

## Landsat TM Görüntüleri Üzerinden Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) Arasındaki Bölümünün Çizgisellik Analizi

*Lineament Analysis of the area between Palu (Elazığ) and Pütürge (Malatya) on the East Anatolian Fault System by using Landsat TM images*

**Mehmet KÖKÜM\***

*Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ*

• Geliş tarihi / Received: 30.04.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 19.06.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 02.07.2018

### Öz

Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin (DAFS) Palu (Elazığ)–Pütürge (Malatya) arasındaki bölümünün çizgisellikleri Landsat (4-5) TM uydu görüntüleri üzerinden otomatik yöntemle çıkarılmıştır. Bu çizgisel yapılardan; jeolojik unsurların dışındaki etkilerle oluşmuş yapay ve/veya doğal çizgisellikler elemine edilmiştir. Çalışma alanı içerisinde 101 adet jeolojik çizgisellik belirlenerek gül diyagramı hazırlanmıştır. Çizgisellik analizlerine göre jeolojik çizgiselliklerin toplam uzunlukları 1.287 km ve ortalama doğrultularının ise  $75^{\circ}$  olduğu tespit edilmiştir. Gül diyagramından elde edilen sonuçlar bölgenin tektonik evrimi göz önünde bulundurularak yorumlanmıştır. Bu veriler ışığında çalışma alanında  $K55^{\circ}D$  ve  $K85^{\circ}D$  yönlü iki ana jeolojik çizgisellik doğrultusu belirlenmiştir. Bu çizgiselliklerden  $K85^{\circ}D$  yönlü olanların Orta Miyosen–Erken Pliyosen döneminde bölgede etkili olan yaklaşık kuzey-güney sıkışma ile ilgili oldukları ve kıvrım eksenlerine veya ters faylara karşılık geldikleri arazi verileri ile desteklenmektedir. Geç Pliyosen döneminden itibaren bölgede DAFS başta olmak üzere birçok doğrultu atımlı fay aktif hale geçerek doğrultu atım tektoniği baskın duruma geçmiştir.  $K55^{\circ}D$  yönlü olan çizgiselliklerin sol yanallı doğrultu atımlı fayları temsil ettiği arazi verilerince doğrulanmıştır. Uydu görüntüleri üzerinden otomatik yöntemle elde edilen jeolojik çizgisellik analiz sonuçlarının, bölgenin etkisi altında olduğu tektonik rejim ürünleriyle oldukça uyumlu olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Çizgisellik analizi, Doğu Anadolu Fay Sistemi, Jeoloji, Uzaktan algılama

### Abstract

*The lineaments in the area between Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) on the East Anatolian Fault System (EAFS) were extracted by using automatic methods from Landsat (4-5) TM satellite image. Artificial and/or natural lineaments, which were not formed by the help of geological effects, were eliminated. Within the study area, a total of 101 geological lineaments were defined and rose diagram prepared. According to the rose diagram, the main orientations of the faults were determined as  $N75^{\circ}E$  with total of 1.286,879 km long. A rose diagram is interpreted taking into account the tectonic evolution of the region. In this regard, two main geological lineaments directions of  $N55^{\circ}E$  and  $N85^{\circ}E$  were determined in the study area. In this data,  $N85^{\circ}E$  directed lineaments, which correspond to the fold axes or reverse faults, are related to the approximately N-S directed compression during the Middle Miocene-Pliocene period. The EAFS, as well as many strike-slip faults, started to activate, and the strike-slip tectonic regime has been dominant since the Late Pliocene. Due to the fact that  $N55^{\circ}E$  oriented lineaments both are approximately parallel to EAFS and confirm by field work suggest that  $N55^{\circ}E$  oriented faults are related to strike-slip tectonic regime. Geological lineament analysis results obtained by automated methods on satellite images are very consistent with current tectonic regime controlling the region.*

**Keywords:** Lineament analysis, East Anatolian Fault System, Geology, Remote sensing<sup>0</sup>

\* Mehmet KÖKÜM; mkokum@firat.edu.tr; Tel: (0553) 216 40 00; orcid.org/0000-0001-5149-3931

