

## Uzaktan algılama ile fay çizgiselliklerinin belirlenmesi: Baklan Grabeni örneği

*Tracing fault lineaments by remote sensing: Baklan Graben's case*

Ali KAYA \*<sup>1</sup> , Serkan TOPALOĞLU<sup>2</sup>, Erdal AKYOL<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20160, Denizli

<sup>2</sup>Karyap Ahşap Mobilya Dekorasyon, 20020, Denizli

• Geliş tarihi / Received: 15.09.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 15.10.2022

### Öz

Fayların belirlenmesi ve özelliklerinin ortaya konulması doğal afet risklerinin belirlenmesi, güvenli şehir altyapısı, büyük mühendislik yapılarının duraylılığı, yeraltı suları ile mineral zonlarının belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Faylar yeryüzünde belirgin çizgisel yapılar oluştururlar ve bunlar genellikle yüzeyden kolayca ayırt edilebilirler. Fayların tespit edilmesi, haritalanması ve ilgili saha çalışmaları oldukça emek yoğun çalışma gerektirmektedir. Saha çalışmalarının yoğunluğunu azaltmak ve daha geniş alandaki yapısal bütünlüğü algılamak için hava fotoğrafları, yükseklik haritaları ve uydu görüntüleri kullanılmaktadır. Arazide sadece faylar değil, karayolu, demiryolu ve insan yapımı çit vb. karışık oluşturan birçok farklı çizgisel yapı bulunmaktadır. Bu çizgiselliklerin tespiti ve analizinde uzaktan algılama görüntüleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Landsat-7 (ETM+) uydu görüntülerinden yararlanılarak filtreleme, temel bileşenler analizi (TBA), bant oranlama, FCC (False Color Composite) bant kombinasyonları görüntüleme, sonuç çizgisellik haritası ve otomatik çizgisellik çıkarımı yöntemleriyle çizgisellik analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar arazi çalışmalarından elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Yöntemlerle genel çizgisellik hatları ortak olarak belirlenebilirken, belirlenen nesne sayısında farklılık olduğu, yöntemlere göre çizgiselliğe ait nesne sayısının değiştiği ve en fazla nesne sayısının otomatik çizgisellik çıkarımı yöntemi ile üretildiği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Baklan grabeni, Fay çizgisellikleri, Landsat-7, Uzaktan algılama

### Abstract

Identifying faults and revealing their characteristics are of great importance in terms of determining natural disaster risks, safe city infrastructure, stability of large engineering structures, groundwater and mineral zones. Faults form distinctive linear structures on the earth and these are usually easily distinguishable from the surface. Identification, mapping and related field studies of faults require a labor-intensive work. Aerial photographs, digital elevation models and aerial images are used to reduce the intensity of fieldwork and to detect the structural integrity of the larger area. There are not only faults in the land, but also many different linear structures such as roads, railroads and man-made fences that form a contrast. Remote sensing images are widely used in the detection and analysis of these lineaments. In this study, lineament analyzes were carried out using filtering, principal component analysis (PCA), band ratio and false color composite displaying, result linearity map and automatic lineament extraction methods on Landsat-7 (ETM+) satellite images as the basis. The results obtained were compared with the data obtained from field studies.

**Keywords:** Baklan graben, Fault lineaments, Landsat-7, Remote sensing

\* Ali KAYA alikaya@pau.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Alp-Himalaya tektonik kuşağında bulunan Türkiye sismik olarak oldukça aktif bir bölgedir (Jackson, 1994). Buna bağlı olarak Ege bölgesinde özellikle graben yapılarının hâkim olduğu birçok tektonik yapı gözlenmektedir. Denizli’de bu sismik hareketliliğe bağlı olarak gelişen Büyük Menderes, Denizli, Acıgöl ve Baklan grabenleri yer almaktadır. Yoğun tektonik faaliyetlerin etkin olduğu bu bölgede fayların önemi oldukça ön plana çıkmaktadır.

Fayların belirlenmesi ve özelliklerinin ortaya konulması doğal afet risk analizlerinde, güvenli şehir altyapısı sistemlerinin planlanmasında, büyük mühendislik yapılarının duraylılığında, yeraltı suları ile mineral zonlarının tespitinde büyük önem taşımaktadır. Faylar yeryüzünde belirgin çizgisel yapılar şeklinde gözlenirler ve genellikle arazi gözlemleri ile tespit edilebilirler. Fayların tespit edilmesi, haritalanması ve ilgili saha çalışmaları oldukça emek yoğun çalışma gerektirmektedir. Son yıllarda, maliyetli ve uzun süreçler alan saha çalışmalarını en aza indirmek ve daha geniş alanlardaki yapısal özellikleri ortaya çıkarmak için hava fotoğrafları, sayısal yükseklik haritaları ve uydu görüntüleri kullanılmaktadır. Bu görüntüleri kullanarak çeşitli amaçlara yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Arazide sadece fay ve dere yataklarının yanı sıra, karayolu, demiryolu, enerji hatları ve çit vb. gibi insan yapımı karışıklık oluşturan birçok farklı çizgisel yapı bulunmaktadır. İnsanın bakış açısı gerçek olsun ya da olmasın çizgisellikleri ve kaynağını kolayca ayırt edebilir. Doğal ve/veya jeolojik gibi görünen çizgiselliklerin kaynağı çok farklı olabilir.

O’Leary vd. (1976) çizgiselliği doğrusal veya hafif eğri parçaların sıralanan ve çeşitli yeraltı yapılarını yansıtan haritalanabilir bir yüzeyin özelliği şeklinde tanımlamıştır. Uzun mesafelerde yeryüzünü kesen sürekli kırılma hatları çizgisellik oluşturur. Fayların doğrusal özelliği bir zıtlık oluşturur ve kolayca fark edilebilir. Ancak bu çizgiselliklerin tamamı jeolojik olmayıp karayolu, demiryolu ve tarım arazileri, çit gibi insan yapımı olabilir. Bunun dışında gölgeleme ile görüntüler olabilir ve fay çizgisi gibi görülebilirler. Tüm bu nedenlerle faz çizgilerinin arazide diğer yapılardan ayrılması gerekmektedir. İnsan gözü için oldukça sıradan olan bu işlem için çeşitli analiz yöntemleri gereklidir. Çizgisel yapıların belirlenmesi için birçok yöntem bulunmaktadır (Marghany & Hashim, 2010; Rahmana & Gloaguen, 2014).

Çizgiselliğin tespiti ve analizinde uydu görüntüleri ve sayısal yüksekli modeli yaygın olarak kullanılmaktadır. Çizgiselliklerin tespitine yönelik geçmişten günümüze hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, sayısal yükseklik haritalarından yararlanılmıştır. İlk hava görüntüsü 1858 yılında bir balondan çekildikten sonra (Baumann, 2014) büyük ilerleme kaydetmiş ve uydu teknolojisi ile bilinen noktaya ulaşmıştır. Görüntüler üzerindeki çizgisellikleri belirlemesi ile ilgili yapılan ilk uygulamalar, uzay çalışmalarında renk tonu farklılıklarından kaynaklanan yapıları tespit etmek için yapılmıştır (NASA, 2022).

