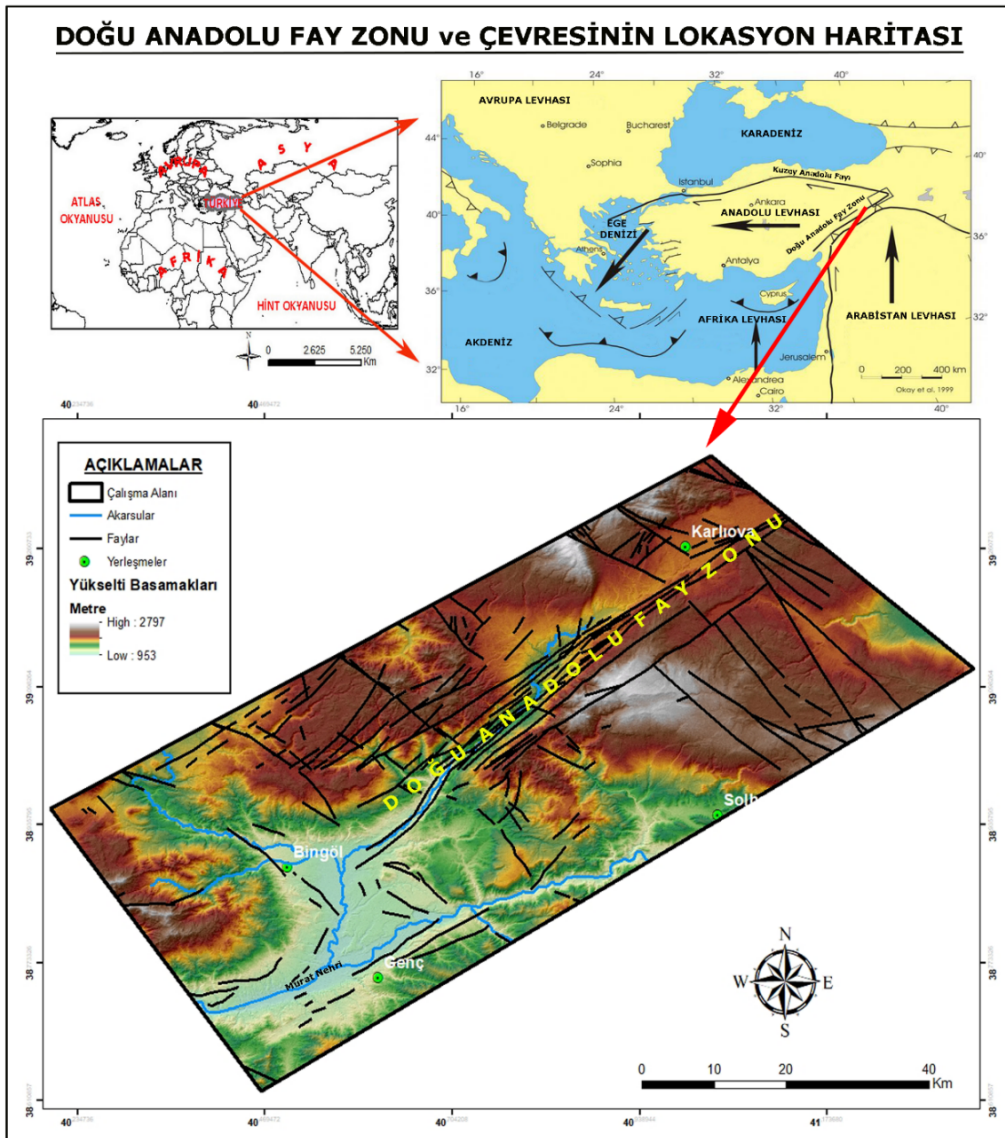
* Bingöl Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü (e-posta: kkiransan@bingol.edu.tr) ORCID ID: 0000-0002-6024-4571

orientations. As a result of research, ratio of equivalent to faults of lineaments extracted from Landsat 7 ETM is 25,5 %. ratio of equivalent to faults of lineaments extracted from SRTM DEM is 31 %. In addition to zones compatible with DAFZ, presence of other fault zones are observed in lineament density and orientation analysis

Keywords: *Landsat 7 ETM, SRTM DEM, Eastern Anatolia Fault Zone, Lineament,*

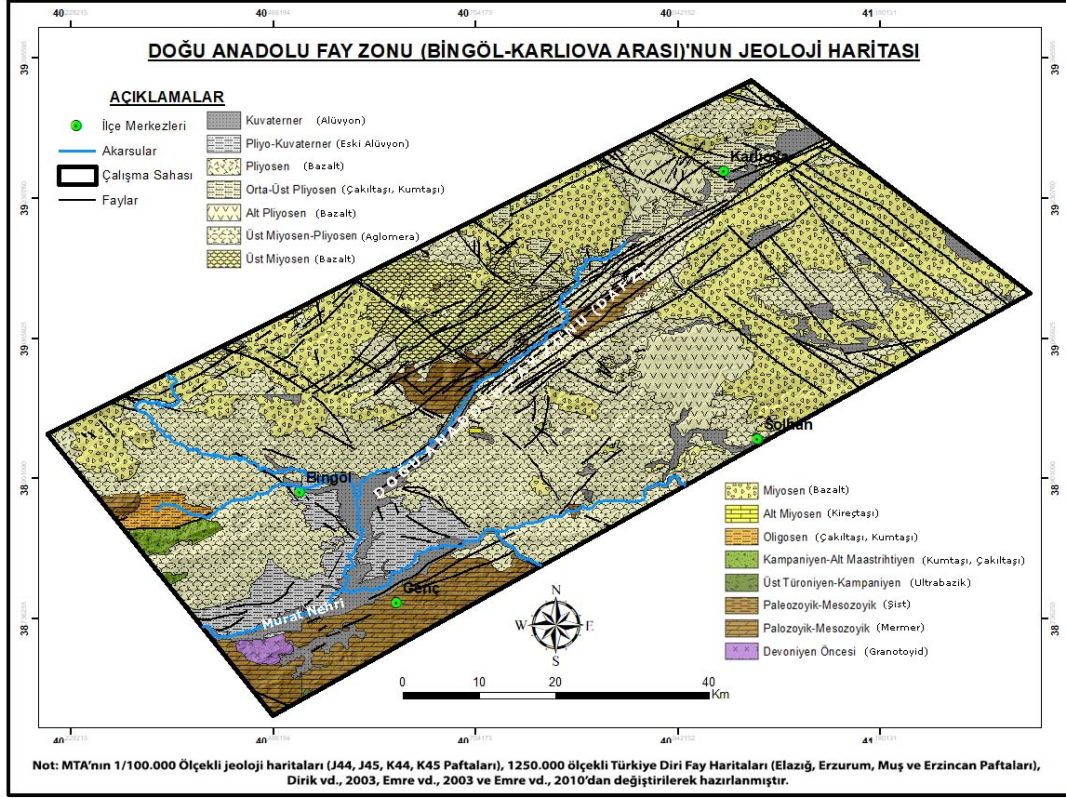
1. Giriş

Çizgisellik, şekilsel olarak etrafındaki yapılardan kolaylıkla ayrılabilen ve olasılıkla yeraltı yapılarına karşılık gelen haritalanabilir yüzey özellikleridir (O'Leary vd., 1976). Jeolojik çizgiselliklerin analizleri ve haritalanması farklı bilim dallarında belirli problemlerin çözümünde son yıllarda yaygın olarak kullanılır. Mühendislik araştırmaları (yol, baraj, köprü yapımı v.b) maden ve mineral çalışmaları (hidrotermal ayrışmalar ve mineralleşme zonlarının ortaya çıkarılması), jeolojik araştırmalar (litoloji ayrımı, fay ve kırıkların belirlenmesi), arazi kullanımı ve bölge planlaması araştırmaları bunlara örnek verilebilir. Genellikle çizgisellikler hava fotoğraflarından, uydu görüntülerinden, jeofizik verilerden, SRTM DEM'den, jeolojik ve topografik haritalardan çıkartılırlar. Çalışma sahası, Bingöl ile Karlıova arasında uzanan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve çevresini kapsar (Duman ve Emre, 2013). (Şekil 1). Anadolu ve Arap plakaları arasında aktif bir levha sınırı olan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) Türkiye'nin doğusunda Karlıova ile Kahramanmaraş arasında KD-GB doğrultusunda yaklaşık 435 km uzunluğunda sol yanal doğrultu atımlı bir fay zonudur (Şekil 1). Çalışma sahası ve çevresi, "Türkiye'nin aktif tektonik çatısında önemli iki büyük yapısal unsur olan Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF)'nın birleştiği Karlıova batısında yer alan Bingöl-Karlıova- Erzincan üçgenine çok yakın bir sahada yer alması" (Emre vd., 2003) nedeniyle Türkiye'de depremlerin en çok görüldüğü yerlerden biridir. Söz konusu saha ve çevresinde aletsel dönemde (1900-2017) büyüklüğü 5 ile 7 arasında olan birçok deprem meydana gelmiştir.