## 1. Giriş

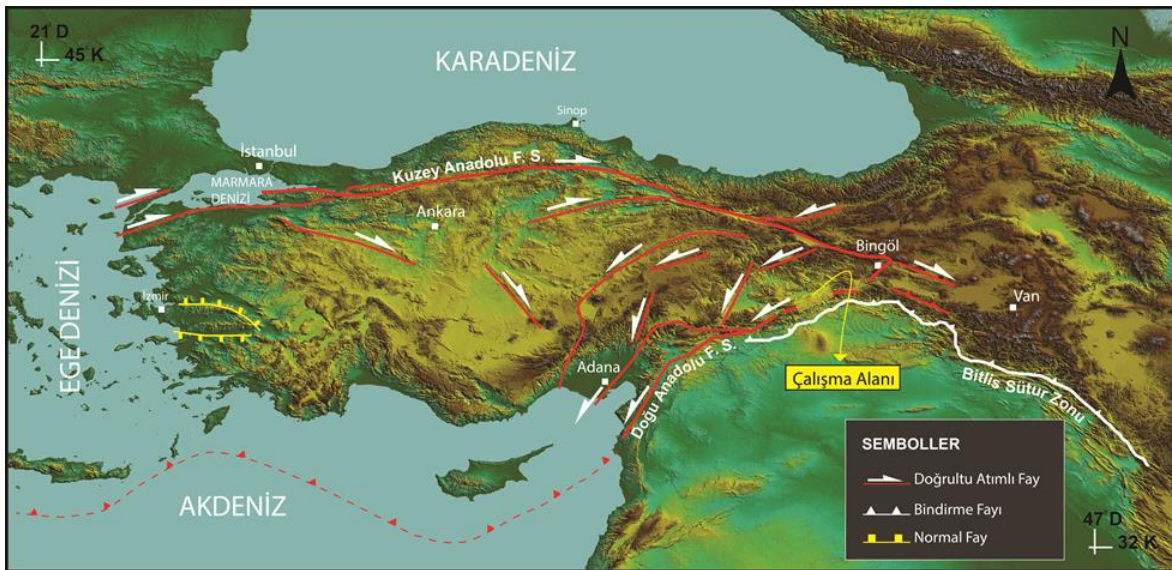
Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) Avrasya ve Arap Levhaları'nın çarpışmalarının bir sonucu olarak oluşmuş doğrultu atımlı bir fay sistemidir. Duman vd. (2013) DAFS'ni iki ana kola ayırarak incelemişlerdir. Ana (güney) kol yaklaşık 580 km uzunluğunda olup kuzeydoğuda Kuzey Anadolu ve Varto Fayları ile Karlıova Üçlü Eklem Nokta'sını (KÜEN), güneybatıda ise Ölü Deniz Fayı ve Kıbrıs Yayı ile Amik Üçlü Eklem Nokta'sını (AÜEN) oluşturmaktadır. Sürgü-Misis Fay Sistemi (SMFS) veya kuzey kol ise yaklaşık 350 km uzunluğunda olup Sürgü (Adıyaman) bölgesinde yaklaşık D-B doğrultulu olup, Afşin'den (Maraş) itibaren ise KD doğrultu İskenderun Körfezi' ne doğru uzanmaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı olan Palu-Pütürge arasındaki bölge DAFS'nin ana kolu üzerinde yer almakta ve yaklaşık olarak 120 km uzunluğundadır.

Uydu görüntülerinin jeoloji ile ilgili çalışmalarda kullanılmaya başlaması disiplinler arası çalışmaların artmasıyla başlamıştır. Arazi çalışmaları öncesi ve sonrasında araştırmacıya çok önemli bilgiler sunan ve zaman kazandıran uydu görüntüleri ve uygulamaları, her geçen gün araştırmacılar tarafından daha etkin olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, uydu görüntüleri sayesinde araştırmacılar çok geniş alanları rahat bir şekilde çalışabilmektedirler.

Konumu itibariyle tektonik açıdan oldukça aktif ve karmaşık ilişkiler sunan ülkemizde, uydu görüntüleri üzerinden çizgisellik çıkarımı aktif tektonik çalışmalarında çokça tercih edilmektedir.

Uydu görüntüleri üzerinden jeolojik çizgisel yapıların çıkarımı için manuel (Tatar 1987; Süzen ve Toprak, 1998; Kavak ve Çetin, 2007; Koçbulut vd., 2015) ve otomatik yöntemler (Ayday ve Gümüsoğlu, 2008; Arslan ve Akyürek, 2015) uygulanmıştır. Uydu görüntüleri üzerinden çizgisellik çıkarımı yapılırken manuel yöntemlerin başarısında programı kullanan kişinin bilgi ve deneyimi ön plana çıkarken, otomatik yöntemlerde ise kullanılan programın algoritması ve görüntünün bilgi içeriği oldukça önemlidir (Al Dossary ve Marfurt, 2007).

Aktif fay zonlarında uydu görüntüleri üzerinden çizgisellik çıkarımı ve bu çizgiselliklerle bölgenin paleotektonik ve neotektonik evriminin ilişkilendirilmesi ile ilgili ayrıntılı çalışmalar mevcuttur (örn. Kavak ve Çetin,2007; Gürbüz, 2009; Koçbulut vd.,2015). Bu çalışmalarda araştırmacılar uydu görüntüleri üzerinden elde edilen çizgisellikleri çeşitli verilerle (morfolojik, fay kinematik verileri vb.) destekleyerek anlamlandırmışlardır. Çalışma alanını kapsayan ilk ve tek uzaktan algılama çalışması ise Tatar (1987) tarafından yapılmıştır. Araştırmacı, Elazığ il merkezi ve yaklaşık 100 km yarıçapındaki bir alanda bulunan önemli tektonik yapıları ortaya çıkarmak amacıyla Landsat görüntülerinden yararlanmıştır. Çalışma alanı ile ilgili ilk kez uydu görüntüleri üzerinden yararlanılarak yapılan bu çalışmada araştırmacı, DAFS, Ovacık Fayı, Palu ve Baskil antiklinallerini haritalamıştır. Ayrıca araştırmacı haritalanan kırıklar üzerinde gül diyagramları hazırlayarak bölgede etkin olan ana basınç gerilmesinin yaklaşık kuzey-güney olduğunu ifade etmiştir.



Şekil 1. Türkiye'nin önemli aktif tektonik yapıları ve çalışma alanının konumu (Emre vd., 2013'den değiştirilerek hazırlanmıştır).