Vanderbrug (1976), uydu görüntülerine uygulanabilecek üç yerel çizgisellik algılama algoritması üzerinde çalışmıştır. Bu çalışma Landsat 1 görüntülerinde arazideki çizgisel özelliklerin bilgisayarla tanınması (yarı otomatik yöntem) üzerinedir. Qari (1991) Landsat TM'nin litolojik ve yapısal çalışmalar için kullanılıp kullanılmayacağı üzerine çalışmış, görüntüler farklı litolojileri ve yapıları haritalamak için çeşitli görüntü işleme tekniklerini kullanmıştır. Suzen ve Toprak (1998) çeşitli filtreleme teknikleri kullanarak jeolojik amaçlar için haritalarda çizgisellik analizi yapmıştır. Bu çalışma, birbirine paralel fayların yoğun olduğu Orta Anadolu’da örnek olarak seçilen bir arazideki çizgisel yapıların hızlı bir şekilde belirlenmesine yöneliktir. Yazarlar kullandıkları örnekte tek bant girişli konumsal alan filtreleme yönteminin en başarılı olduğunu sonucuna varmışlardır. Kaya vd. (2004) Kuzey Anadolu fay zonunun Ganos bölümünde uzaktan algılama ve sayısal yükseklik modeli kullanarak aktif bir fayın geometrisini izlemişlerdir. Çalışma ile fayın mevcut haritalarda olmadığı şekilde birçok parçadan oluştuğu belirlenmiştir. Joshi vd. (2013) Narmada-Son fayı üzerinde coğrafi bilgi sistemi destekli yaptıkları çalışmada konumsal değişimler gösteren tektonik yoğunluk belirlemişlerdir. Pour ve Hashim (2016) PALSAR verisi kullanarak Malezya yarımadasındaki jeolojik yapıların uzaktan algılama ile analizini yapmışlar ve ulaşılması zor alanlarda büyük tektonik yapılar ile metalik maden oluşumuna ilişkin bulgular elde etmişlerdir. Akgün vd. (2021) Doğu Anadolu fay zonunda aktif tektonik yapıların belirlenmesi amacıyla uzaktan algılama yöntemini kullanmışlardır. Çalışma ile tektonik hatların yanı sıra akarsu ötelenmeleri, basınç sırtları, çizgisel vadi gibi morfolojik özellikler ve litolojik sınırlar ayırt edilmiştir. Liu vd. (2021) Qianhe grabeninde segment iz ve çizgi algoritmalarını kullanarak

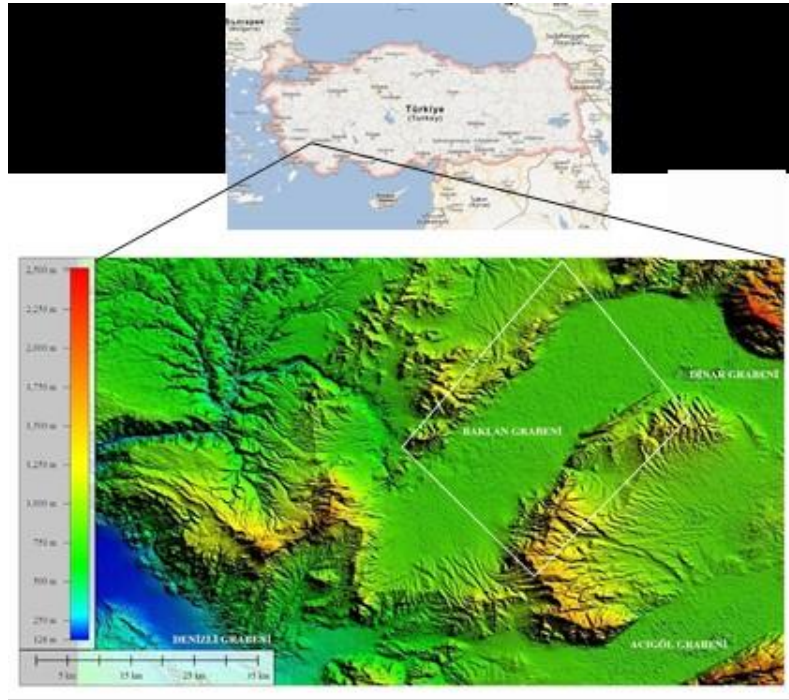
çizgisellikleri belirlemişler ve tektonik yapıları ortaya çıkarmada büyük potansiyeli olduğunu vurgulamışlardır. Kırşan (2021) Doğu Anadolu fayının Bingöl-Karlıova arasındaki bölgede uydu görüntüsü ve sayısal yükseklik verileri kullanarak çizgisellik analizleri yapmış, ilkinin ikinciye göre daha düşük değerler verdiğini tespit etmiştir. Ayrıca çizgisellik analizi çalışmalarının çalıştıkları bölgede bilinmeyen diğer fay yapılarının ortaya çıkarılmasında yararlı olduğunu belirtmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre uzaktan algılama yöntemlerinin sonuçlara olumlu katkıları olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada Landsat 7 uydu görüntüleri kullanılarak filtreleme, temel bileşenler analizi, bant oranlama ve FCC (False Color Composite) bant kombinasyonları yöntemleriyle çizgisellik analizleri yapılmış, elde edilen sonuçlar arazi çalışmalarından elde edilen verilerle karşılaştırılarak yöntemlerin başarımı değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve metot

### 2. Material and method

İnceleme alanının bulunduğu Baklan grabeni KD-GB yönlü olup Baklan ile Çivril arasında uzanır ve yaklaşık 55 km uzunluğunda ve 10 km genişliğindedir. Baklan grabenini kuzeydoğusunda Dinar grabeni, güneybatısında Denizli grabeni ve güneydoğusunda Acıgöl grabeni ile sınırlanmıştır (Şekil 1). Gürbüz vd. (2012) çalışmalarında Batı Anadolu bölgesinin D-B, KB-GD ve KD-GB uzanımlı faylar ile temsil edildiğini belirtmişlerdir. Baklan-Dinar grabeninin ters V şekilli geometrik yapısı, KD-GB uzanımlı Baklan grabeni ve KB-GD uzanımlı Dinar grabenlerinin birleştiği yerde oluşmuştur. Bu durumun ise Ege bölgesinin yapısal evrimini anlamada kritik öneme sahiptir. Grabenin geometrisi bölgede iki eksenli çekmenin hakim olduğunu göstermektedir (Temiz vd., 1997; Cihan vd., 2003). Acıgöl ve Burdur grabenlerinin eksenleri Baklan grabeninin eksenine güneyde paraleldir ve bu üç havza Dinar fayı ile ayrılmaktadır.



