



**Determination of the Morpho-Tectonic Features and Stress-State of a Region Using Geographic Information Techniques: A Case Study from the İsmetpaşa-Gerede Segment of the North Anatolian Fault Zone**

*Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Bir Bölgenin Morfo-Tektonik Karakteristiklerinin ve Gerilme Durumunun Belirlenmesi: Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun İsmetpaşa-Gerede Kesiminden Örnek Bir Çalışma*

N. Kerem KUTERDEM General Directorate of Disaster Affairs, Earthquake Research Department,  
Eskisehir Yolu, Lodumlu, 06530, Ankara, TURKEY  
kuterdem@depem.gov.tr

Kadir DIRİK Hacettepe University, Geological Engineering Department, Tectonic Research  
Lab., Beytepe, 06810, Ankara, TURKEY

**ABSTRACT**

Recent developments in computer programs and information technology have resulted in an increasing interest in the use of DEMs in tectonic studies. Geographic Information Systems (GIS) and Digital Elevation Models (DEM) have been extensively used in morphological and tectonic studies and give good results, especially in revealing the morpho-tectonic features of a geologically unknown region. The study reported here comprises the extraction and analysis of landforms using the geographic information system analysis of a region where strike slip faulting has a dominant role in the formation of landforms. The morpho-tectonic characteristics of the area, which stretches from a point East of Gerede to İsmetpaşa on the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), were studied using GIS and digital mapping techniques. Landsat ETM+ and shaded relief images were also used in order to perform lineament analysis. Typical landforms associated with a strike slip faulting regime, like offset streams, sag ponds etc. were recognized by DEM and the results were supported with field observations. The advantages and drawbacks of the use of GIS in tectonomorphologic studies are discussed as the result of this work.

**Keywords:** GIS, lineament, North Anatolian Fault Zone (NAFZ), tectono-morphology.

**ÖZ**

*Bilgisayar sistemleri ve bilgi teknolojilerindeki son gelişmeler ve sayısal yükseklik modellerinin popüler bir şekilde kullanımları tektonik ve morfolojik çalışmalarda sayısal arazi modellerinin kullanımına olan ilgiyi arttırmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Sayısal Yükseklik modelleri (SYM) tektonik ve morfolojik çalışmalarda, özellikle çok fazla bilgi sahibi olunamayan bölgelerin tektono-morfolojik özelliklerinin ortaya konulmasında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışma yeryüzü şekillerinin oluşumunda doğrultu atımlı faylanmanın etkin bir rol oynamakta olduğu ortamda meydana gelen yeryüzü şekillerinin CBS yardımıyla belirlenmesini ve analizini kapsamaktadır. Bu çalışma ile Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Gerede doğusu ile İsmetpaşa arasında kalan kesiminin tektono-morfolojik özellikleri CBS ve sayısal haritalama teknikleri kullanarak çalışılmıştır. Ayrıca Landsat ETM+ uydü görüntüleri ve kabartı haritaları kullanarak çizgisellik analizleri yapılmıştır. SYM kullanarak bölgede doğrultu atımlı fay sistemlerinde meydana gelişecek nehir*