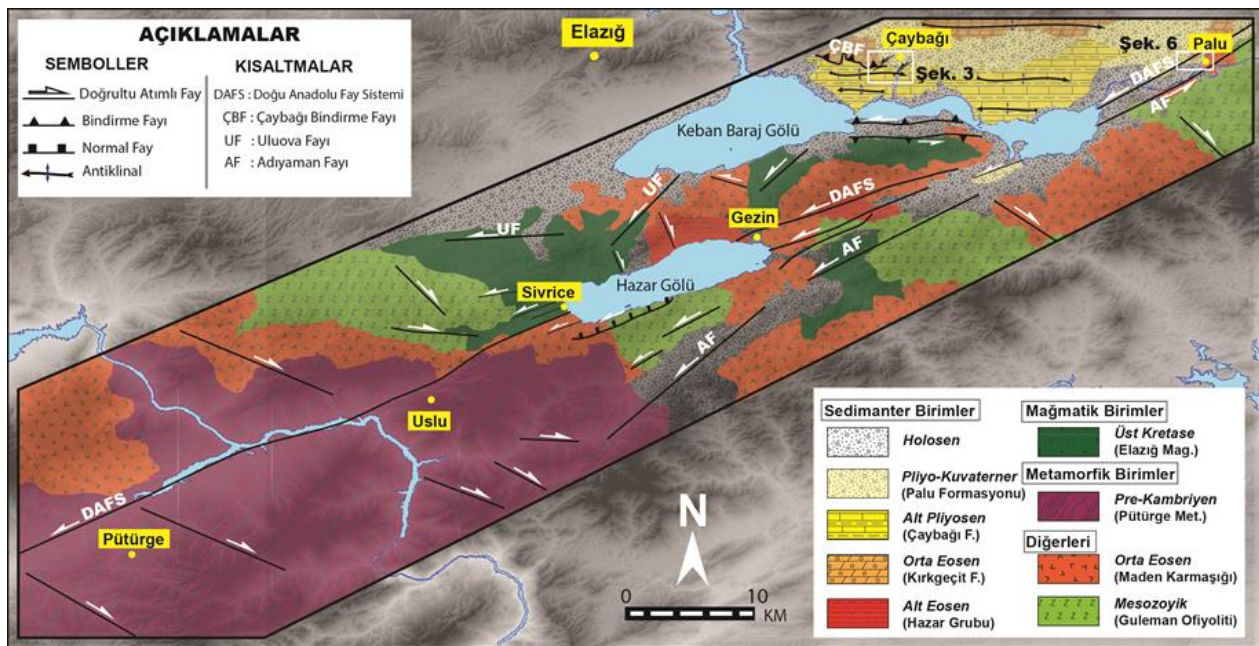
Bu çalışmanın amacı DAFS üzerindeki Palu (Elazığ) ve Pütürge (Malatya) arasındaki bölümünün Landsat (4 ve 5) TM uydu görüntüleri üzerinden jeolojik kökenli çizgisel yapıların otomatik yöntemle analiz ederek bölgenin paleotektonik ve neotektonik evrimi çerçevesinde yorumlanmasıdır.

## 2. Bölgesel Jeoloji

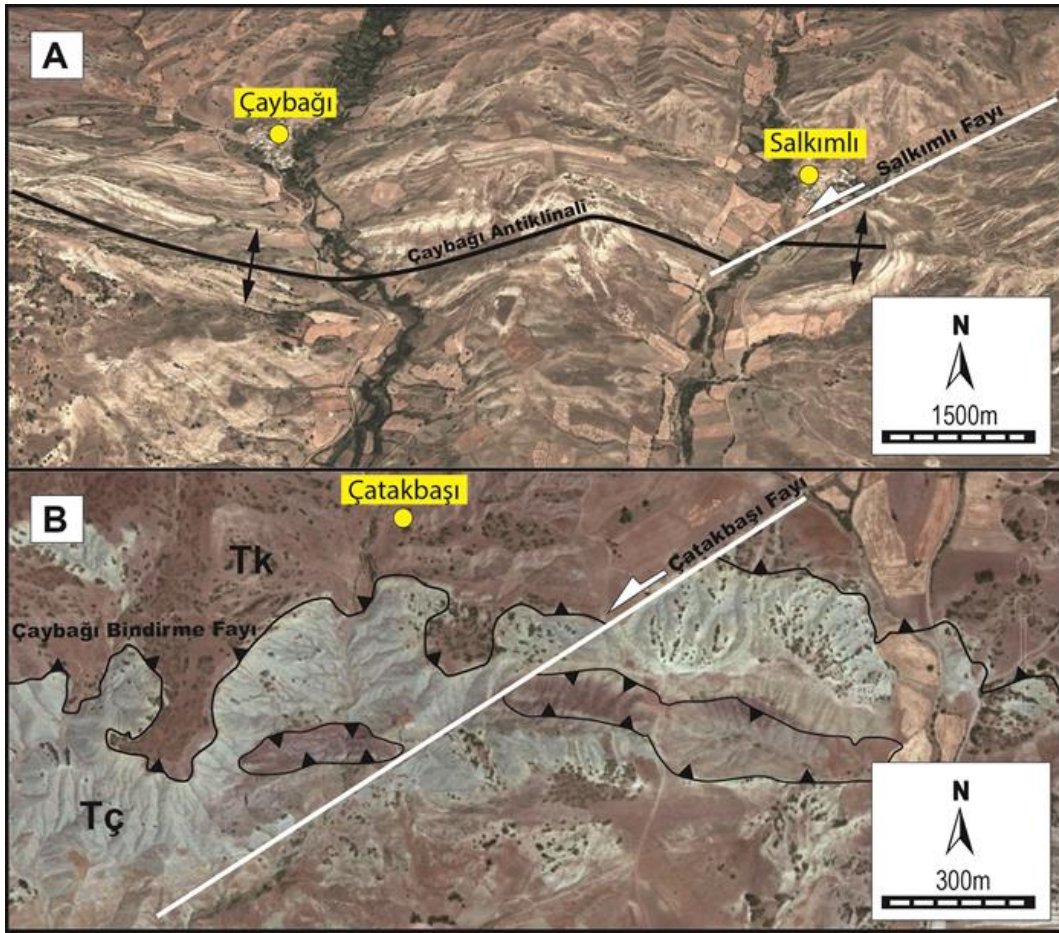
Türkiye kuzeyde Lavrasya ve güneyde Gondvana kıtalarının, Mesozoyik sonlarında Tetis Okyanusu'nun yitimi sonucu ve Senozoyik'te çarpışmaları ile başlayan Alpin Orojenezi Sistemi'ne bağlı gelişen Alp-Himalaya Sistemi içerisinde yer almaktadır. Afrika Kıtası'nın batı ucunda Atlas Dağları ile başlayan Alp-Himalaya Sistemi doğuya doğru Pireneler, Alpler, Karpatlar, Toroslar, Zagros, Hindukuş ve Himalaya dağ sistemlerini içeren geniş bir alan kapsamaktadır.