**Şekil 1.** İnceleme alanının yer bulduru haritası  
**Figure 1.** Location map of the study area

Uzun mesafelerde yeryüzünü kesen sürekli kırılma hatları çizgisellik oluşturur. Fayların doğrusal özelliği bir zıtlık oluşturur ve kolayca fark edilebilir. Ancak bu çizgiselliklerin tamamı jeolojik olmayıp karayolu, demiryolu ve tarım arazileri, çit gibi insan yapımı olabilir. Bunun dışında gölgeleme ile görüntüler olabilir ve fay çizgisi gibi görülebilirler. Tüm bu nedenlerle faz çizgilerinin arazide diğer yapılardan ayrılması gerekmektedir. İnsan gözü için oldukça sıradan olan bu işlem için çeşitli analiz yöntemleri gereklidir. Çizgisel yapıların belirlenmesi için birçok yöntem bulunmaktadır (Marghany & Hashim, 2010; Rahmana & Gloaguen, 2014). Bu çalışmada filtreleme, temel bileşenler analizi, bant oranlama, FCC (False Color Composite) bant kombinasyonları görüntüleme, sonuç çizgisellik haritası ve otomatik çizgisellik çıkarımı yöntemleri



kullanılmıştır. Çizgisellik analizinde USGS (Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu) tarafından ücretsiz olarak sağlanan 17.07.2002 tarihinde çalışma alanı üzerinde algılanmış bulutsuz (%0 cloud cover), SLC (Scan Line Corrector) hatası olmayan Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) uydu görüntüsü kullanılmıştır. Landsat-7 uydu görüntüsü, 15m çözünürlüklü bir pankromatik bandla beraber, 30m çözünürlüklü görünür, yakın kızıl ötesi, kısa dalga kızılötesi bölgede (VNIR-SWIR) altı, 60m çözünürlüklü termal kızılötesi bölgede bir band içerir. Kullanılan uydu görüntüleri sistem tarafından radyometrik, atmosferik ve geometrik düzeltmesi yapılmış olarak L7 ETM+ C1 Level-2 şeklinde temin edilmiştir. Çizgisellik analizlerinde pankromatik band kullanılarak Gram-Schmidt spektral keskinleştirme yöntemi (Laben & Brower, 2000) ile 15 metreye pankeskinleştirilmiş VNIR-SWIR bandları kullanılmıştır.

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3. Results and discussion

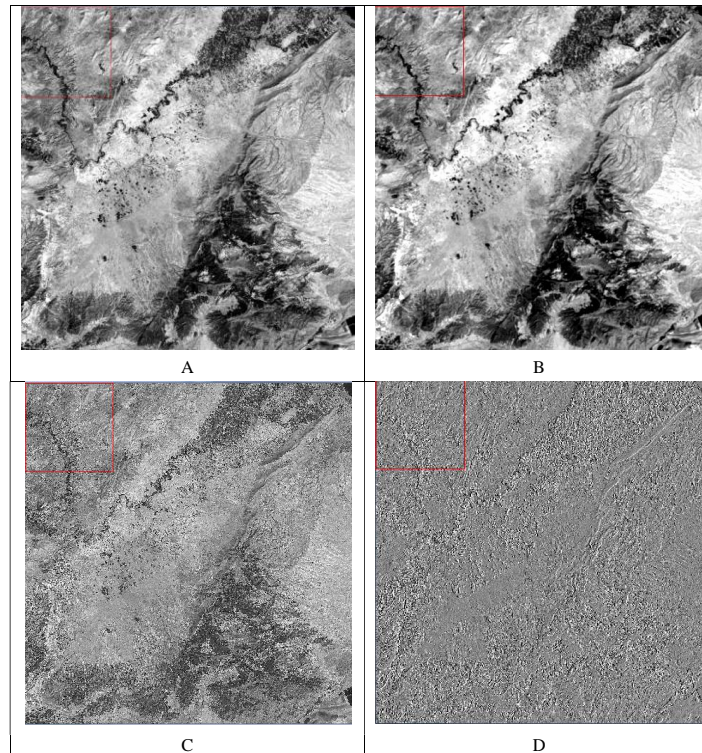
#### 3.1. Filtreleme tekniği

##### 3.1. Filtering technique

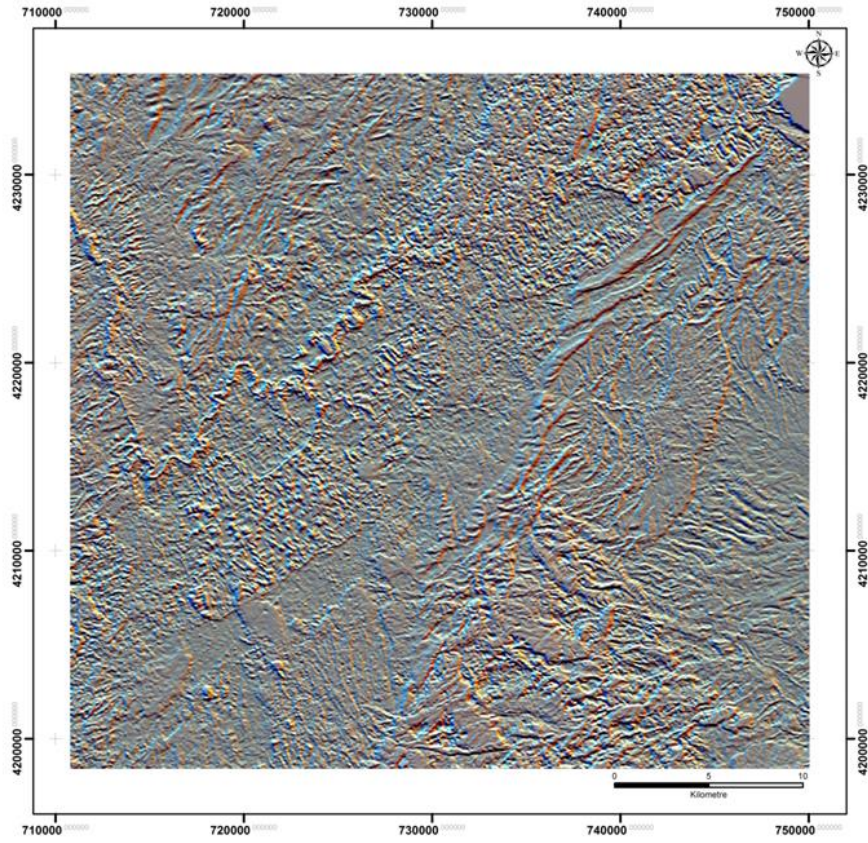
Filtreleme tekniklerinde genellikle kullanılan 3 yöntem vardır (Kouame vd. (1999)). Bunlar düşük geçirgen filtreler, yüksek geçirgen filtreler ve yönsel filtrelerdir. Düşük geçirgen filtreler görüntüdeki mekânsal detayları ortadan kaldırmak için kullanılırken, yüksek geçirgen filtreler görüntüdeki objeleri belirginleştirir ve keskinleştirir. Yönsel filtreler ise çizgisel objeleri belirginleştirmek için kullanılırlar (Şekil 2).