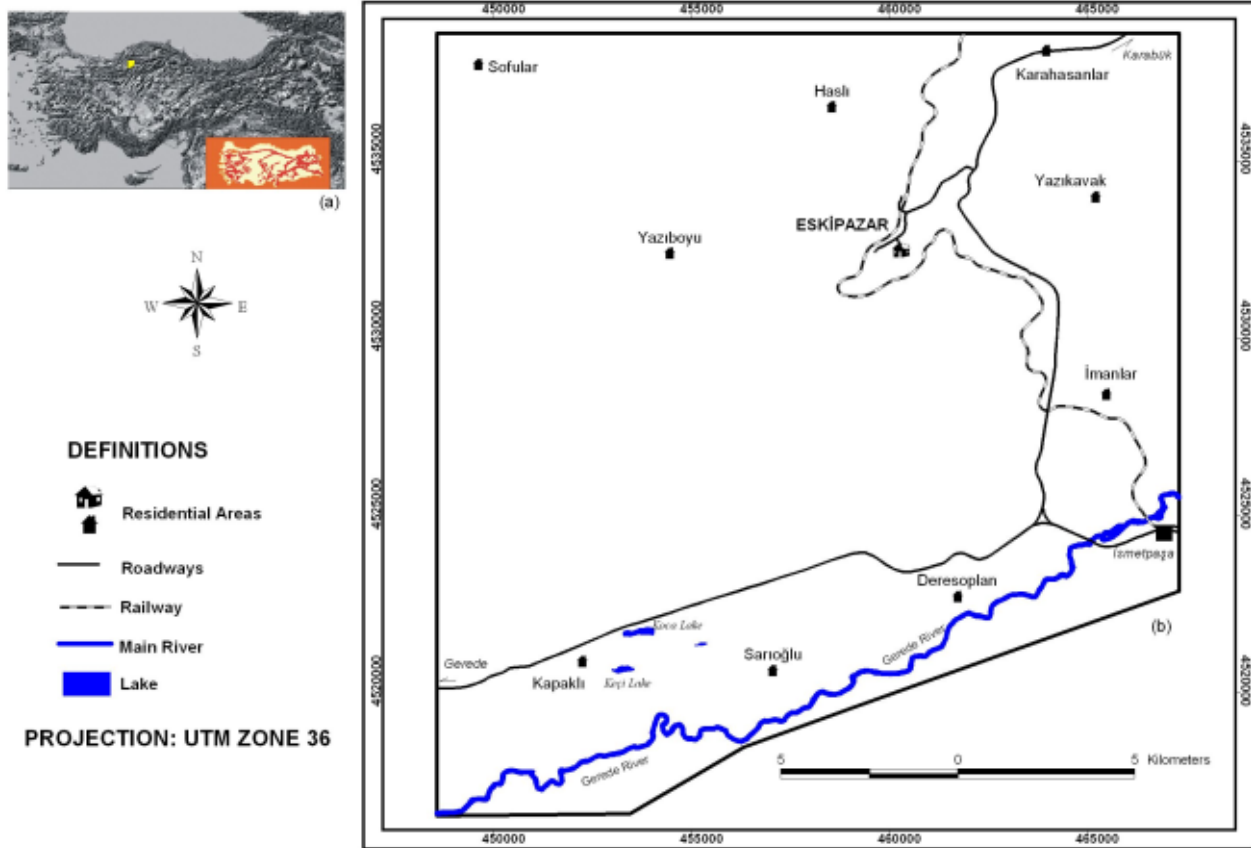
ötelemeleri, fay gölleri gibi oluşumlar tanımlanmış, aynı zamanda arazi gözlemleri ile elde edilen sonuçlar desteklenmiştir. Çalışmanın sonucunda CBS'nin tektono-morfoloji çalışmalarında sağladığı avantajlar ve kısıtlamalar tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çizgisellik, Coğrafi Bilgi Sistemi, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), tektono-morfoloji

## INTRODUCTION

Surface methods like remote sensing and morphological analysis using GIS provide fast and relatively cheap information in surface and sub-surface geological studies (Jordan, 2004). However these analyses are not reliable unless they are checked with field observations. Digital Tectonic Geomorphology can be described as the integration of three components which are structural geology, geomorphology and digital terrain analysis (Jordan, 2004).

The study area discussed in this paper is in the western part of the 1200 km. long North Anatolian Fault Zone (NAFZ), lying between Gerede in the west and İsmetpaşa village, the very famous creeping section of the NAFZ (Çakır et al., 2005), in the east (Figure 1). The area has been studied in terms of geological mapping and structural geology by Tokay, (1973) and Şaroğlu et al., (1995). As one of the most active fault zone of Turkey, the area has a high seismic risk and was struck by the 1944 Gerede Earthquake (Barka and Kadinsky-Cade, 1988; Barka, 1992; Eyidoğan et al., 1991; Özaksoy, 2000).