Geç Triyas'ta oluşmaya başlayan ve Türkiye'nin Neotektonik döneminde önemli etkisi olan Neotetis Okyanusu ilerleyen dönemlerde açılmaya devam ederek Zagros ve Himalayalara kadar genişlemiştir. Tartışmalı olmakla beraber Geç Kretase (Tüysüz, 1999; Kaymakçı vd., 2009) ile Erken Senozoyik (Şengör ve Yılmaz, 1981) arasında Neotetis Okyanusu'nun kuzey kolu İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Zonu (İAESZ), Orta Miyosen sonlarında ise Neotetis Okyanusu'nun güney kolu kapanarak Arap ve Avrasya Levhaları Bitlis-Zagros Sütur Zonu (BZSZ) boyunca kapanmıştır (Şengör vd., 1985).

Bu çarpışma ile beraber yoğun bir sıkışma rejimi altına giren inceleme alanı ve çevresinde bulunan Hazar Grubu (Alt Eosen), Kırkgeçit Formasyonu (Orta Eosen) ve Çaybağı Formasyonu (Erken Pliyosen) önemli oranda eğim kazanarak eksenleri yaklaşık doğu-batı doğrultulu uzanan kıvrımlar oluşturmuşlardır (Şekil 2). Ayrıca çalışma alanının kuzeybatı kenarında Orta Eosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu kendisinden daha genç olan Erken Pliyosen yaşlı Çaybağı Formasyonu'nun üzerine tektonik olarak yerleşmiştir. Bölgede etkin olan sıkışma tektoniğinin Geç Pliyosen dönemine kadar etkin olduğu bu verilerle desteklenmektedir. Geç Pliyosen döneminden itibaren bölgede doğrultu atım rejimi baskın duruma geçmiştir. Bu dönemde DAFS ve doğrultusuna yaklaşık paralel sol yanıl ve eşlenikleri olan sağ yanıl doğrultu atımlı faylar gelişmiştir. Çalışma alanının kuzeybatı kesiminde Orta Miyosen-Erken Pliyosen döneminde oluşan yaklaşık doğu-batı doğrultulu kıvrım eksenleri ve ters fayların, DAFS'ne yaklaşık paralel uzanımlı faylar tarafından kesilerek ötelendiği görülmektedir (Şekil 3). Bununla birlikte, Pliyo-Kuvaterner yaşlı yatay duruşlu Palu Formasyonu, Çaybağı Formasyonu üzerinde açılı uyumsuz olarak bulunmaktadır (Köküm, 2017). Tüm bu veriler Geç Pliyosen döneminin bölgedeki paleotektonik-neotektonik sınırını temsil ettiği konusunda önemli veri olarak karşımıza çıkmakta ve önceki çalışmaları desteklemektedir (örn. Çolak vd., 2012; Gedik, 2014).



Şekil 2. Çalışma alanının jeolojik haritası ve önemli tektonik yapıları (Akbaş vd., 2011'den değiştirilerek alınmıştır).



**Şekil 3.** Çalışma alanındaki tektonik yapıların birbirleriyle ilişkilerini gösteren Google Earth görüntüleri. (A) K65<sup>0</sup>D doğrultulu sol yanal Salkımlı Fayı'nın Çaybağı Antiklinal eksenini yaklaşık 500m ötelemesi (Gedik, 2014'den değiştirilerek alınmıştır). (B) K60<sup>0</sup>D doğrultulu sol yanal Çatakbaşı Fayı'nın Çaybağı Bindirme Fayı'nı yaklaşık 250m ötelemesi (Tk: Kırkgeçit Formasyonu, Tç: Çaybağı Formasyonu). Uydu görüntülerinin konumları Şekil 2'de verilmiştir.