Şekil 1: Bingöl-Karlıova Arası Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Lokasyon Haritası (Kırışan, 2020: 496).

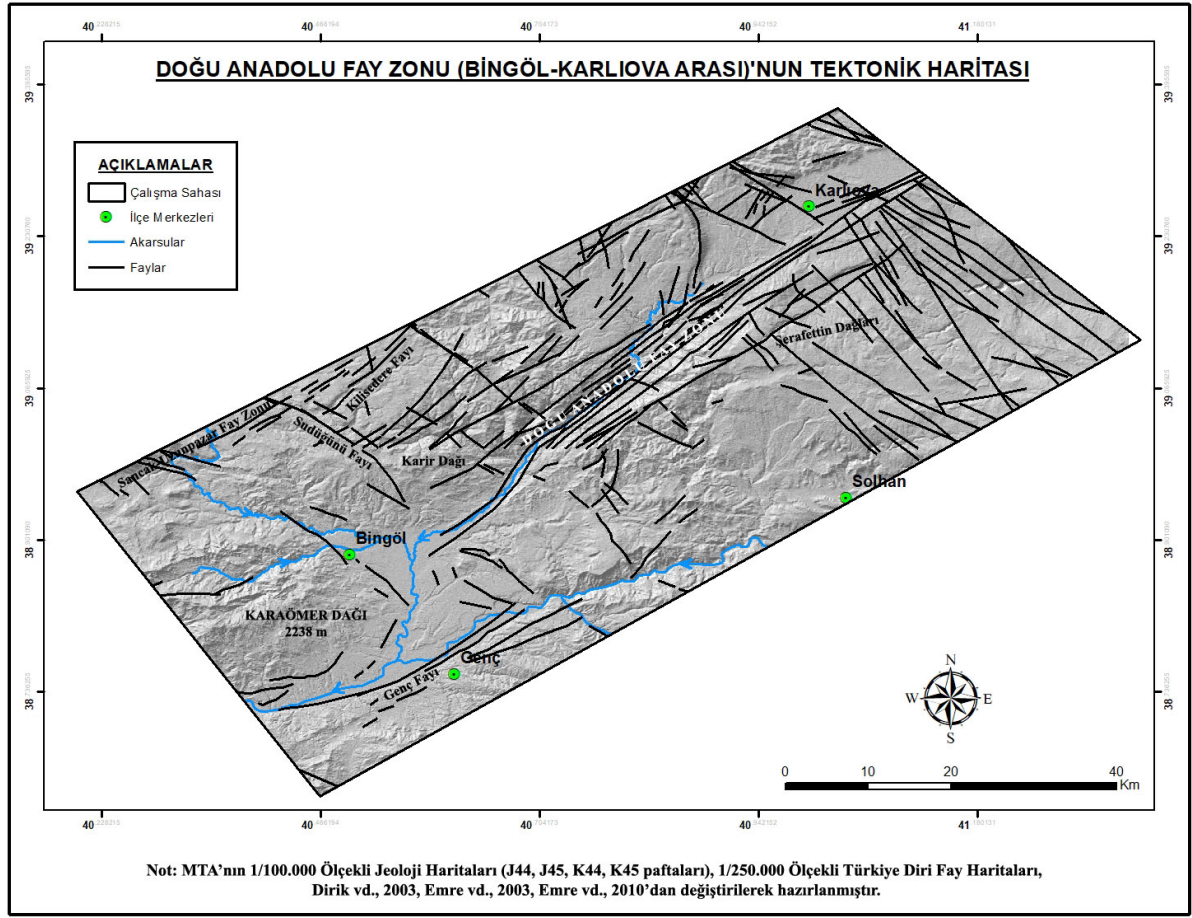
Çalışma sahası ve çevresinin temelini Paleozoyik-Alt Mesozoyik yaşlı metamorfikler oluşturur. Bunlar sahanın güneyindeki dağlık alanda dağılış gösterirler (Şekil 2). Bunların üzerine tektonik dokanakla Kretase'ye ait sedimanter ve ultramafik kayalar gelir (Sümengen, 2011). Bu kayalar, sahanın batısında yüzeylenirler. Kretase yaşlı birimlerin üzerine diskordans olarak Oligosen yaşlı denizel kayalar gelir. Bu birimler sahanın batısında yüzeylenirler. Miyosen-Pliyosen yaşlı volkano-sedimanter birimler diskordans olarak bu birimleri örter. Volkano-sedimanter birimler, sahada çok yaygın şekilde yüzeylenirler. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, bütün birimleri uyumsuz olarak örter.



Şekil 2: Bingöl-Karlıova Arası Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Jeoloji Haritası (Kıranşan, 2020: 499).

Neotektonik dönemde Doğu Anadolu Bölgesi ve çalışma alanı, kıta-kıta çarpışmasını (Şengör, 1980) takiben K-G yönlü sıkışma rejiminin etkisine girmiş ve bunun sonucu olarak çalışma sahasında faylanmalar, kıvrımlar, açılma çatlakları ve bindirmeler meydana gelmiştir (Şaroğlu ve Yılmaz, 1984). Çalışma alanında bulunan en önemli tektonik yapı, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) dur (Şekil 3). DAFZ içindeki faylar "Göynük ve Genç Segmentleri" dir. Göynük Segmenti, Karlıova ile Bingöl şehir merkezi arasında uzanır. DAFZ'nun bir diğer segmenti olan Genç Segmenti (Arpat ve Şaroğlu, 1972), yaklaşık 50 km uzunluğundadır. Genç Segmenti, Bingöl pull-apart Havzası'nı güneyinde yer alarak havzanın oluşumuna katkı sağlamaktadır (Herece, 2008). Bingöl Havzası'nda bulunan diğer sol yanallı faylar Sancak-Uzunpazar Fay Zonu, Kilisedere, Çevrimpınar ve Karapınar faylarıdır.

Bingöl Havzası'nda diğer faylar, KB-GD doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı faylardır. Bu fayların en önemlileri, Sudüğünü Fay Zonu ve Karakoçan-Bingöl Fay Zonu'dur. KB-GD doğrultusunda uzanan Karakoçan-Bingöl Fay Zonu 40 km bir uzunluğa sahiptir (Şaroğlu vd, 1987). Sudüğünü fay zonu ise yaklaşık 20 km uzunluğunda olup KB-GD doğrultuludur (Emre vd., 2003).



Şekil 3: Bingöl-Karlıova Arası Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Fay Haritası

Çalışma sahasında bulunan jeomorfolojik üniteler, dağlık alanlar, platolar, ovalar, boğazlar, vadi tabanları ve birikinti koni ve yelpazeleridir. Çalışma sahasının güneyinde bulunan Akçakara Dağı bölgede bulunan en yüksek dağ olup 2940 m yüksekliğindedir. Güneydoğu Toroslar silsilesine dahil olup, litolojik olarak Bitlis Metamorfiklerinden meydana gelmektedir. Çalışma sahasının batısında ise Karaömer Dağı (2373 m) ve Gerindol Dağı (2488 m) bulunur. Bu iki dağlık kütleli litolojisini Orta-Üst Miyosen yaşlı Solhan Volkanitlerine ait lavlar ve tüfler meydana getirir. Bu dağlık sahaların oluşumunda büyük oranda tektonik hareketler, volkanizma ve flüvyal süreçler etkili olmuştur. Sahanın kuzeyinde bulunan Karir Dağı 1800-2000 yükseltilerindedir. Karir Dağı, aynı zamanda üzerinde geniş düzlüklerin bulunduğu volkanik bir plato sahasına karşılık gelir. Sahanın doğu kesiminde Şerafettin Dağları, Karlıova Düzlüğü ve Şeytan Dağları'nın doğu kesimleri bulunur. Çalışma sahasında yer alan bir diğer jeomorfolojik birim ovalardır. Sahada yer alan en önemli ova, Bingöl Ovası'dır. Bingöl Ovası, DAF üzerinde yer alan tektonik bir ovadır. Çalışma sahasında Bingöl Ovası'nda Murat Nehri ve kolları tarafından oluşturulmuş sekiler önemli bir alan kaplamaktadır. Bu sekiler, 4 farklı seviye halinde görülmektedirler. Sahadaki bir diğer jeomorfolojik birim, eski birikinti yelpazeleri ve sekileridir. Bu birimler, En alt Pleyistosen yüzeylerine yamanmış olarak (Tonbul, 1990) özellikle Bingöl Ovası'nın batısındaki dağlık alan önünde gelişmişlerdir. Çalışma sahasında boğazlar, sahanın batısında ve doğusunda Murat Nehri tarafından oluşturulmuş olup, havzaları birbirine bağlayan yarma vadiler şeklindedir.