**Figure 1.** Location map of the study area. a) GTOPO 30 derived shaded relief image of Turkey and the active faults of Turkey, prepared by the General Directorate of Mineral Research and Exploration (Small image).

**Şekil 1.** Çalışma alanının yer bulduru haritası. a) Tüm Türkiye'nin GTOPO 30 verisinden oluşturulmuş kabartı haritası ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğüne hazırlanmış aktif fayları (Küçük şekil).

The tectonic and morpho-tectonic features of the area have been thoroughly researched by some above mentioned researchers. The analysis reported in the present study mainly aims to test the reliability of information technologies in determining the morphological characteristics of strike slip faulting environments. The methodology mainly used in this study is a remote sensing analysis of the region using digital elevation models and satellite imagery in the context of geographic information systems and the known geological and structural data of the region. One Landsat ETM+ image and a 1/25.000 scaled DEM were available for digital analysis. A 1/25.000 scaled topographic map of the study area was manually digitized and a DEM was produced with this digital data. ERDAS Imagine 8.0 and Arcview 3.2b softwares were used for the analysis of satellite images and also the DEM.

Topographic features of the study area such as offset streams, pressure ridges, shutter ridges, sag ponds, offset valleys, beheaded streams and landslides were extracted from the DEMs and interpreted in terms of tectonomorphology. Figure 2 gives the domains of the data files used in this study.

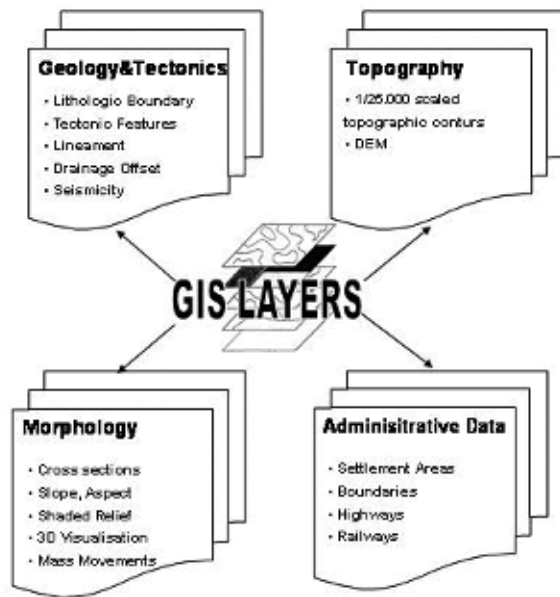


Figure 2. Data layers used in GIS analysis.

Şekil2. CBS analizlerinde kullanılan veri katmanları.

## GEOLOGICAL AND TECTONIC SETTING

### General Geology

There exist several studies aiming to reveal the geological and structural characteristics of the region (Tokay, 1973; Şaroğlu et al., 1995; Şengör and Yılmaz, 1981 and Yiğitbaş and Yılmaz 1999). The area was termed as the Intra-Pontid suture by Şengör and Yılmaz (1981); Yiğitbaş and Yılmaz (1999) named the area the Armutlu-Eskipazar Zone.

A brief description of the geology and the tectonics of the area was obtained from the literature and revised with field investigations. The geological map was compiled from the above mentioned references, and boundaries of new lithologies were added after field observations. Analysis of geological maps and field observations revealed 11 different lithological units in the area, ranging from Devonian to Quaternary (Figure 3).

In the area under study, the Paleozoic era is represented by Devonian sedimentary units consisting of sandstones, mudstones and limestones; the Mesozoic is represented by a Cretaceous melange and flysch in the north and Jurassic limestones in the South.