### 3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, çalışma alanını kapsayan Landsat (4-5) Thematic Mapper (TM) uydu görüntülerinden yararlanılmıştır (Şekil 4). Landsat (4-5) TM uydu görüntüleri Band 1-5 ve 7 için 30 metre yersel çözünürlüğe sahip altı spektrum bandı ve bir adet termal band (6) içerirler. Her bir görüntüye ait yaklaşık boyut ölçüleri 170 km kuzey-güney ve 183 km doğu-batı'dır. Ayrıca çalışma alanına ait Landsat 6, 7 ve 8 bantlarına ait görüntüler bulutlu olmalarından dolayı tercih edilmemiştir. Çizgisellik analizi ile ilgili çalışmalarda bazı araştırmacılar 5 numaralı bandı tercih ederken (örn. Kavak ve Çetin, 2007), bazı araştırmacılar ise atmosferik etkinin en az olduğu 7 numaralı bandı tercih etmişlerdir (örn. Arslan ve Akyürek 2015). Bu çalışmada Landsat (4-5) TM uydu görüntülerinin literatürde daha önce kullanılan 5 ve 7 bantları uygulanmış ve benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Çizgisellik çıkarımı için kullanılan otomatik yöntemlerin manuel yöntemlere göre en önemli

avantajı çok daha kısa sürede işlem yapması ve bazen gözden kaçan çizgisel yapıları tanımlayabilmesidir. Bu çalışmada çizgiselliklerin çıkarımı LINE algoritma tabanlı Geomatica programı ile yapılmıştır. LINE algoritması üç aşamadan oluşmaktadır: Kenar belirleme, eşikleme ve eğri çıkarma. Buradaki ana yaklaşım uydu görüntüleri üzerindeki gri renk tonları farklılıklarından yararlanmaktır. Bu çalışmada LINE algoritması için en uygun parametre değerleri önceki çalışmalarda kullanılan değerler göz önünde bulundurularak ve deneme yoluyla belirlenerek kullanılmıştır.

Geomatica programı üzerinden otomatik çizgisellik çıkarımı yapılırken altı adet parametre değeri tanımlanır. Algoritmada kullanılan altı parametrenin açıklaması şöyledir (PCI Geomatica, 2016):

RADI (Filter radius), LINE algoritmasının ilk aşaması olan kenar belirleme işlemi için kullanılan parametredir. Görüntü üzerindeki en

küçük detay seviyesini belirler. Bu çalışma için RADI değeri 10 alınmıştır.

GTHR (Gradient threshold), LINE algoritmasının ikinci aşaması olan eşikleme işlemi için kullanılır. Minimum eşik değerini belirler. Bu çalışma için GTHR değeri 50 alınmıştır.

LTHR (Length threshold), bu parametre LINE algoritmasının üçüncü aşamasında kullanılır. Minimum eğri uzunluğunu (piksel cinsinden) tanımlar. Bu çalışma için LTHR değeri 30 alınmıştır.

FTHR (Line fitting error threshold), bu parametre LINE algoritmasının üçüncü aşamasının ikinci adımındır. Eğri uzunluğunun (piksel cinsinden) hata değerini tanımlar. Bu çalışma için FTHR değeri 3 alınmıştır.

ATHR (Angular difference threshold), bu parametre LINE algoritmasının üçüncü aşamasının son adımındır. Çoklu çizgilerin birbirleriyle açılma değeri farkını tanımlar. Bu çalışma için ATHR değeri 15 alınmıştır.

DTHR (Linking distance threshold), bu parametre LINE algoritmasının üçüncü aşamasının son adımındır. Çoklu çizgilerin birbirleriyle mesafe (piksel cinsinden) farkını tanımlar (PCI Geomatica Kullanıcı Yardımı). Bu çalışma için DTHR değeri 20 alınmıştır.

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Uydu görüntüleri üzerinden jeolojik çizgiselliklerin çıkarımı ile ilgili yapılan çalışmalarda manuel ve otomatik yöntemler kullanılmaktadır. Bazı araştırmacılar manuel yöntemlerin daha doğru sonuçlar verdiğini savunmakla beraber (Sarp 2005; Elmahdy, 2014), otomatik yöntemlerinde çalışmalara önemli katkılar sunduğu ve doğru sonuçlar verdiğini bilinmektedir (Arslan ve Akyürek, 2015). Bu çalışma kapsamında otomatik yöntem benimsenmiş ve elde edilen çizgiselliklerin hem arazi gözlemleri hem de uydu görüntüleri üzerinden görsel incelemeleri yapılmıştır (Şekil 4). Görsel incelemeyle jeolojik etkiler dışındaki çizgisellikler ile insan yapımı yapılar, tarla sınırları, yollar gibi doğal yollarla oluşmayan çizgisellikler ayıklanmıştır.