Bu çalışmada Landsat-7 ETM uydu görüntüsünün 5. bandına Kouame vd. (1999) ve Youan vd. (2008) tarafından geliştirilmiş 7\*7 matris uygulanarak K-G, KD-GB, D-B ve KB-GD olmak üzere dört ana yönde yönsel filtreleme işlemine tabii tutulmuş ve bu dört ana yönde filtrelenen görüntüler elde edilmiştir. Yönsel filtrelemeden sonra ArcGIS yazılımı kullanılarak otomatik çizgisellik haritaları oluşturulmuştur.

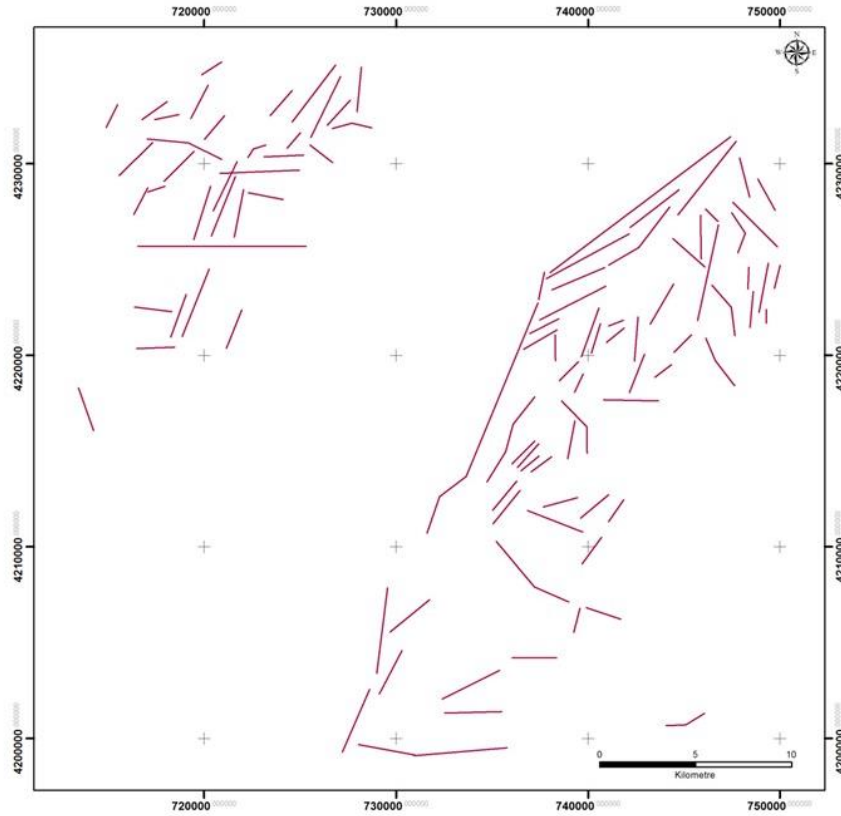
Yönsel filtreleme sonucu elde edilen görüntüler R(45°) G(0°) ve B(135°) olacak şekilde görüntü oluşturulmuş (Şekil 3) ve bunun üzerinden çizgisellik haritası elde edilmiştir (Şekil 4). Yönsel filtreleme sonucunda elde edilen çizgisellik haritasında 100 adet çizgisellik elde edilmiş olup bunların toplam uzunluğu 263.94 km'dir. Ortalama çizgisellik uzunluğu ise toplam 2.64 km'dir.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası  
Figure 1. Location map of the study area



**Şekil 3.** Yönsel filtreleme sonucu elde edilen görüntü R (45°) G (0°) ve B (135°).  
**Figure 3.** The image of directional filtering is R (45°) G (0°) and B (135°)



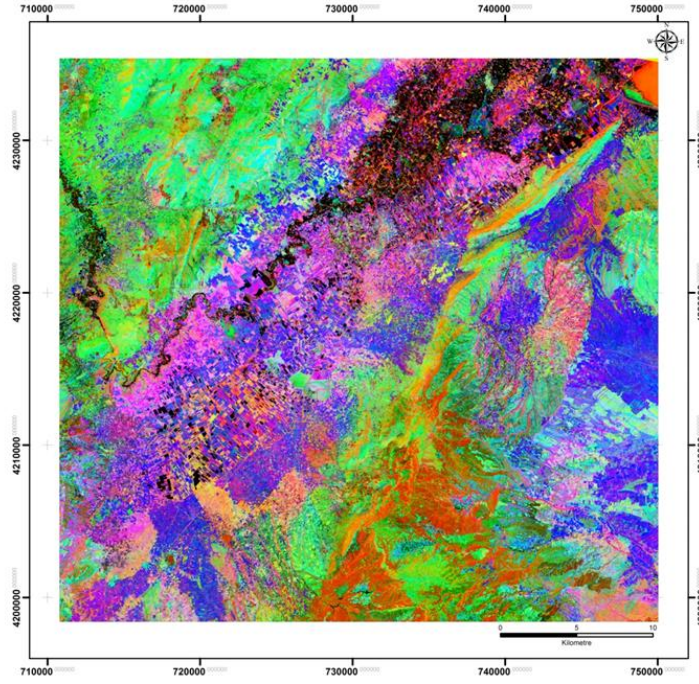
**Şekil 4.** Yönsel filtreleme sonucunda elde edilen çizgisellik haritası.  
**Figure 4.** Lineament map of directional filtering



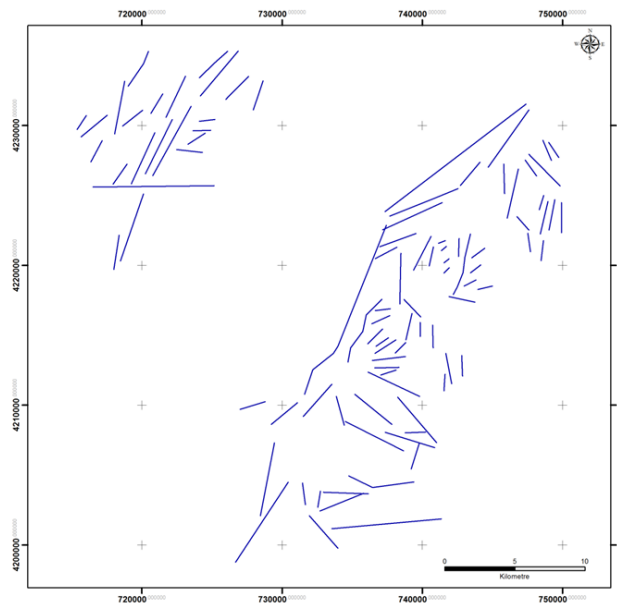
### 3.2. Temel bileşenler analizi

#### 3.2. Principal components analysis

Orijinal p değişkeninin varyans yapısını daha az sayıda ve bu değişkenlerin doğrusal bileşenleri olan yeni değişkenlerle ifade etme yöntemidir. Bu çalışmada Landsat ETM uydu görüntüsünden alınmış olan 6 bant üzerinden MultispecV32 yazılımı temel bileşenler analizi yapılmış ve çıkan istatistiksel değerler tespit edilmiştir. Temel bileşenler analizi sonucunda elde edilen görüntü Şekil 5'te gösterilmiştir. Elde edilen ve toplam varyans değerlerinin %98.49'luk kısmını içeren ilk üç bileşen kullanılarak hazırlanan renk kombinasyonundan otomatik çizgisellik elde etmek için aynı yazılım kullanılarak çizgisellik haritası oluşturulmuştur (Şekil 6). Elde edilen bu haritada 95 adet çizgisellik elde edilmiş olup toplam uzunlukları 262.26 km'dir. Ortalama çizgisellik 2.76 km'dir.