2. Materyal ve Yöntem

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) verileri ile arazi örtüsü değişimi, arazi kullanımını çalışmaları, kütle hareketlerinin belirlenmesi, toprak haritalama, jeolojik haritalama ve jeolojik çizgiselliklerinin belirlenmesi literatürde yaygın olarak yapılan çalışmalardır (Mwaniki vd., 2015; Thannoun, 2013; Sarp ve Toprak, 2007; Süzen ve Toprak, 1998; Tekin ve Sagular, 2016). DAFZ ve çevresi, Türkiye'nin önemli aktif tektonik sahalarından biridir. Literatürde Bingöl-Karlıova arası DAFZ ve çevresinde yer alan fayların eksik olduğu görülür. Bingöl-Karlıova arası DAFZ ile ilgili olarak Emre vd., 2003; Arpat, 1971; Herece, 2008; Seymen ve Aydın, 1972; Sümengen, 2011 tarafından yapılan çalışmalarda haritalanan fayların yapılan arazi

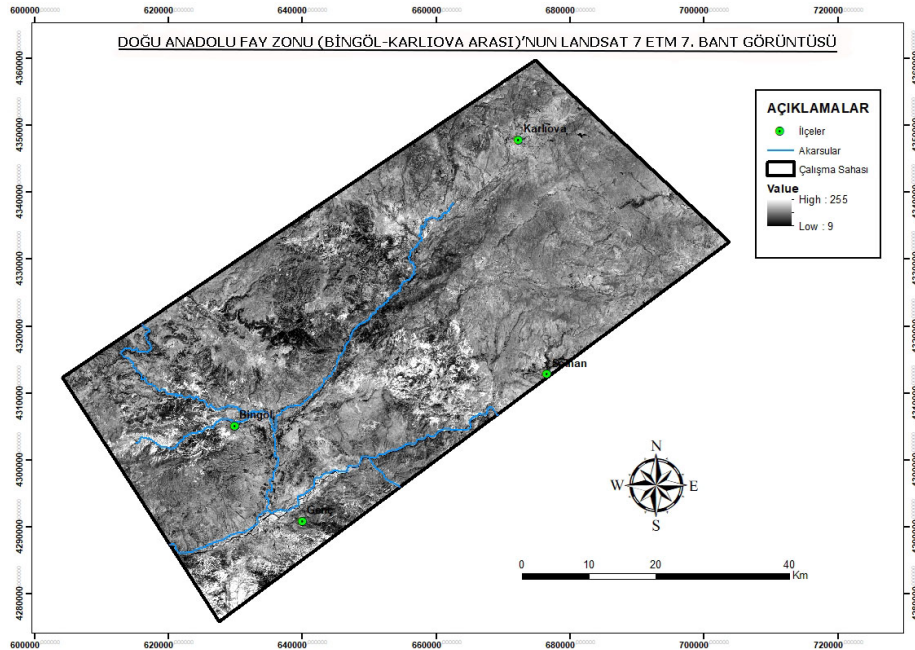
çalışmalarında eksik olduğu görülmüş ve fay zonuna ait daha çok fay segmentleri tespit edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, uydu görüntüleri ve SRTM DEM verileri kullanarak otomatik yöntemler ve görüntü zenginleştirme teknikleri ile DAFZ ve çevresinin çizgiselliklerinin belirlenmesi ve bu çizgiselliklerin faylara karşılık gelme oranının ortaya konulmasıdır.

Bu çalışmanın materyallerini uydu görüntüleri, SRTM DEM verisi, 1/25.000 ölçekli sayısal ve basılı topoğrafya haritaları, vektör ve raster jeoloji haritaları ve literatür verileri oluşturur. Bu çalışmada uydu görüntüleri, 172-33 Path-Row indeksine sahip 1 Ağustos 2002 tarihli Landsat 7 ETM uydu verilerinden meydana gelir. "LANDSAT 7, Enhanced Thematic Mapper (ETM) Tarayıcısı taşımaktadır. Standart 7 Band'a ek olarak 15 m çözünürlüğe sahip pankromatik band (0.50- 0.90 pm) eklenmiştir. Bunlara ek olarak Termal Band'ın çözünürlüğü de 60 m'ye indirilmiştir" (<http://www.nik.com.tr>) (Tablo 1). Landsat 7 ETM uydu görüntülerinin 7. Bandının çizgisellik çıkarımı için uygun özellikler sunması, atmosferik etkilerinin az olması ve literatürde yaygın olarak kullanılmasından (Süzen ve Toprak, 1998; Ali vd., 2012; Abdullah vd., 2013) dolayı tercih edilmiş ve bu görüntü üzerinden çalışma sahasının sınırları kesilmiştir (Şekil 4). Landsat ve SRTM verileri, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmaları (USGS)'nin sitesinden ücretsiz olarak indirilmiştir. CBS verileri, 30 m çözünürlüklü SRTM DEM, sayısal akarsu, fay ve yerleşme verilerinden oluşur. (Şekil 5). Basılı topoğrafya haritalarının sayısallaştırılmasıyla akarsu ve yerleşme verileri elde edilmiştir. Sayısal fay verileri ise basılı jeoloji haritalarının sayısallaştırılması sonucu oluşturulmuştur.

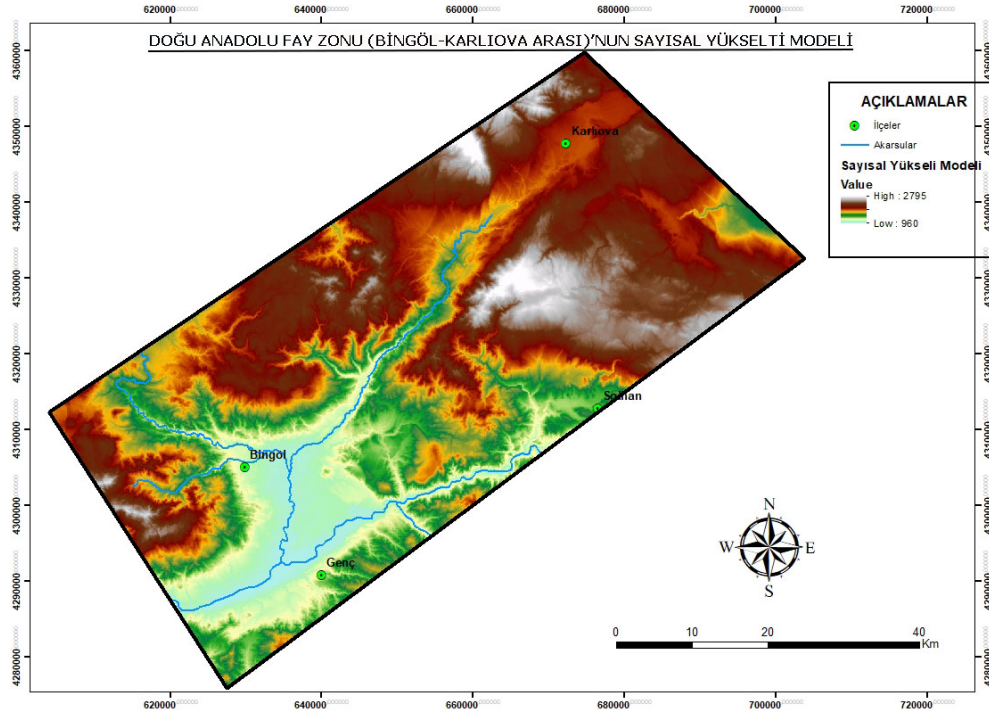
Tablo 1: Landsat 7 ETM Uydu Görüntüsünün Teknik Özellikleri

Band Numarası	Band Adı	Dalga Boyu (µm)	Çözünürlük (m)
1	Mavi	0.45-0.52	30
2	Yeşil	0.52-0.60	30
3	Kırmızı	0.63-0.69	30
4	NIR	0.77-0.90	30
5	SWIR 1	1.55-1.75	30
6	Termal	10.40-12.50	60*(30)
7	SWIR 2	2.09-2.35	30
8	Pankromatik	0.52-0.90	15

Kaynak: <https://eos.com/landsat-7/>



Şekil 4: Bingöl-Karlıova Arası Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Landsat 7 ETM 7. Bant Uydu Görüntüsü.