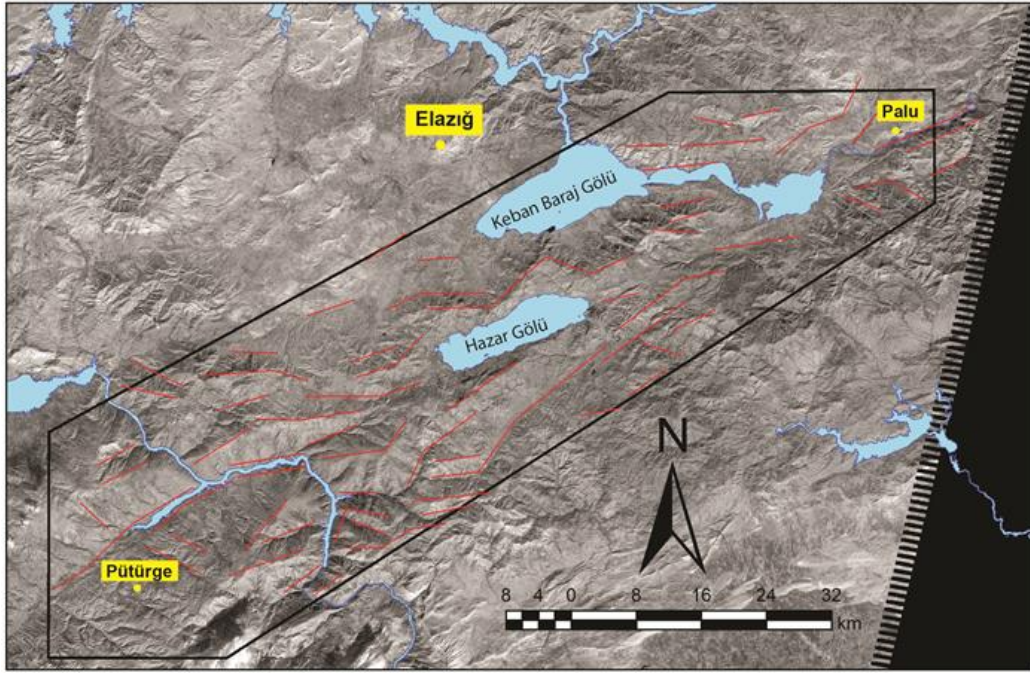
Topoğrafyada gözlenen tüm çizgisel yapıların tektonizma ile ilişkilendirilmesi yanlış olur. Araziye bulunan farklı litoloji ve dirençteki

kayalar aşınmaya karşı aynı dayanıklılıkta bulunamazlar. Böyle durumlarda kayaçların farklı direnç seviyeleri nedeniyle topoğrafyada çizgisel görünümlü yapılar oluşabilir (Jordan vd., 2005). Bu nedenle gerek manuel gerekse otomatik yöntemlerle elde edilen çizgisel yapıların tektonizma ile ilişkili olup olmadığını anlamak için arazide yerinde incelenmesi veya ek yardımcı verilere başvurmak gerekir (Sander, 2007).

Otomatik yöntemler sonucunda elde edilen çizgisellikler incelendiğinde bu çizgiselliklerin önemli bölümünü morfolojik çizgiselliklerin oluşturduğu görülmektedir (Şekil 4). Bu yapıların tektonik kökenli olarak değerlendirilebilmek için bunların devamlılıkları incelenmelidir (Arslan ve Akyürek, 2015). Çalışma alanında belirlenen çizgisellikler incelendiğinde morfolojik verilerin yaklaşık D-B ve KD-GB olarak iki ana doğrultuda yoğunlaştığını, dolayısıyla bu yapıların tektonik kökenli olduğu konusunda önemli bir veri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çalışma alanının içerisinde bulunduğu Doğu Anadolu Bölgesi Orta Miyosen'den itibaren iki deformasyon evresinin varlığı bölgede fay düzlemi verileri (düzlemin eğim ve doğrultusu, kayma çiziklerinin yönelimi vb.) üzerinde yapılan kinematik analiz çalışmalarıyla tanımlanmıştır (Kaymakçı vd., 2010; Köküm, 2017). Orta Miyosen-Erken Pliyosen aralığında yaklaşık kuzey-güney doğrultulu sıkışmalı tektonik rejim altında bulunan bölgede, doğu-batı uzanımlı kıvrım eksenleri ve ters faylar gelişmiştir. Geç Pliyosen döneminden itibaren doğrultu atım tektoniği baskın rejim olmuş ve gelişen kuzeydoğu ve kuzeybatı uzanımlı sol ve sağ yanal doğrultu atımlı faylar bir önceki evrede oluşan kıvrımları ve ters fayları keserek ötelemişlerdir.