Şekil 5. Temel bileşenler analizi (PCA) uygulanmış görüntü  
Figure 5. Image after principal component analysis (PCA)



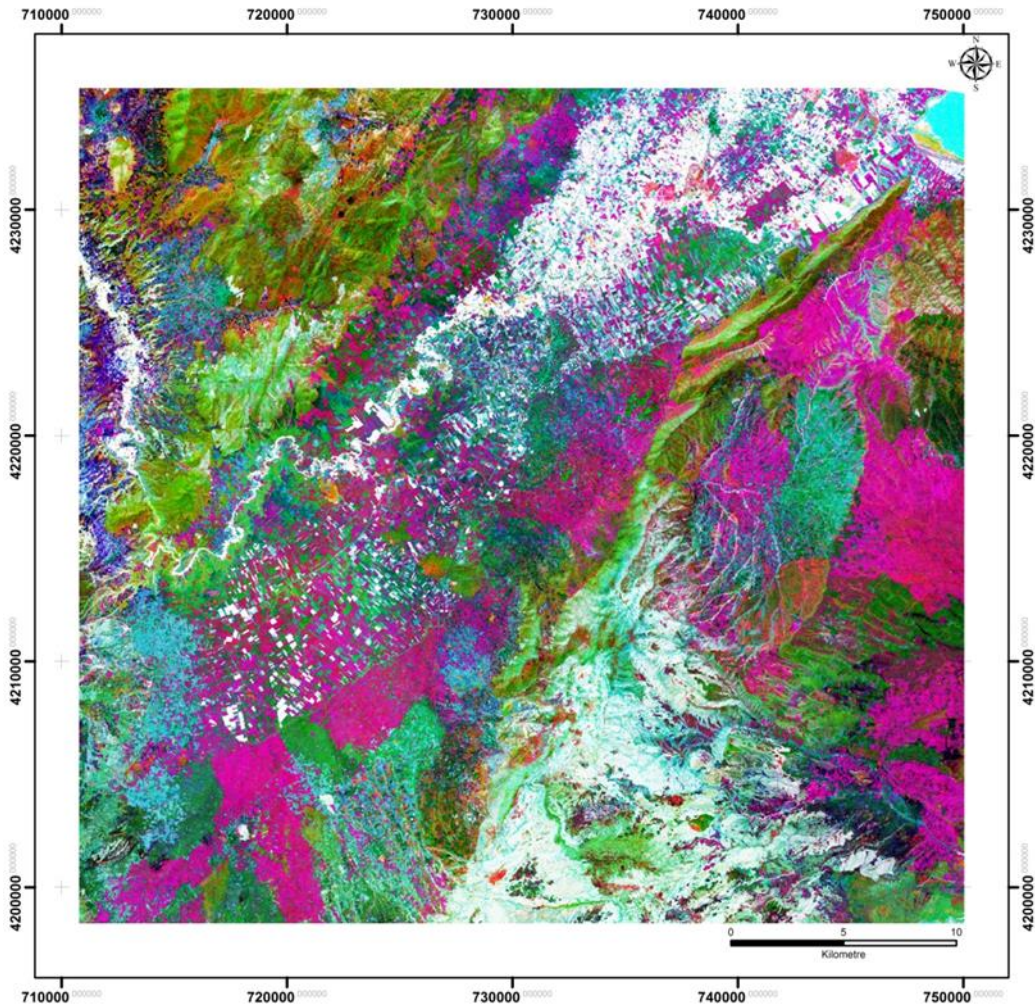
Şekil 6. Temel bileşenler analizinden elde edilen çizgisellik haritası.  
Figure 6. Lineament map after principal component analysis

### 3.3. Bant oranlama

#### 3.3. Band ratio

Bu yöntem jeolojik özellikleri ayırt etmede yaygın olarak kullanılmakta olup farklı bantlarda bulunan hücre değerlerinin birbirlerine bölünmesi işlemidir. Bu işlem topoğrafik etkilerden meydana gelen olumsuzlukları ve gölgelenmeyi ortadan kaldırmaktır (Lillesand & Keifer, 1999). Literatürdeki çalışmalarda 5/7 oranı hidroksil içeren minerallerin tanımlanabilmesi için kullanılmaktadır; bu mineraller faylar ve kırıklar boyunca suyun etkisini göstermektedir (Crippen, 1988). 2/3 oranı bitki örtüsünün yoğun olarak bulunduğu kesimleri diğer alanlardan ayırt etmek için 4/5 oranı ise yüksek derecede deformasyona uğramış kesimleri belirlemek için kullanılmaktadır. 4/5 oranlaması sonucunda deformasyona uğramış alanlar siyah ve koyu tonda izlenirler (Won-In & Charusiri, 2003). Bu çalışmada 5/7, 2/3, 4/5 bant oranları kullanılmıştır.

MultispecV32 yazılımı ile 5/7, 2/3 ve 4/5 bant oranları kullanılarak RGB renk kombinasyonu elde edilmiş (Şekil 7) ve çizgisellik haritası otomatik oluşturulmuştur (Şekil 8). Elde edilen çizgisellik haritasında 141 adet çizgisellik bulunmuş olup bunların toplam uzunluğu 297.21 km'dir. Bunların ortalama çizgisellik uzunluğu 2.11 km'dir.



Şekil 7. Bant oranlaması sonucu elde edilen görüntü.