Şekil 5: Bingöl-Karlıova Arası Doğu Anadolu Fay Zonu'nun SRTM DEM Görüntüsü

Bu çalışmada çizgisellik analizlerinin yapılmasında otomatik analiz yöntemleri kullanılmış ve iki aşamada yürütülmüştür. İlk önce Landsat 7 ETM uydu görüntüsünün 7. bandına Kenar Sağlama Filtresi uygulanarak filtreli uygulanmış ve bunlar kullanılarak PCI Geomatica yazılımında çizgisellikler otomatik olarak çıkarılmıştır. Yine aynı yöntemle SRTM DEM verisi kullanılarak çizgisellikler elde edilmiştir. Landsat 7 ETM'den oluşturulan çizgisellikler, Arcmap yazılımında birleştirilmiştir. İkinci aşamada çizgiselliklerin doğruluk analizleri için çakıştırma, yoğunluk ve yönlenme analiz yöntemleri kullanılmıştır. Çakıştırma analizinde tampon bölge (buffer zone) yöntemi uygulanmıştır. Çakıştırma analizi için kaynak harita olarak kullanılan fay haritası, 1/100.000 ölçeğindeki haritalardan elde edilmiştir. 1/100.000 ölçeğindeki bir haritada 1 cm gerçekte 1000 m'ye karşılık gelmektedir. 1 mm ise 100 m'ye karşılık gelir. Kaynak haritadaki 1 mm'lik kayma hatası her zaman göz önüne alınmalıdır. Bunun için tampon bölge miktarı 100 m'den az olmamalıdır. 100 m'den çok yüksek değerlerde (örnek 500 ya da 1000 m) bir tampon değeri seçilmesi, çizgiselliklerin doğruluk değerini artırabilir. Ancak bu durum, faylar ile ilişkisi olmayan çizgiselliklerin fay olarak kabul edilmesi sonucunu doğurur. Bunun için her iki olumsuz sonuçla karşılaşmamak için bu çalışmada tampon miktarı 200 m olarak belirlenmiştir.

Bu çerçevede literatürde yer alan faylara 200 m'lik tampon bölgeler oluşturulmuş ve bu tampon bölgeler içine düşen çizgisellikler çakıştırılmıştır. Bu işlem sonunda faylar ile çakışan çizgisellikler olası fay olarak kabul edilmiştir. Böylece ortaya çıkan istatistikler değerlendirilerek yorumlar yapılmıştır. Çizgisellik verileri kullanarak çalışma sahasının çizgisellik yoğunluğu analizleri yapılmış ve sahada yer alan başka fay zonlarının varlığı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu aşamada ayrıca oryantasyon analizleri (Rose diyagramları) yapılarak çizgiselliklerin yönelimleri ile literatürde yer alan fayların yönelimleri karşılaştırılmıştır.

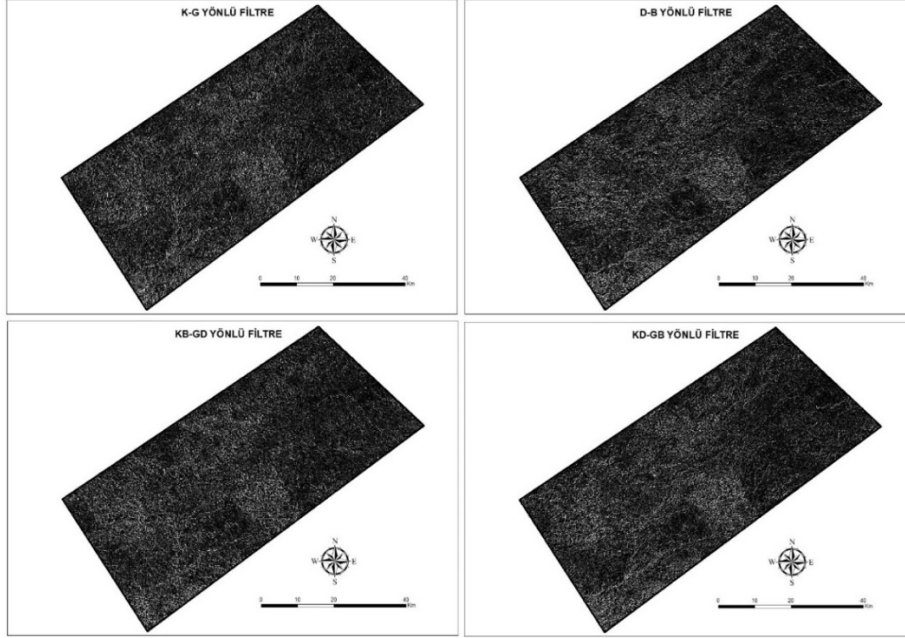
3. Bulgular

3.1- Çizgisellik Analizleri

Landsat 7 ETM görüntüsünün 7. bandı kullanılarak çizgisellik belirlenmesi çalışmasından önce çizgisel yapıları belirli ölçüde belirginleştirebilmek amacıyla görüntü üzerine Sobel Filtresi uygulanmıştır. "Filtreleme analizi, görüntü üzerinde yer alan belirli nesnelerin belirli hale getirilmesi için uygulanan bir tekniktir. Alçak geçirgen, Yüksek Geçirgen ve Kenar Sağlama filtreleri olmak üzere 3'e ayrılır. Alçak Geçirgen filtresi görüntü üzerinde küçük ayrıntıları bastırmak ve büyük homojen sahaları öne çıkarmak için kullanılırken, Yüksek Geçirgen Filtresi ise bunun tersine küçük ayrıntıları belirginleştirmek için kullanılır. Kenar Sağlama Filtresi ise linear, çizgisellik özelliği bulunan coğrafi objelerin (akarsular, yollar, faylar vb.) belirginleştirilmesi için uygulanır" (Geçen, 2017). Sobel filtresi, (Tablo 2) çalışma sahasına ait Landsat 7 ETM uydu görüntüsünün 7. Bandı üzerine, K-G, D-B, KD-GB ve KB-GD doğrultularında çizgiselliklerin belirli hale getirilmesi amacıyla uygulanmıştır. (Şekil 6).

Tablo 2: Sobel Filtresi

SOBEL	K-G			KD-GB			D-B			KB-GD		
	-1	0	1	-2	-1	0	-1	-2	-1	0	1	2
	-2	0	2	-1	0	1	0	0	0	-1	0	1
	-1	0	1	0	1	2	1	2	1	-2	-1	0

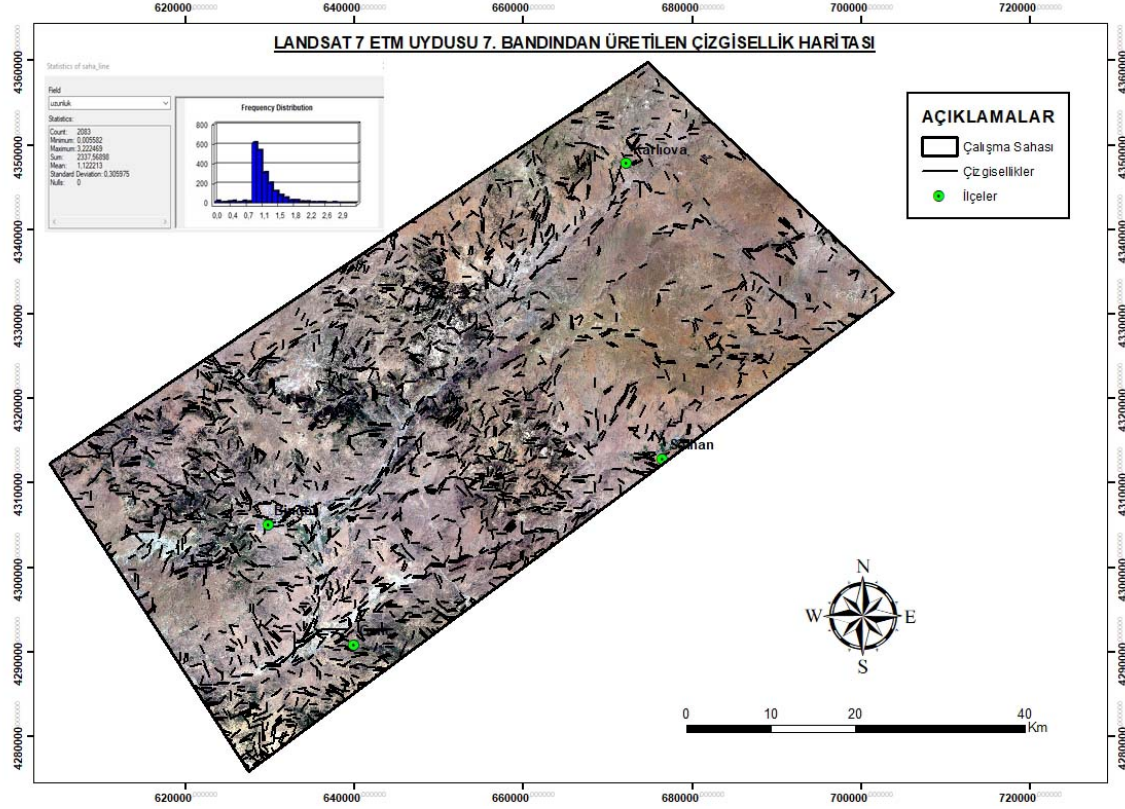
**Şekil 6:** Landsat 7 ETM uydu görüntüsünün 7. Bandına Sobel Filtresinin Uygulanması Sonucunda Elde Edilen 4 Farklı Yöndeki Görüntüler