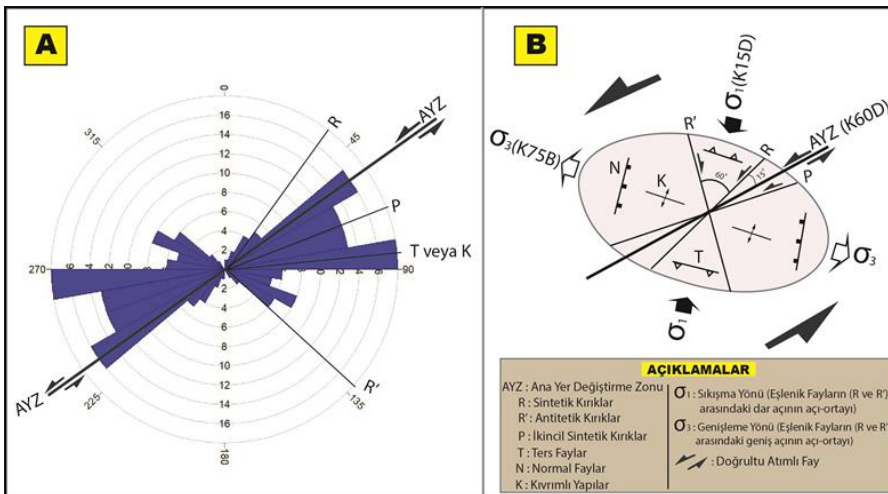
Çalışma kapsamında Landsat (4-5) TM üzerinden çalışma alanı içerisindeki otomatik yöntemle çizgiselliklerin çıkarımı yapılmıştır. Elde edilen haritadaki çizgiselliklerin doğrultuları belirlenmiş ve egemen çizgisellikleri gösteren doğrultu gül diyagramı hazırlanmıştır. Çalışma alanı içerisinde 101 adet jeolojik çizgisellik tanımlanmıştır (Şekil 5a). Belirlenen çizgiselliklerin toplam uzunlukları 1.287 km olarak hesaplanmıştır. Program çıktısına göre tüm çizgiselliklerin ortalama olarak  $75^{\circ}$  doğrultusunda olduğu hesaplanmıştır. Köküm (2017) tarafından DAFS'nin Palu-Uslu (Elazığ) arasında fay düzlemi verileri üzerinde yapılan kinematik analiz çalışmaları sonucunda en büyük sıkışma yönünün ( $\sigma_1$ )  $K15^{\circ}D$  olduğu belirtilmiştir.



**Şekil 4.** Landsat (4-5) TM (Band 7) görüntüsü üzerinden otomatik yöntemlerde elde edilen çizgisel yapılar.

Çalışma alanı içerisinde tanımlanan 101 adet jeolojik çizgisellik üzerinde yapılan Gül diyagramı sonuçları, sıkışma yönünün ( $\sigma_1$ )  $K15^0D$  olarak hazırlanan gerilme elipsoidi modeli yardımıyla yorumlanmıştır (Şekil 5b). Gül diyagramından elde edilen sonuçlara göre çalışma alanında  $K55^0D$  ve  $K85^0D$  yönlü iki ana çizgisellik doğrultusu belirlenmiştir (Şekil 5a,b). Bu yapılardan  $K55^0D$  yönlü olanlar gerilme elipsoidinde tanımlanan Ana Yer Değiştirme Zonu'na (AYZ) yani çalışma alanının en önemli tektonik yapısı olan DAFS' ne karşılık gelmektedir. Bu veri, DAFS'nin çalışma alanı

içerisindeki doğrultusunun yaklaşık  $K55^0-65^0D$  olmasıyla desteklenmektedir. Çalışma alanındaki  $K85^0D$  yönlü olanlar ise gerilme elipsoidine göre kıvrım eksenlerine (K) veya ters faylara (T) karşılık gelmektedir. Kırıkgeçit ve Çaybağı Formasyonları içerisinde gelişen kıvrımların eksenlerinin ve ters fayların yaklaşık doğu-batı uzanımlı olması,  $K85^0D$  yönlü yapıların kıvrım eksenlerine veya ters faylara karşılık geldiğini gösteren destekleyici verilerdir. Ayrıca gerilme elipsoidi yardımıyla, AYZ ile ilişkili olarak gelişen sentetik (R), antitetik (R') ve ikincil sentetik (P) kırıklar tanımlanmıştır (Şekil 5a,b).



**Şekil 5.** (A). Landsat (4-5) TM (Band 7) görüntüsü üzerinden otomatik analiz yöntemiyle elde edilen çizgisel yapılara ait gül diyagramı. (B) sıkışma yönünün ( $\sigma_1$ )  $K15^0D$  olarak hazırlanan gerilme elipsoidi modeli (Barlett vd., 1978' den değiştirilerek

Arazi verileri, bu yapılar içerisinde K55<sup>0</sup>D yönlü olanların DAFS içerisindeki sol yanal doğrultu atımlı fayları temsil ettiği ve Geç Pliyosen sonrasında etkili olan, en genç, doğrultu atım tektoniği ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Şekil 6). K85<sup>0</sup>D yönlü olanlar ise kıvrım eksenleri ve ters faylara karşılık gelmekle beraber (Şekil 3a), Orta Miyosen-Erken Pliyosen dönemindeki sıkışma ve kabuk kalınlaşması ile ilişkili olmalıdır.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında bölgede Orta Miyosen sonlarından itibaren etkin olan iki farklı deformasyon evresinin izleri morfolojinin

şekillenmesinde önemli oranda rol üstlenmiş ve bu izler uydu görüntüleri üzerindeki analizler yardımıyla analiz edilmiştir. Özellikle aktif tektonik kapsamında yürütülen çalışmalarda, uydu görüntüleri ve bu görüntüler üzerinden otomatik olarak elde edilen çizgisellikler üzerinde yapılan istatistiksel analizlerin ne derece önemli olduğu ve araştırmacıya zaman ve iş yükü açısından büyük kolaylıklar sağladığı görülmüştür. Ancak, uydu görüntüleri ve bu görüntüler üzerinde yapılan analizlere ait değerlendirmelerin mutlaka arazi verileri veya yardımcı verilerle desteklenmesi gerekmektedir.