Figure 7. The image of band ratio

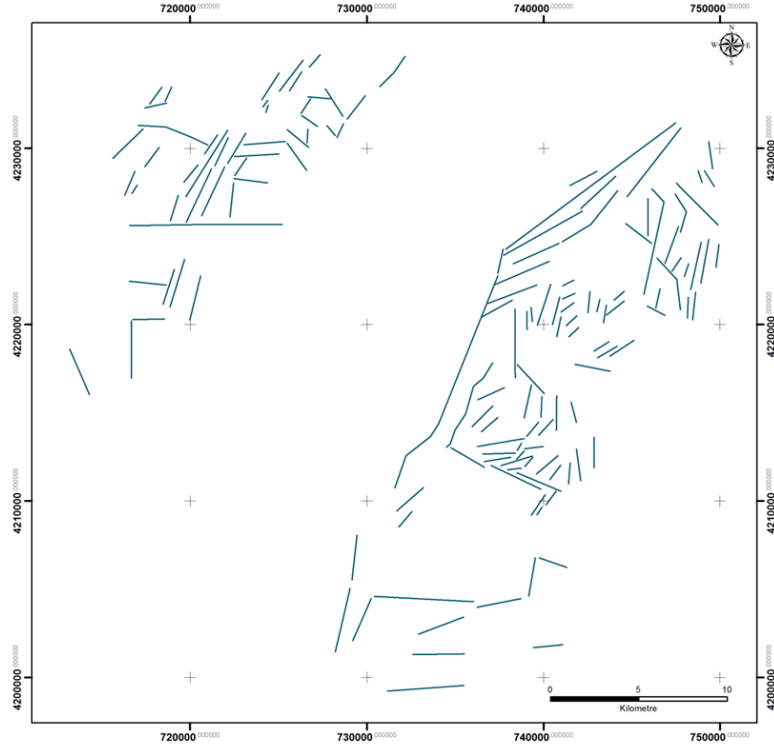
### 3.4. Bant kombinasyonları

#### 3.4. Band combinations

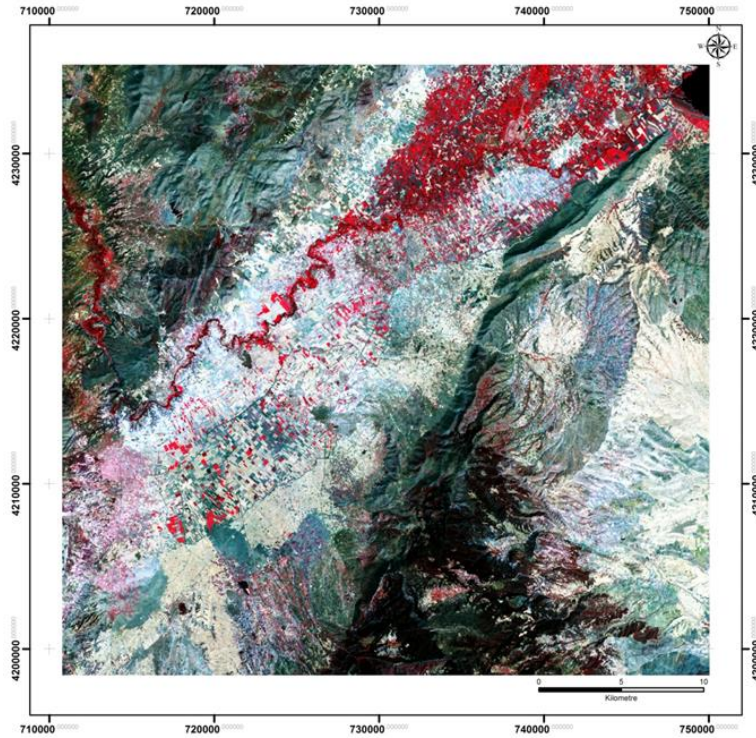
Bant kombinasyonları yöntemi çalışma alanına ait uydu görüntüsünün farklı bantlarının R(Kırmızı), G(Yeşil), B(Mavi) olacak şekilde çakıştırılması ile yapılır. Çizgiselliklerin belirlenebilmesi için Landsat ETM uydu görüntüsünün 2, 3 ve 4. bantlarının en iyi RGB kombinasyonu olduğu bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında



inceleme alanının yukarıda belirtilen RGB bant kombinasyonu oluşturulmuş (Şekil 9) ve çalışma alanındaki çizgisellikler elde edilmiştir (Şekil 10). Yapılan analizler sonucunda 99 adet çizgisellik bulunmuştur. Bu çizgiselliklerin toplam uzunluğu 273.39 km olup ortalama çizgisellik uzunluğu 2.76 km'dir.

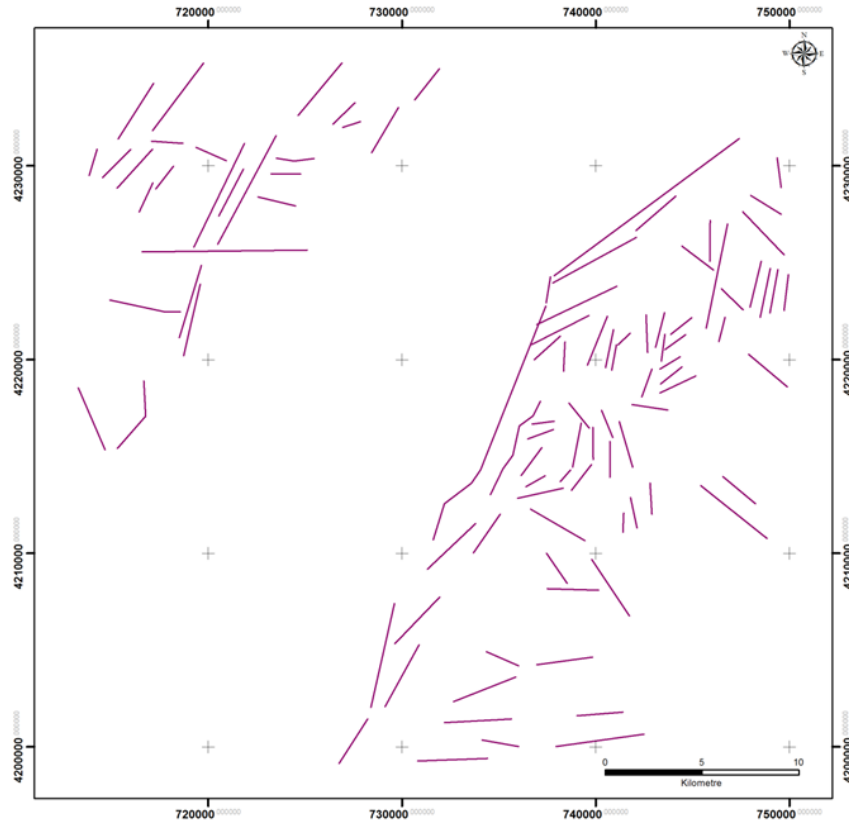


**Şekil 8.** Bant oranlamasından elde edilen çizgisellik haritası  
*Figure 8. Lineament map after band ratio*



**Şekil 9.** Bant kombinasyonları sonucu elde edilen görüntü  
*Figure 9. The image of band combinations*





**Şekil 10.** Bant kombinasyonlarından elde edilen çizgisellik haritası  
**Figure 10.** Lineament map of band combinations

### 3.5. Sonuç çizgisellik haritası

#### 3.5. Result linearity map

Uydu görüntülerinden dört farklı çizgisellik çıkarım tekniği kullanılarak dört farklı çizgisellik haritası elde edilmiştir. Bu sonuçlar içerisinde çift olanlar ayıklanmış, aynı doğrultu üzerindeki birden fazla olan çizgiselliklerin en uzununu bırakılıp kısa olanları silinmiş ve birbirini tamamlayan çizgisellikler birleştirilmiştir (Şekil 11). Sonuç çizgisellik haritasında 144 adet çizgisellik belirlenmiş olup, bunların toplam uzunluğu 416.90 km'dir. Veriler arasında en uzun çizgisellik 13.65 km, en kısa çizgisellik ise 0.6 km'dir.