Landsat 7 ETM uydu görüntülerinin 7. bandına Sobel Filtresinin uygulanmasından sonra PCI Geomatica yazılımında yer alan Line Extraction modülü ile çizgisellikler çıkarılmıştır. Geomatica yazılımının kullanılmasının nedeni, LINE modülü ile özelleştirilmiş bir algoritma ile otomatik çizgisellik yapmasıdır. Bu algoritma ile bölgelere uygun parametreler seçilip çizgisellik çıkarıldığında, manuel yöntemler ile saptanmış çizgisellikler ile karşılaştırılırsa, algoritmanın yüksek doğrulukta sonuçlar verdiğini ortaya konulmaktadır (Hung vd., 2005). “Line modülü, kullanıcı tarafından belirlenen altı parametre değerlerini kullanarak üç safhada çizgisellikleri belirlemektedir. Birinci safhada kullanıcı tarafından belirlenen (RADI) yarıçap değerini kullanarak görüntü üzerinde her bir pikselin çizgisellik olasılık değerini hesaplamaktadır. İkinci aşamada eşik değerini (GTHR) kullanarak görüntüyü 1 bit’lik görüntüye dönüştürerek çizgisel olan ve olmayan pikseller olmak üzere (0 ve 1 değerlerinden oluşan) iki sınıfa ayırmaktadır. Üçüncü aşamada LTHR, FTHR, ATHR, DTHR parametre değerlerini kullanarak vektör çizgisellik katmanı oluşturmaktadır” (Geçen, 2017). Bu çalışmada göz önüne alınan parametre değerleri, literatürde (Sarp, 2005, Ünsal vd., 2004) yaygın olarak denenmiş değerlerden seçilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3: Uzaktan Algılama Yönteminde Çizgisellik İçin Kullanılan Parametre Değerleri

PARAMETRELER	DEĞERLER
RADI (Filter radius):	10
GTHR (Gradient threshold)	75
LTHR (Length threshold)	30
FTHR (Line fitting error threshold)	3
ATHR (Angular difference threshold)	1
DTHR (Linking distance threshold)	40

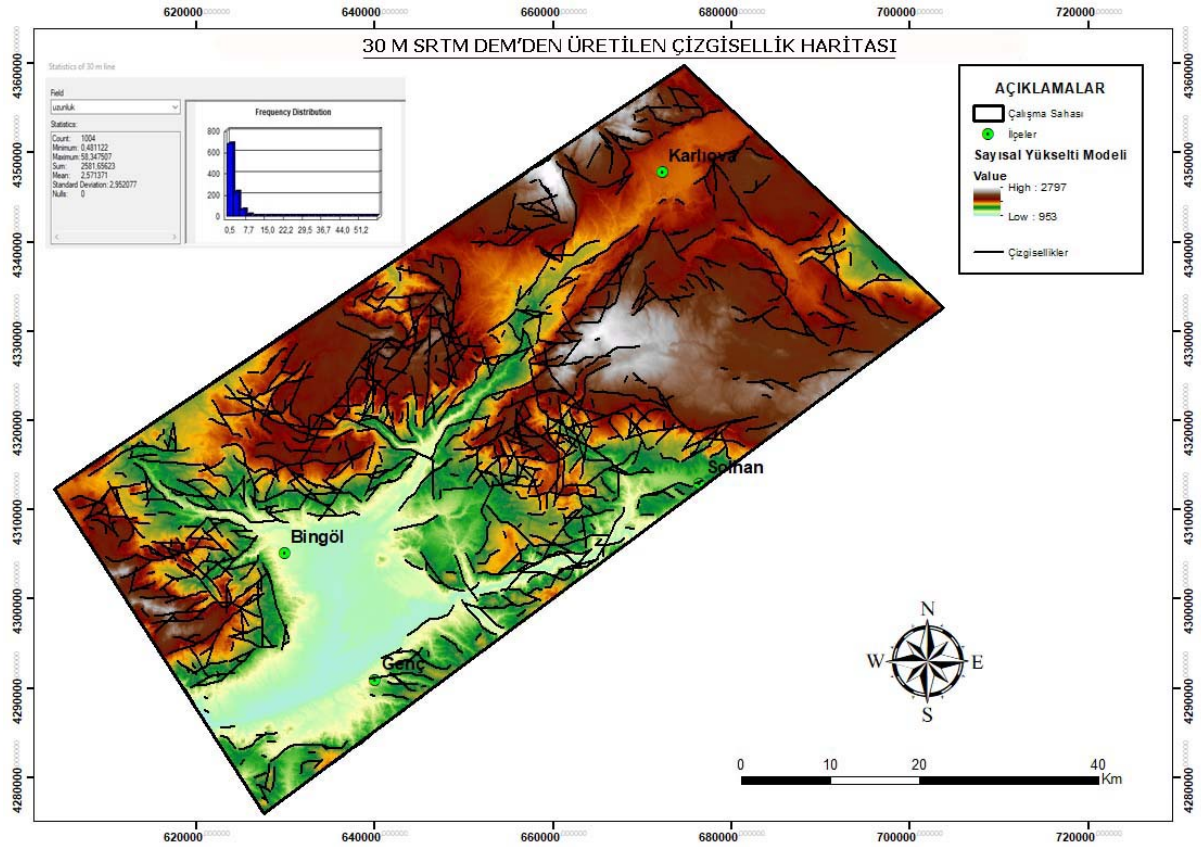
PCI Geomatica yazılımında dört yönde çıkarılan çizgisellikler Arcmap yazılımında birleştirilerek tek çizgisellik haritası elde edilmiştir. (Şekil 7). Çizgisellik haritasında toplam çizgi sayısı 2083, toplam çizgi uzunluğu ise 2337,5 km ve en uzun çizgi ise 3.2 km uzunluğundadır. SRTM DEM'den çizgisellik çıkarmak amacıyla SRTM verisi, PCI Geomatica yazılımına aktarılmıştır. Uygun parametre değerleri (Tablo 4) ve Line Extraction modülü kullanarak çalışma sahasının çizgisellikleri oluşturulmuştur. Daha sonra çizgisellik verisi shape formatına dönüştürülerek Arcmap yazılımına aktarılmıştır. (Şekil 8). Çizgisellik haritasında toplam çizgi sayısı 1004, toplam çizgi uzunluğu 2422,7 km ve en uzun çizgi ise 16,6 km uzunluğundadır.