**Şekil 6.** Çalışma alanındaki Orta Eosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları içerisinde gelişen doğrultu atımlı faylanma ile ilişkili arazi fotoğrafları. (A) Fay düzlemi üzerinde gözlenen kayma çizikleri (Bakış yönü KD'ya) (B) Fay aynası (Bakış yönü KD'ya). Fotoğrafların konumları Şekil 2' de verilmiştir.

### Kaynaklar

Abdullah, A., Nassr, S. ve Ghaleeb, 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, Geo-sciences, Environmental & Disaster Management, 13 (3), 35 – 38.

Al-Dossary, S., Marfurt K.J., 2007. Lineament-preserving filtering. Geophysics, 72(1): 1-8.

Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara Türkiye.

Arslan, O., Akyürek, Ö., 2017. LANDSAT 7 ETM+ Görüntüleri Üzerinden

- Çizgiselliklerin Otomatik Çıkarımı ve Analizi: Van Depremi Örneği, 5. Uluslararası Deprem Sempozyumu,
- Ayday, C. ve Gümüsoğlu, E., 2008. Detection and Interpretation of Geological Linear Features on the satellite Images by Using Gradient Filtering and Principal Component Analysis, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol XXXVII Part B8, 03 – 11 Temmuz, Beijing, Çin.
- Bartlett, W.L., Friedman, M., Logan, J.M., 1981. Experimental folding and faulting of rocks under confining pressure, Part IX: Wrench faults in limestone layers. *Tectonics* 79, 255-277.
- Çolak, S., Aksoy, E., Koçyiğit, A., ve İnceöz, M., 2012. The Palu-Uluova Strike-Slip Basin in the East Anatolian Fault System, Turkey: Its Transition from the Palaeotectonic to Neotectonic Stage. *Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.)*, Vol.21. pp1-24.
- Duman, T.Y., Emre, Ö., 2013. The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. Geological Society, London, Special Publications published online February 19, 2013 as doi: 10.1144/SP372.14.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F. 2013, 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-, Ankara, Türkiye.
- Gedik, H., 2014. Çaybağı (Elazığ) Çevresinin Tektonik Özellikleri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86 s (yayımlanmamış).
- Greenbaum, D., 1985. Review of remote sensing applications to groundwater exploration in basement and regolith. *Brit GeolSurv Rep OD 85/8*, pp: 36.
- Gürbüz, A., 2009. Orientations of palaeotectonic features as a key to understanding the neotectonic block rotation of the Kocaeli peninsula, NW Turkey. *International Geology Review* 51 (4): 329-344.
- Jordan, G. ve Schott, B. (2005), Application of wavelet analysis to the study of spatial pattern of morphotectonic lineaments in digital terrain models, A case study, *Remote Sensing Environment*, 94(1), 31 – 38.
- Kavak K.S. ve Cetin H., 2007. A detailed geologic Lineament analysis using Landsat TM Data of Golmermara/ Manisa Region, Turkey. *Medwell J. of Earth Sciences* vol. (3) pp 145-153.
- Kaymakci, N., Inceöz, M., Ertepinar, P., Koc, A., 2010. Late Cretaceous to recent kinematics of SE Anatolia (Turkey). In: Sosson, M., Kaymakci, N., Stephenson, R., Starostenko, V., Bergerat, F. (Eds.), *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. Geological Society London Special Issue No. 340, pp. 409–435.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri. *MTA Derg.*, 66, 20-34, Ankara.
- Ketin, İ., 1968. Relations between general tectonic features and the main earthquake regions of Turkey. *Bull. Min. Res. Expl. Inst. Turkey*, no. 71, pp. 63-67, Ankara.
- Koçbulut F., Kavak K. Ş., Tatar O., 2014. Analysis of Ezinepazarı–Sungurlu Fault Zone (Turkey) using Landsat TM data and its kinematic implications. *Arab J. Geosci* (2015) 8:6425–6439.
- Köküm, M., 2017. Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu-Uslu (Elazığ) Arasındaki Kesiminin Kinematik Analizi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 100 s (yayımlanmamış).
- M.T.A, 2011. 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara (in Turkish).
- Okay, A. I., Tüysüz O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, E & Seranne, M. (Eds) *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Special Publications, J560 475-515.
- PCI Geomatica, 2016. PCI Geomatica Kullanıcı Yardımı, Ontario, Kanada: Richmond Hill.



- Safaa M. H., Abdel A. A. M., El-Mahdy M., Yahia A. E., 2014. Automated and manual Lineaments extraction and geospatial analysis using remote sensing techniques and GIS. *Aust. J. Basic & Appl. Sci.*, 8(10): 110-120.
- Sander, P., 2007. Lineaments in groundwater exploration: a review of applications and limitations, *Hydrogeology Journal*, 15, 71 – 74.
- Sarp G., 2005. Lineament Analysis From Satellite Images, Northwest of Ankara. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 44 s (yayımlanmamış).
- Süzen, M. L. ve 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.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985. Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape; Turkey as a case study, in: Biddle K.T., Christie-Blick N. (Eds.), *Strike-slip Faulting and Basin Formation*, Soc.Econ.
- Tatar, Y., 1987. Elazığ bölgesinin tektonik yapıları ve Landsat fotoğrafları üzerinde yapılan bazı gözlemler: *H.Ü. Yerbilimleri Derg.*, 14, 295-308.