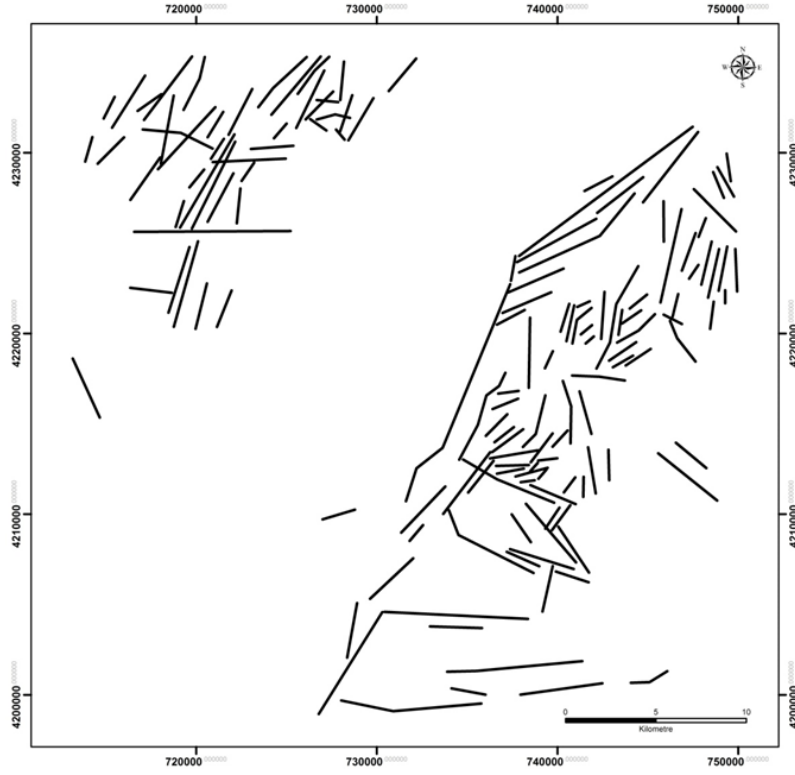
### 3.6. Otomatik çizgisellik çıkarımı

#### 3.6. Automatic lineament extraction

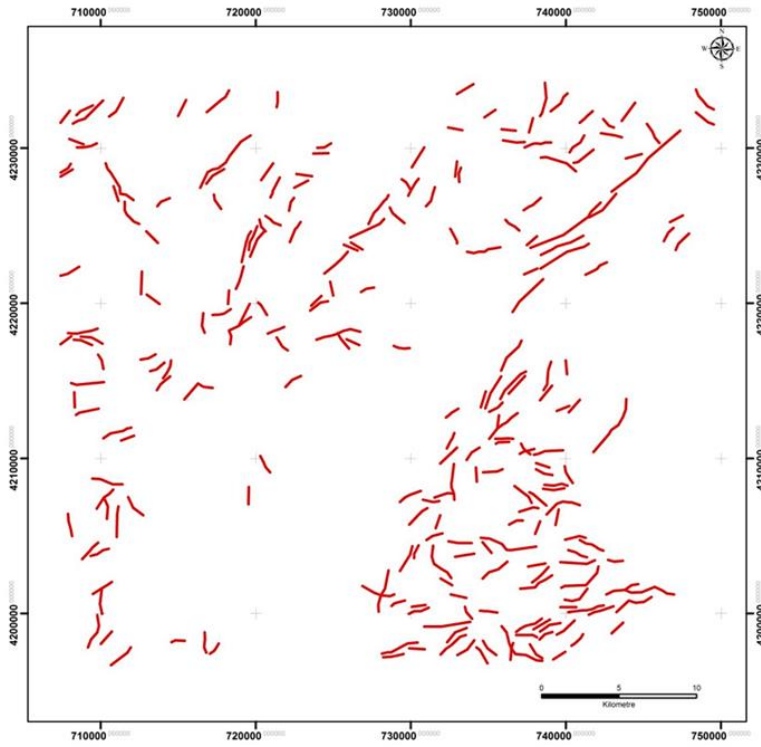
Otomatik çizgisellik çıkarımı, uydu görüntüleri üzerinden bilgisayar yazılımı yardımıyla çizgiselliklerinin çıkarılması işlemidir. Bu görüntülerde çizgisellikler insan gözünün ayırt edemeyeceği kadar küçük ayrıntıların belirlenmesi mümkün olabilir. Manuel çizgisellik çıkarımına göre daha hızlı ve daha ayrıntılı olsa da, elde edilen verilerin doğruluk oranı daha azdır. Otomatik çizgisellik çıkarımı için kullanılan üç yaygın algoritma vardır (Koçal, 2004): Hough dönüşümü, Haar dönüşümü ve Segment izleme algoritması (STA).

Segment izleme algoritması (STA) digital görüntülerde gri seviye değişimini inceleyip, çizgisellikleri pixel boyutunda değerlendirip vektör elemanı olarak algılamaktadır (Koike vd., 1995). Çalışmanın bu bölümünde otomatik çizgisellik çıkarımı için PCI Geomatica yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım görüntü üzerinden çizgisel özellikleri çıkarmakta ve vektör formatında "çoklu çizgi" olarak kaydetmektedir.

Bu çalışmada Landsat ETM uydusunun jeolojik sınırlara duyarlılığı ile bilinen 30\*30 metre çözünürlüklü 7. bandını ve yazılımın "çizgi" modülüne ait orijinal eşik değerleri (RADI:10, GTHR:100, LTHR: 30, FTHR:3, ATHR:30, DTHR:20) kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen çizgisellik haritası Şekil 121'de gösterilmiştir. Bu yöntemle 246 adet çizgisel nesne bulunmuştur. Bunların en kısa olanı 0.86 km, en uzununu 5.94 km olup toplamı 355.89 km'dir.



**Şekil 11.** Sonuç çizgisellik haritası  
**Figure 11.** Result linearity map



**Şekil 12.** Sonuç çizgisellik haritası  
**Figure 12.** Result linearity map

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

##### 4. Discussion and conclusions

Çalışmada filtreleme, temel bileşenler analizi, bant oranlama, bant kombinasyonu, sonuç çizgisellik ve otomatik çizgisellik çıkarımı olmak üzere altı farklı yöntem kullanılarak inceleme alanındaki çizgisellikler tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda drenaj ağı dahil edilmemiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Kullanılan yöntemlerle elde edilen çizgisellik sayıları ve uzunlukları

**Table 1.** Lineament lengths and numbers of the employed methods

|              | Filtreleme | Temel Bileşenler Analizi | Bant Oranlama | Bant Kombinasyonu | Sonuç Çizgisellik Çıkarımı | Otomatik Çizgisellik Çıkarımı |
|--------------|------------|--------------------------|---------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Sayı         | 100        | 95                       | 141           | 99                | 144                        | 246                           |
| Uzunluk (km) | 263.94     | 262.26                   | 297.21        | 273.39            | 418.90                     | 355.89                        |

Bu verilere göre temel bileşenler analizi en az sayıda çizgisel nesne belirlerken, otomatik çizgisellik çıkarımı ile en fazla sayıda nesne belirlenmiştir. Belirlenen çizgisel nesnelerin sayıları yöntemlere göre çok büyük farklılıklar göstermektedir. Ancak çizgiselliklerin uzunları dikkate alındığında, yöntemler arasında nesne sayılarına göre büyük farklılıkların olmadığı görülmektedir. Bu durum, kullanılan yöntemlerde çizgiselliklerin genellikle belirlendiği, ancak farklı yöntemlerde aynı çizgiselliğin farklı sayılardaki nesnelere oluşturulmasından kaynaklanmaktadır. Elde edilen bu veri ışığında, kullanılan yöntemlerle fay çizgiselliklerinin büyük oranda tespit edilebileceği, ancak fay uzunlukları konusunda daha dikkatli olunması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Uydu görüntülerinin çözünürlüğünün artırılması ve sayısal yükseklik modeli gibi verilerin eklenmesi ile daha yüksek hassasiyetli sonuçların alınması muhtemel görünmektedir.