The Cenozoic in the study area is represented by Eocene and Pliocene units. Eocene consists of limestones, volcanic and flysch deposits exposing mainly in the central parts of the study area. However the North Anatolian Fault Zone mainly cuts across the Eocene units, and occasionally the alluvial deposits, the Eocene units and the Jurassic limestones are juxtaposed along the fault zone in the study area.

Pliocene sedimentary units consist of claystone-mudstone-siltstone and cover unconformably the former series. The Eskipazar Travertine is Pliocene in age, too, and located to the west of the Eskipazar settlement.

The quaternary era is represented by alluvium and travertine. Alluvial deposits are exposed in the central and southern parts of the study area and are closely related to the recent sedimentation of main rivers like the Gerede River. Another quaternary unit is an active travertine occurrence, namely the İmanlar Travertine (Figure 4). This is located in the South-

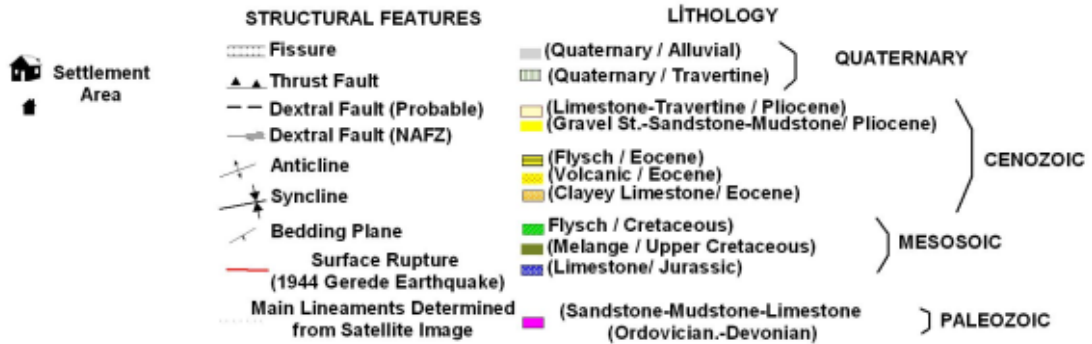
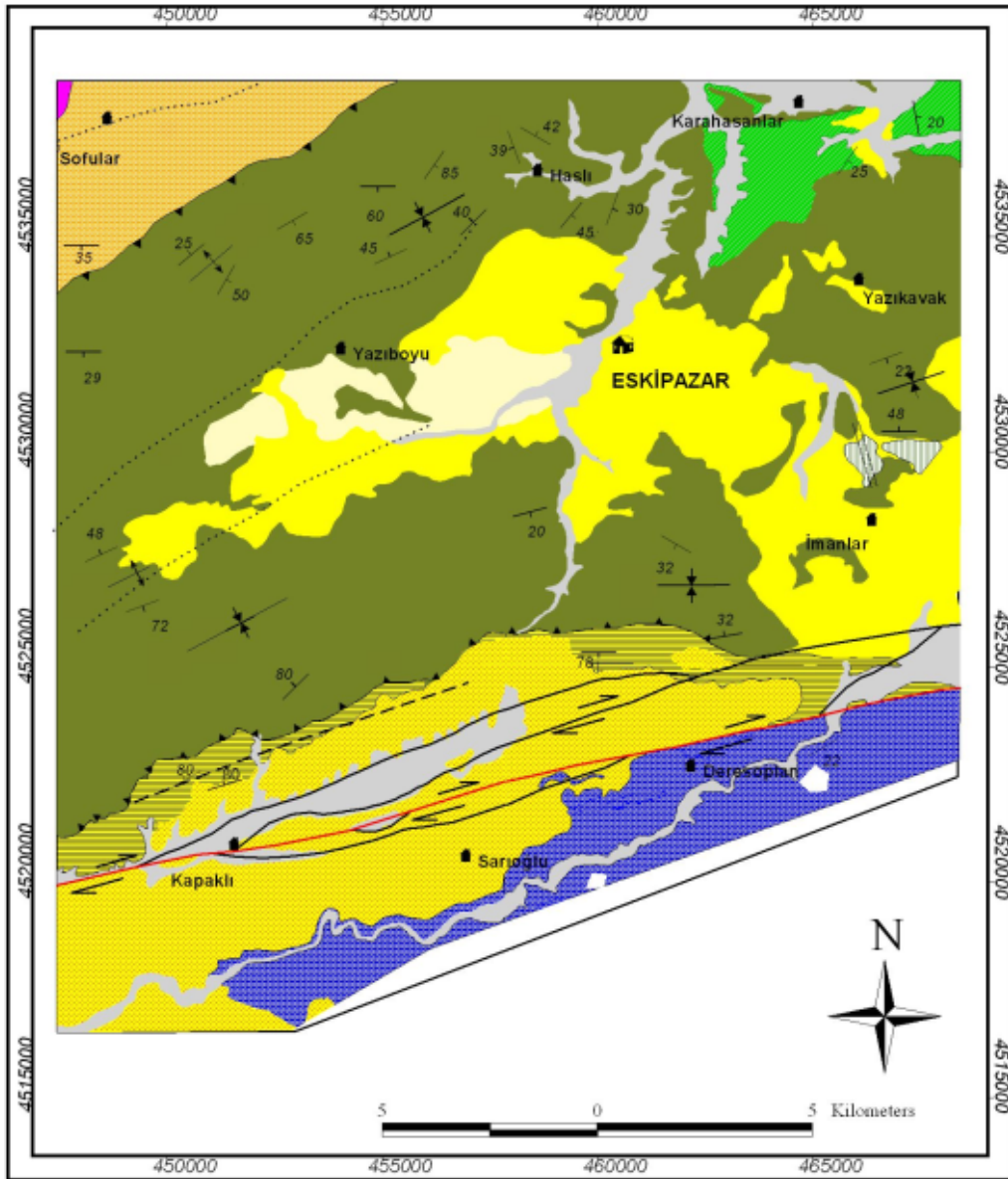
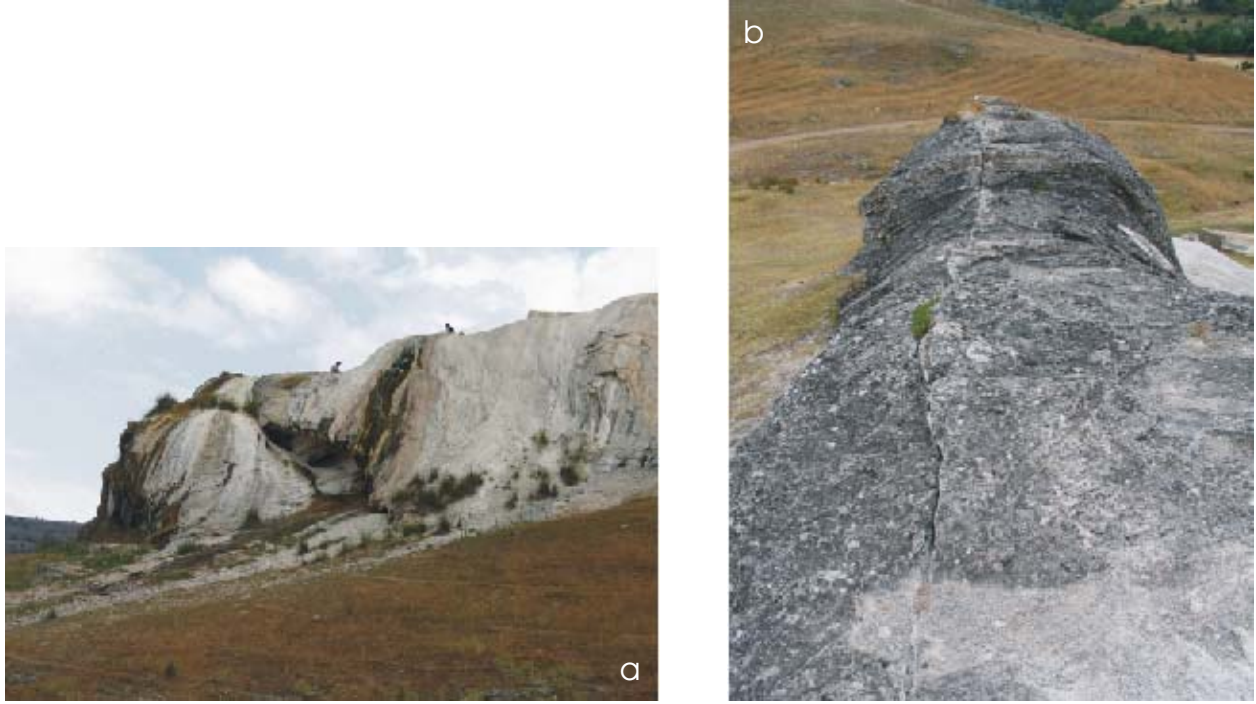