Şekil 7: Landsat 7 ETM Uydusu 7. Bandından Elde Edilen Çizgisellik Haritası

Tablo 4: SRTM DEM Verisinde Çizgisellik İçin Kullanılan Parametre Değerleri

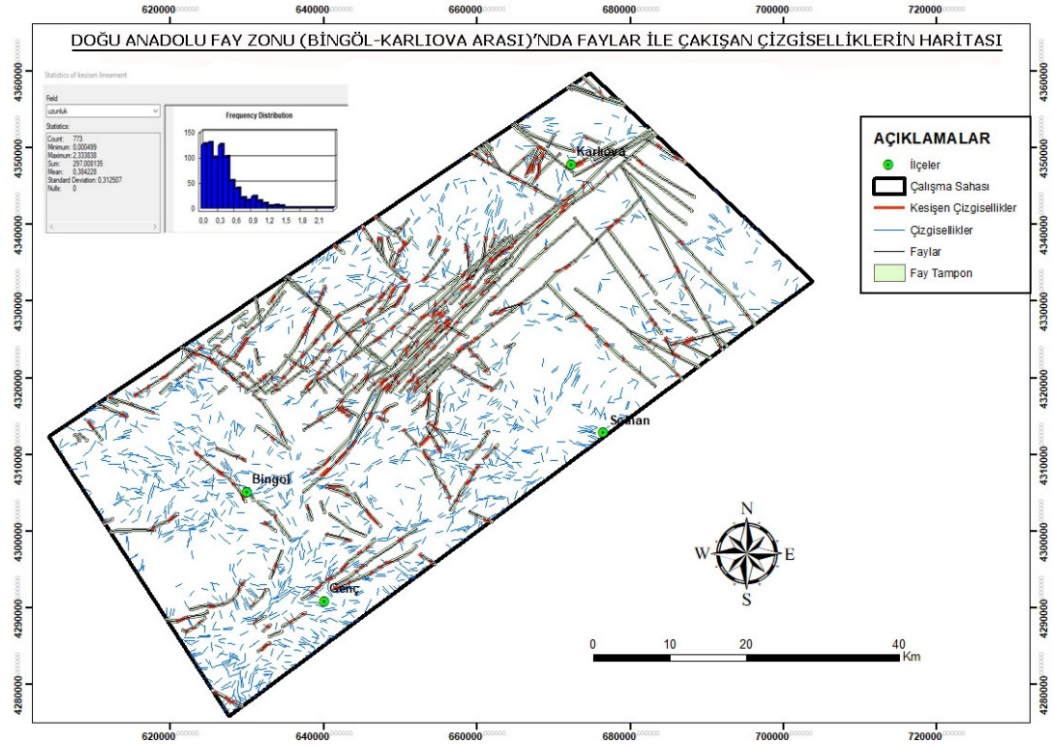
PARAMETRELER	DEĞERLER
RADI (Filter radius):	30
GTHR (Gradient threshold)	75
LTHR (Length threshold)	20
FTHR (Line fitting error threshold)	2
ATHR (Angular difference threshold)	20
DTHR (Linking distance threshold)	100



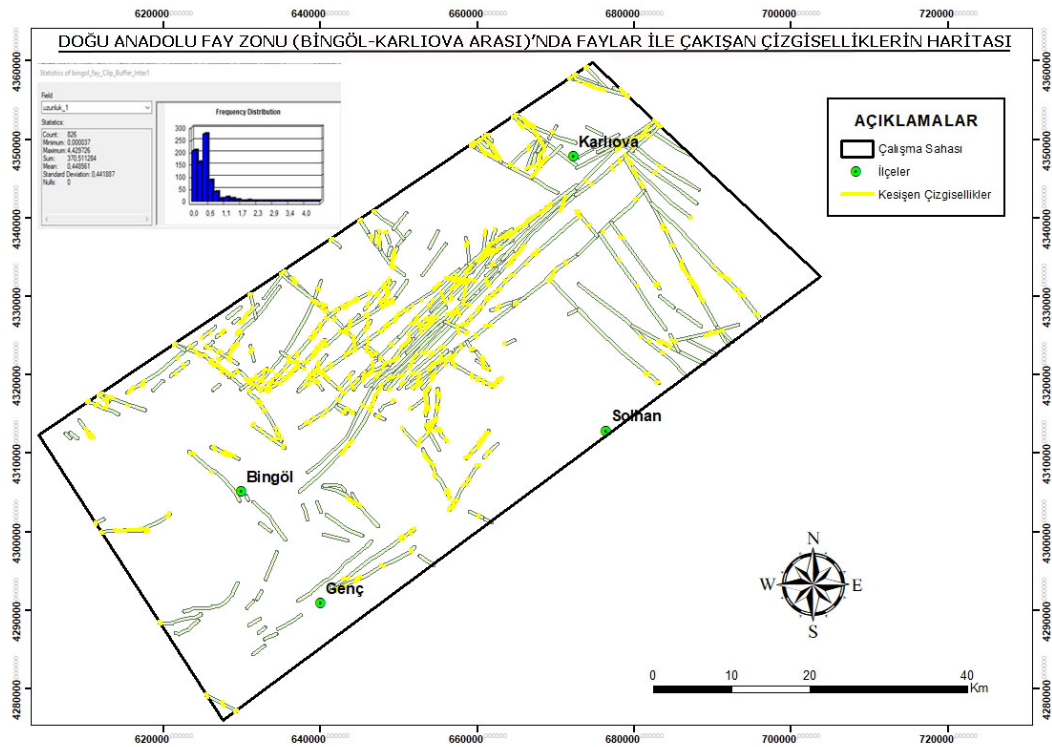
Şekil 8: SRTM DEM'den Elde Edilen Çizgisellik Haritası

3.2- Doğruluk Analizleri

Bu çalışmada her iki veri kullanılarak oluşturulan çizgiselliklerin faylara karşılık gelme oranını sorgulamak amacıyla literatürde bulunan fay haritalarının birleştirilmesiyle oluşturulmuş olan sahanın fay haritası kullanılmıştır (Şekil 3). Sahada yer alan faylara 200 m'lik tampon bölgeler oluşturulmuş ve faylar ile çizgisellikler karşılaştırılmıştır. Çakıştırma sonucunda tampon bölge içinde faylar ile çakışan çizgisellikler olası fay olarak kabul edilmiş ve sonuçlar istatistiki olarak hesaplanmış ve haritalanmıştır (Şekil 9-10). Doğruluk analizi sonuçlarına göre faylar ile çakışan çizgiselliklerin uzunluğu 297 km, yüzdesi ise % 25,5'tir. SRTM DEM'den elde edilen çizgiselliklerin faylar ile çakışan çizgisellik uzunluğu 370,5 km, yüzdesi ise % 31'dir (Tablo 5). Doğruluk analizlerinde düşük değerlerin ortaya çıkmasının temel nedenleri, fay haritalarının bir bütün olmayıp farklı kişiler tarafından farklı zamanlarda yapılmış olması ve sahadaki bütün fayların haritalanmamış olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 9: Landsat 7 ETM 7. Bant Verisinden Oluşturulan Çizgisellikler ile Fayların Çakıştırılması



Şekil 10: SRTM DEM'den Üretilen Çizgiselliklerin Faylar ile Çakıştırılması

Tablo 5: Landsat 7 ETM ve SRTM DEM'den Elde Edilen Çizgiselliklerin Doğruluk Analizi

	Landsat 7 ETM (7. Bant)	SRTM DEM
Toplam çizgisellik uzunluğu	2337,5 km	2422,7 km
Toplam fay uzunluğu	1164,5 km	1164,5 km
Faylar ile çakışan çizgisellik uzunluğu (km)	297 km	370,5 km
Çakışan çizgisellik yüzdesi	% 25,5	% 31

Bu çalışmada her iki veri kullanılarak üretilmiş olan çizgisellik haritalarından çizgisellik yoğunluk analizleri yapılmıştır. Çizgisel yoğunluk analizlerinin amacı birim alandaki çizgiselliklerin sıklığını hesaplamaktır. Bu, aynı zamanda çizgisellik sıklığı olarak da bilinir (Greenbaum, 1985). Yoğunluk analizleri, basit yoğunluk (simple density) ve çekirdek yoğunluğu (kernel density) olmak üzere iki şekilde yapılır. Çizgiselliklerin basit ve kernel yoğunluk analizleri, Arcmap yazılımında yapılmıştır. Landsat 7 ETM uydu görüntülerinden elde edilen çizgiselliklerin kernel metod ile üretilmiş çizgisellik yoğunluğu haritalarında birçok fay zonu göze çarpar. DAFZ bölgede iyi bilinmektedir. Haritalarda DAFZ dışında başka fay zonlarının varlığı dikkat çeker. Bunlardan biri sahanın batı taraflarında KB-GD doğrultusunda uzanmaktadır. Sahanın güneyinde DAFZ'na paralel başka bir fay zonu da bulunur. Bu fay zonu, Bingöl Havzası'nda Genç ilçesinin hemen güneyinde bulunan Doğanca Havzası'nda dikkat çekmektedir (Foto 1). Sahanın doğusunda ise DAFZ'nu dik bir açıyla kesen KB-GD uzanımlı bir diğer fay zonu yer alır (Şekil 11). SRTM DEM verisinden elde edilen çizgiselliklerin kernel metod ile üretilmiş çizgisellik yoğunluğu haritalarına bakıldığında sahada 3 tane fay zonunun varlığı göze çarpar. Bunlardan birincisi sahanın kuzeyinde DAFZ'na paralel uzanan fay zonudur. İkincisi sahanın doğusunda K-G yönünde uzanan ve DAFZ'nu dar açıyla kesen fay zonudur. Diğeri ise sahanın batısında KB-GD doğrultusunda uzanan fay zonudur (Şekil 12).