#### Teşekkür / Katkı belirtme

##### Acknowledgement

Bu çalışma, Pamukkale Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri birimi (PAÜBAP) tarafından 2010FBE052 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkür ederiz.

#### Yazar katkısı

##### Author contribution

Araştırmacılarından Kaya; araziden verilerin derlenmesi, verilerin elde edilmesi ve ilerleyişinin denetlenmesi, Akyol; makalenin düzenlenmesi, literatür kısmı, bazı tabloların/şekillerin hazırlanması ve yorumlanmasında katkı sunmuştur. Araştırmacılarından Topaloğlu ise arazi verilerinin ve uydu görüntülerinin derlenmesi, bilgisayar analizlerinin yapılmasına katkı sunmuştur.

#### Etik beyanı

##### Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

#### Çıkar çatışması beyanı

##### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.



**Kaynaklar***References*

- Akgün, E., İnceöz, M., & Manap, H.S. (2021). Aktif tektonikte uzaktan algılama uygulamaları: Doğu Anadolu fay zonu'ndan bir örnek. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(2), 473-482.
- Baumann, P.R. (2014). History of remote sensing, aerial photography. *Geo/SAT2*, <http://employees.oneonta.edu/baumanpr/geosat2/rs%20history%20i/rs-history-part-1.htm>
- Cihan, M., Saraç, G., & Gökçe, O. (2003). Insights into biaxial extensional tectonics: An example from the Sandıklı Graben, West Anatolia, Turkey. *Geological Journal*, 38, 47-56.
- Crippen, R. E. (1988). The dangers of underestimating the importance of data adjustments in band ratioing. *International Journal of Remote Sensing*, 9, 767-776.
- Gürbüz, A., Boyraz, S., & Ismael, M.T. (2012). Plio-Quaternary development of Baklan-Dinar Graben: its implications for cross-graben formation in SW Turkey. *International Geology Review*, 54 (1), 33-5.
- Jackson, J., (1994), Active tectonics of the Aegean Region. *Annual Review of Earth and Planet Sciences*, 22, 239-271.
- Joshi, P.N., Maurya, D.M., & Chamyal, L.S. (2013). Morphotectonic segmentation and spatial variability of neotectonic activity along the Narmada-Son Fault, Western India: Remote sensing and GIS analysis. *Geomorphology*, (180-181), 292-306, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.10.023>.
- Laben, C.A. & Brower, B.V. (2000). *Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening*. U.S. Patent 6,011,875. Jan 4, 2000
- Liu, Z., Han, L., Du, C., Cao, H., Guo, J., & Wang, H. (2021). Fractal and multifractal characteristics of lineaments in the Qianhe Graben and its tectonic significance using remote sensing images. *Remote Sensing*, 13, 587. <https://doi.org/10.3390/rs13040587>
- Kaya, Ş., Müftüoğlu, O., & Tüysüz, O. (2004). Tracing the geometry of an active fault using remote sensing and digital elevation model: Ganos segment, North Anatolian Fault zone, Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 25(19), 3843-3855. <https://doi.org/10.1080/01431160310001652394>
- 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.
- Koçal, A., (2004). *A methodology for detection and evaluation of lineaments from satellite imagery*. [Ms Thesis, Middle East Technical University].
- Koike, K., Nagano S., & Ohmi, M. (1995). Lineament analysis of satellite images using a Segment Tracing Algorithm (STA). *Computers and Geosciences*, 21(9), 1091-1104. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(95\)00042-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(95)00042-7)
- Kouamé, F., Gioan, P., Biemi, J., & Affian, K. (1999). Méthode de cartographie des discontinuités images extraites d'images satellitales: Exemple de la région semi montagneuse à l'Ouest de la côte d'Ivoire. *Revue de Télédétection*, 1(2), 139-156.
- Lillesand, T.M., & Kiefer, R.W. (1999). *Remote sensing and image interpretation* (4th ed.). Wiley, ISBN-13: 978-0471255154.
- Marghany, M., & Hashim, M. (2010). Lineament mapping using multispectral remote sensing satellite data. *International Journal of the Physical Sciences*, 5(10), 1501-1507.
- 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. *ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-7/W3, 897-903. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-897-2015>.
- NASA (2022, September 15). *What is Remote Sensing*. <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing>.

- O'Leary, D. W., Friedman, J. D., & Pohn, H. A. (1976). Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, 87(10), 1463-1469. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1976\)87<1463:LLLSPN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1976)87<1463:LLLSPN>2.0.CO;2)
- Pour, A. B., & Hashim, M. (2016). Remote sensing analysis of geological structures in Peninsular Malaysia using PALSAR data. *2016 IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 6067-6069, <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730585>.
- Rahnama, M., & Gloaguen, R. (2014). A MATLAB-Based toolbox for tectonic lineament analysis from satellite images and DEMs, Part 1: Line segment detection and extraction. *Remote Sensing*, 6(7), 5938-5958.
- Qari, M. Y. H. T. (1991). Application of Landsat TM data to geological studies, AlKhabt area, Southern Arabian Shield. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57(4), 421-429.
- Suzen, M.L., & Toprak, V. (1998). Filtering of satellite images in geological lineament analyses: An application to a fault zone in Central Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 19(6), 1101-1114. <https://doi.org/10.1080/014311698215621>.
- Temiz, H., Poisson, A., Andrieux, J., & Barka, A. (1997). Kinematics of the Plio-Quaternary Burdur-Dinar cross-fault system in SW Anatolia (Turkey). *Annales Tectonicae*, 11(1-2), 102-113.
- 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), <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20851.99363>.
- Vanderbrug, G. J. (1976). Line detection in satellite imagery. *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*, 14 (1), 37-44. <https://doi.org/10.1109/TGE.1976.294463>
- Won-In K., & Charusiri P. (2003). Enhancement of thematic mapper satellite images for geological mapping of the Cho Dien area, Northern Vietnam. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(3), 183-193. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(02\)00034-X](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(02)00034-X)
- Youan Ta, M., Lasm, T., Jourda, J.P., Kouamé, K.F., & Razack, M. (2008). Cartographie des accidents géologiques par imagerie satellitaire Landsat-7 ETM+et analyse des réseaux de fracture du socle précambrien de la région de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire). *Téledétection*, 8(2), 119-135.