Figure 3. Geological map of the study area (Prepared from Şaroğlu et al., 1995, Tokay, 1973) and field observations.

Şekil 3. Çalışma alanının jeoloji haritası (Şaroğlu vd., 1995, Tokay, 1973 ve arazi gözlemlerinden faydalanılarak hazırlanmıştır).





**Figure 4.** Views from the İmanlar Travertine, (a) General view looking to the east, (b) fissure of the travertine looking to the north-northwest.

**Şekil 4.** İmanlar Traverteninden görünümler; a) Genel görünüş, Güneydoğuya bakış, b) Travertenin açılma çatlığı Kuzey-Kuzeybatıya bakış.

eastern part of the study area. There have been recent outflows of gas and temperature, and leakage of the water from an opening crack point to the recent travertine formation (Kuterdem, 2005).

### Structural Geology

Both paleotectonic and neotectonic structures are well observed in the study area. Thrust faults, anticlines and synclines constitute the paleotectonic structures (Figure 3).

The main neotectonic unit of the study area is the Gerede Segment of the NAFZ. A fissure of the İmanlar Travertine with a general trend of N15°W is another important neotectonic structure in the study area. The present day activity and formation of this fissure is closely related to the activity of the NAFZ. The NAFZ has an anastomosing pattern (Figure 3) in the study area, with landforms like linear valleys, pressure ridges, and a sag pond. The average trend of the fault zone is N70°E, which is also the general strike of the Gerede Segment.