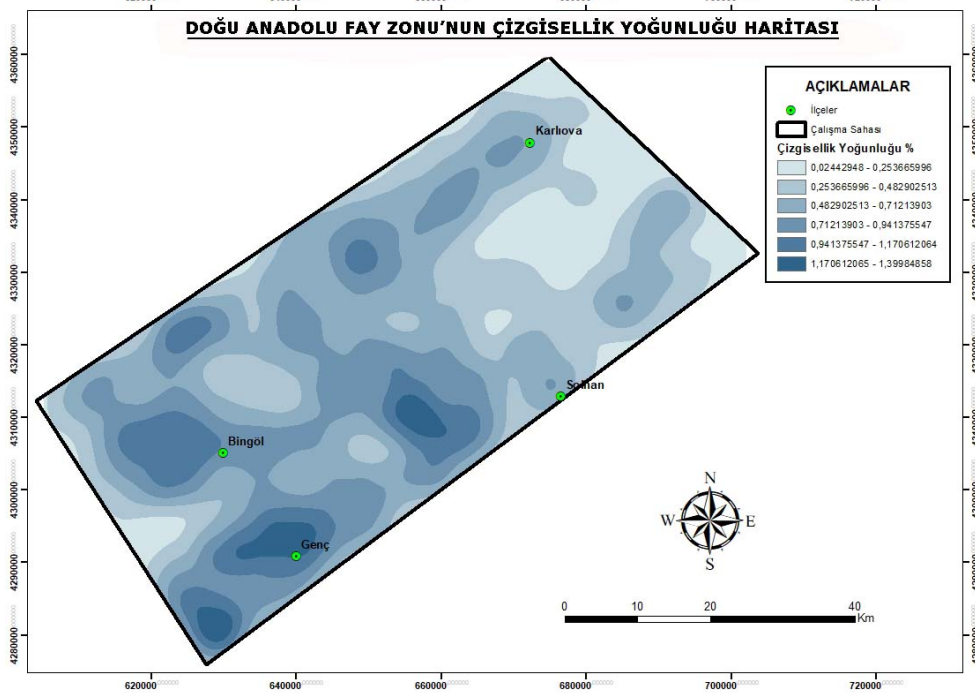
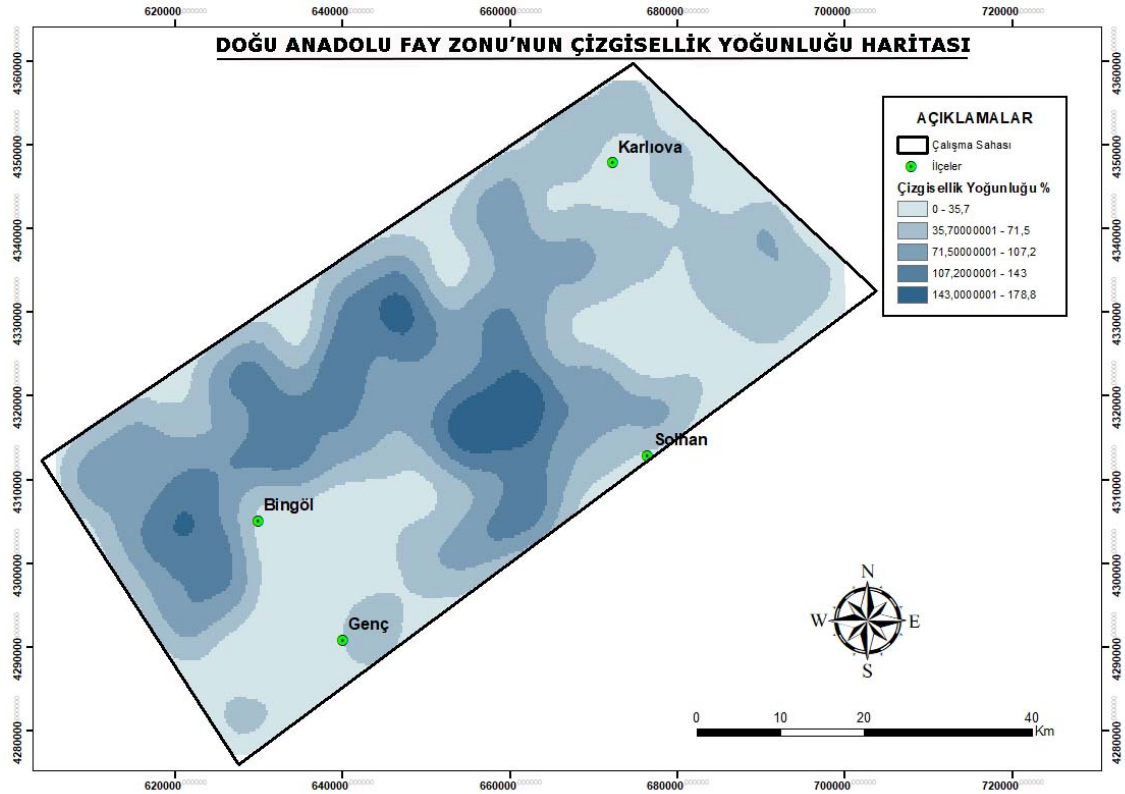
**Şekil 11:** Landsat 7 ETM Uydu Görüntülerinden Elde Edilmiş Olan Çizgiselliklerin Çizgi Yoğunluğu Haritası

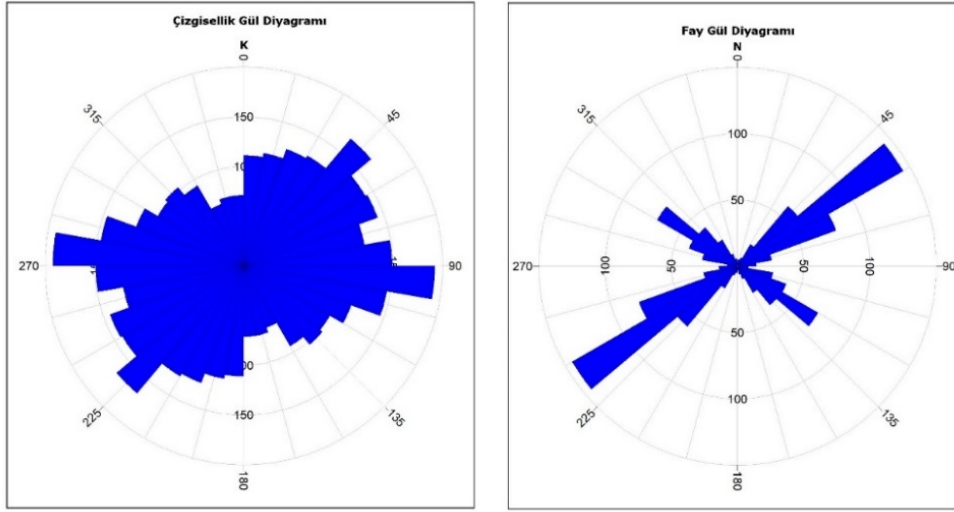


Foto 1: Bingöl Havzası'nda Genç İlçe Merkezinin Güneyinde Yer Alan Doğanca Havzası'ndaki Muhtemel Faylar.

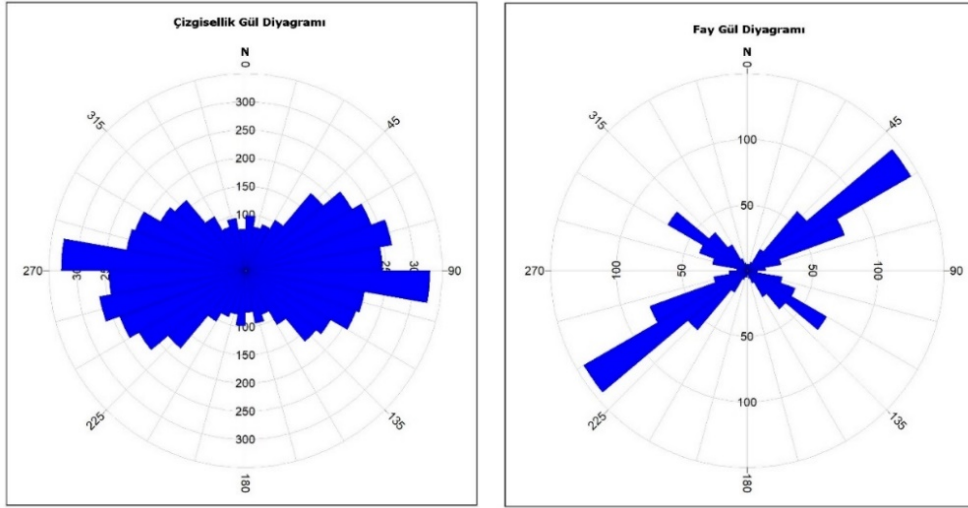


Şekil 12: SRTM DEM'den Elde Edilmiş Olan Çizgiselliklerin Çizgi Yoğunluğu Haritası

Oryantasyon analizleri, literatürde çizgisellik ile ilişkili yapılan çalışmalarda genellikle rose (gül) diyagramları ile ifade edilir. Bu çalışmada da rose diyagramları kullanılmıştır. Landsat 7 ETM görüntülerinden oluşturulan çizgiselliklerde baskın yönler temelde iki yönde yoğunlaşmaktadır. Birincisi KD-GB doğrultu olup, bu yönlenme DAFZ ile aynı doğrultudur. İkinci yönlenme ise KB-GD doğrultu olup sahada bulunan başka fay zonlarına işaret etmektedir (Şekil 13). SRTM DEM verisinden elde edilen çizgiselliklerde baskın yön, K-KB ve D-GD yönündedir. Bu yön Landsat 7 ETM verisinden elde edilen gül diyagramında ikinci yönlenme ile uyumlu görülmektedir. Bununla birlikte KD-GB yönünde uzanan ikinci baskın yönlenmeler de dikkat çekmektedir (Şekil 14).



Şekil 13: Landsat 7 ETM Uydu Görüntülerinden Elde Edilmiş Olan Çizgiselliklerin Faylar ile Karşılaştırmalı Gül Diyagramları



Şekil 14: SRTM DEM'den Elde Edilmiş Olan Çizgiselliklerin Faylar ile Karşılaştırmalı Gül Diyagramları

4. Sonuç

Doğu Anadolu Fay Zonu ve çevresi, Türkiye'nin önemli aktif tektonik sahalarından biridir. Ancak literatürde Bingöl-Karlıova arası DAFZ'daki fayların daha önce yapılan arazi gözlemlerinde tümüyle haritalanmadığı görülmektedir.

Çizgisellik analizleri sonucunda Landsat 7 ETM uydu görüntüsü üzerinde toplam 2337,5 km çizgisellik uzunluğu; SRTM DEM verisinden ise 2422,7 km çizgisellik uzunluğu belirlenmiştir. Tektonik haritada fay uzunluğu 1164,5 km'dir. Doğruluk analizlerinde faylara 200 m'lik tamponlar atıldığında faylar ile Landsat 7 ETM'den elde edilen çizgiselliklerin çakışma yüzdesi % 25,5; SRTM DEM'nden elde edilen çizgiselliklerin faylar ile çakışma yüzdesi % 31'dir. Doğruluk analizlerinde düşük değerlerin ortaya çıkmasının temel nedenleri, fay haritalarının bir bütün olmayıp farklı kişiler tarafından farklı zamanlarda yapılmış olması ve sahadaki bütün fayların haritalanmamış olmasından kaynaklanmaktadır.

Landsat 7 ETM ve SRTM DEM'nden elde edilen çizgiselliklerin yoğunluk haritalarına bakıldığında sahada birkaç tane fay zonu dikkat çeker. KD-GB doğrultulu DAFZ bölgede en iyi bilinen fay zonedir. Haritalarda

DAFZ dışında sahanın kuzey, doğu, batı kesimlerinde başka fay zonlarının da var olduğu ortaya çıkmıştır. Landsat 7 ETM ve SRTM DEM'nden üretilmiş çizgiselliklerin yönlenme analizlerinde ise baskın yönler temelde iki yönde yoğunlaşmaktadır. Birincisi KD-GB doğrultu olup, bu yönlenme DAFZ'nun uzanış doğrultusu ile aynı doğrultudadır. İkinci yönlenme ise B-KB-D-GD doğrultu olup sahada bulunan başka fay zonlarına işaret etmektedir. Literatürde DAFZ iyi bir şekilde tanımlanmış ve çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Ancak sahada yer alan diğer fay zonları ile ilgili literatürde çalışmalar bulunmamaktadır. Bu yüzden bu çalışmada üretilmiş olan haritalarda tespit edilen yeni fay zonları, arazi çalışmaları, jeolojik, jeomorfolojik ve hidrografik verilerle yerinde denetlenerek yeniden haritalandırılmalıdır.

Kaynakça

- Ali, E.A., Khindir, S.O., Babikir, I. A. A., & Abdelrahman, E. M. (2012). Landsat etm+7 digital image processing techniques for lithological and structural lineament enhancement: Case study around abidiya area. Sudan, *The Open Remote Sensing Journal*, 5, 83 – 89.
- Abdullah, A. Nassr, S., & Ghaleb, A. (2013). Landsat ETM-7 for lineament mapping using automatic extraction technique in the sw part of Taiz area, Yemen. *Global Journal of Human Social Science Geography, Geosciences, Environmental & Disaster Management*, 13(3), 35– 38.
- Arpat, E., (1971). 22 Mayıs, 1971 Bingöl depremi-ön rapor, MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Arpat, E., & Şaroğlu, F., (1972). Doğu Anadolu fayı ile ilgili gözlemler ve düşünceler. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 78, 44-50.
- Duman, T.Y., & Emre, Ö., (2013). The East Anatolian Fault: Geometry, segmentation and jog characteristics. *Geological Society, London Special Publications* published online February 19. doi: 10.1144/SP372.14
- Emre, Ö. Herece, E. Doğan, A. Parlak, O. Özaksoy, V. Çıplak, R., & Özalp, S. (2003). *1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi Değerlendirme Raporu*. MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Geçen, R. (2017). *Fay hatlarının coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri ile tespit edilmesi*. Uluslararası Jeomorfoloji Sempozyumu, Elazığ.
- Herece, E. (2008). *Doğu anadolu fayı (DAF) atlası*. MTA Özel Yayın Serisi-13
- Hung, L.Q., Batelaan ,O., & De Smedt, F. (2005). Lineament extraction and analysis, comparison of Landsat ETM and Aster imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment. *Vietnam, Proc. of SPIE*, 5983, 59830T, 1-12.
- Karaca Ö., Karagüzel R., & Ertunç A. (2003). Uzaktan algılama yöntemi kullanılarak Fethiye ve çevresinin jeolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Seri A-Yerbilimleri, 20(1), 52-61.
- Kırışan, K. (2020). Landsat 8 oli uydu görüntüleri ve gölgeli rölyef verileri ile Doğu Anadolu fay zonu (Bingöl-Karhova Arası)'nın çizgiselliklerinin belirlenmesi. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 13(35).
- Mwaniki M. W., Moeller M. S., & Schellmann G. (2015). A comparison of landsat 8 (OLI) and landsat 7 (ETM) in mapping geology and visualising lineaments: A case study of central region Kenya. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Volume XL-7/W3, 2015.
- O'Leary, D. W. Friedman, J. D., & Pohn, H. A. (1976). Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. *Geological Society America Bulletin*, 87, 1463-1469.
- Sarp, G. (2005). *Lineament Analysis From Satellite Images* (Msc thesis). Middle East Technical University, Ankara.
- Sarp, G., & Toprak, V. (2007). *Otomatik olmayan yöntemler kullanılarak landsat ETM uydu görüntüsünden çizgisellik belirlenmesi*. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 30 Ekim–02 Kasım 2007, KTÜ, Trabzon.
- Seymen , İ., & Aydın, A. (1972). Bingöl deprem fayı ve bunun kuzey anadolu fay zonu ile ilişkisi. *MTA Dergisi*, 79, 1-9.

- Süzen, M.L., & Toprak, V. (1998). Filtering of satellite images in geological lineament analyses: An application to a fault zone in Central Turkey. *International Journal Remote Sensing*, 1101–1114.
- Sümengen, M. (2011). 1/100000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları (K45 paftası). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şaroğlu, F., & Yılmaz, Y. (1984). *Doğu Anadolu'nun neotektoniği ve ilgili magmatizması*. Ketin Sempozyumu, 149-162.
- Şaroğlu F., Emre, Ö., & Boray, A. (1987). *Türkiye'nin aktif fayları ve depremsellikleri*. MTA Rapor no: 8174, 394.
- Thannoun, R. G. (2013). Automatic extraction and geospatial analysis of lineaments and their tectonic significance in some areas of Northern Iraq using remote sensing techniques and GIS. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*, 2(2).
- Tekin, M.B., & Sagular, K. E. (2016). Jeolojik çözümlenmelerde uydu görüntüleri destekli coğrafi bilgi sistemi (CBS) yöntemleri; Yeni Foça (İzmir) yöresi örneği. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 59(1).
- Tonbul, S. (1990). *Bingöl ovası ve çevresinin jeomorfolojisi ve gelişimi*. Atatürk D.T. Coğ. Y. K. Coğrafya Araştırmaları, 2, Ankara.
- Ünsal, A., Mert, A., & Cengiz, O. (2004). *Landsat 7 ETM uydu verileri kullanılarak Dedegöl dağı ve çevresinin çizgisellik ve jeolojik özelliklerinin belirlenmesi*. 3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri.

İnternet Adresleri

<http://www.nik.com.tr>

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

<https://eos.com/landsat-7/>