### LINEAMENT ANALYSIS

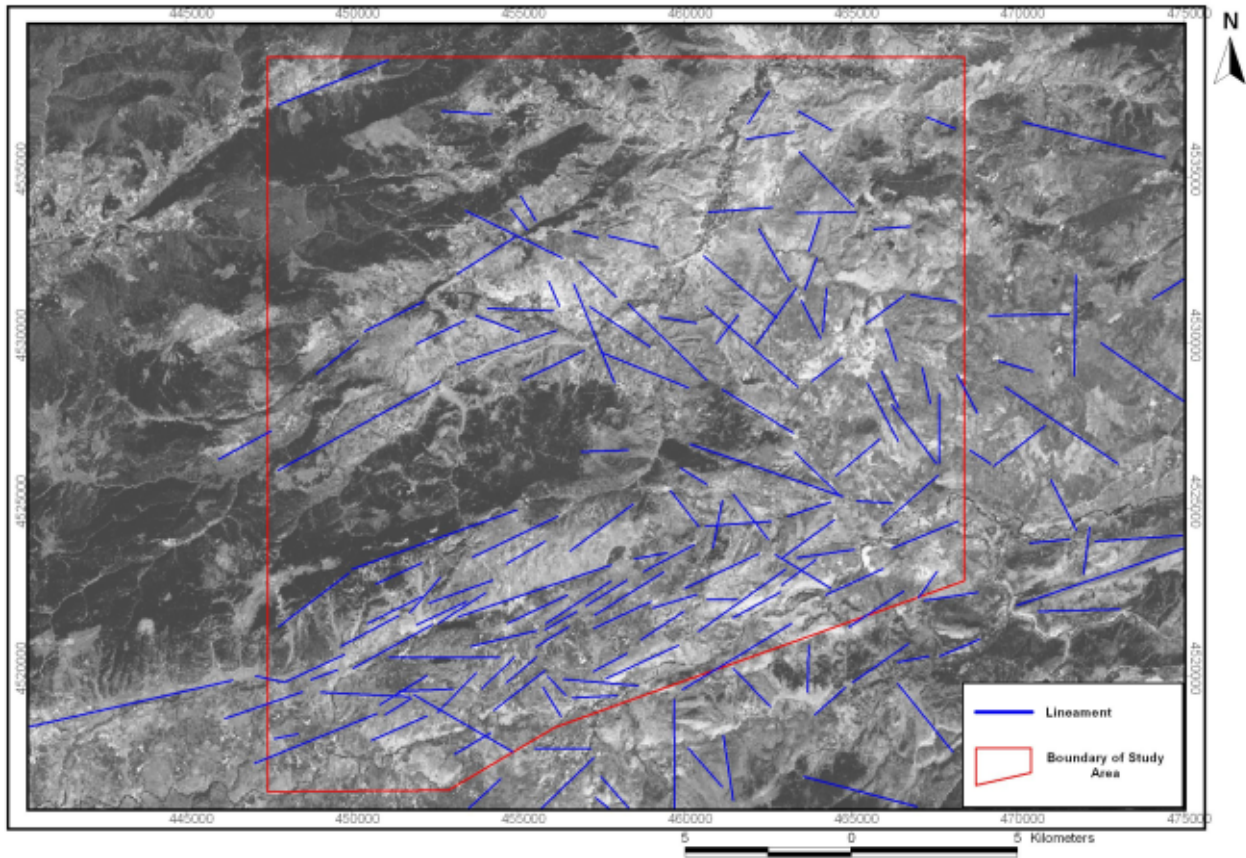
Lineament analysis is a useful tool in tectonic geomorphology and tectonic studies. There are various definitions of lineament and lineament analysis (Clark and Wilson, 1994; Süzen and Toprak, 1998; Novak and Soulakellis, 2000; Kaymakçı, 2000; Dehandschutter, 2001; Hung et al., 2002; Jordan et al., 2005; Rosenau, 2004). According to Clark and Wilson (1994), lineaments are straight linear elements, visible at the earth's surfaces, which are the representations of geological and/or geomorphological phenomena. Most of the lineament studies aiming at tectonic and/or tectono-morphology use shaded relief models with different illumination angles, either alone or in combination with remotely sensed images (Jordan, et al., 2005). Lineaments are also extracted from slope, curvature and aspect maps and drainage (Jordan et al., 2005; Meijniger, 2001; Rosenaeu, 2004).

In this study a Landsat ETM+ Image (P178, r32) and a shaded relief map with different illumination angles were used. The 7th band of the

Landsat ETM+ image was used in order to extract the lineaments. The 7th band of Landsat ETM+ is the band least affected by atmospheric conditions. The image was processed and corrected using several techniques like Histogram Equalization and High Pass Filtering. The sums of 162 lineaments were delineated from the Landsat image and manually digitized (Figure 5).

Lineament analysis was also performed, using a shaded relief image of the study area produced from the DEM. A shaded relief model can be defined as the visualization of the terrain under an artificial illumination with bright sides and shadows (Meijninger, 2001). Shaded relief maps are raster maps based on grid files (xyz coordinates). Portions of the surface that face away from the light source reflect less light toward the viewer, and thus appear darker (Meijninger, 2001).

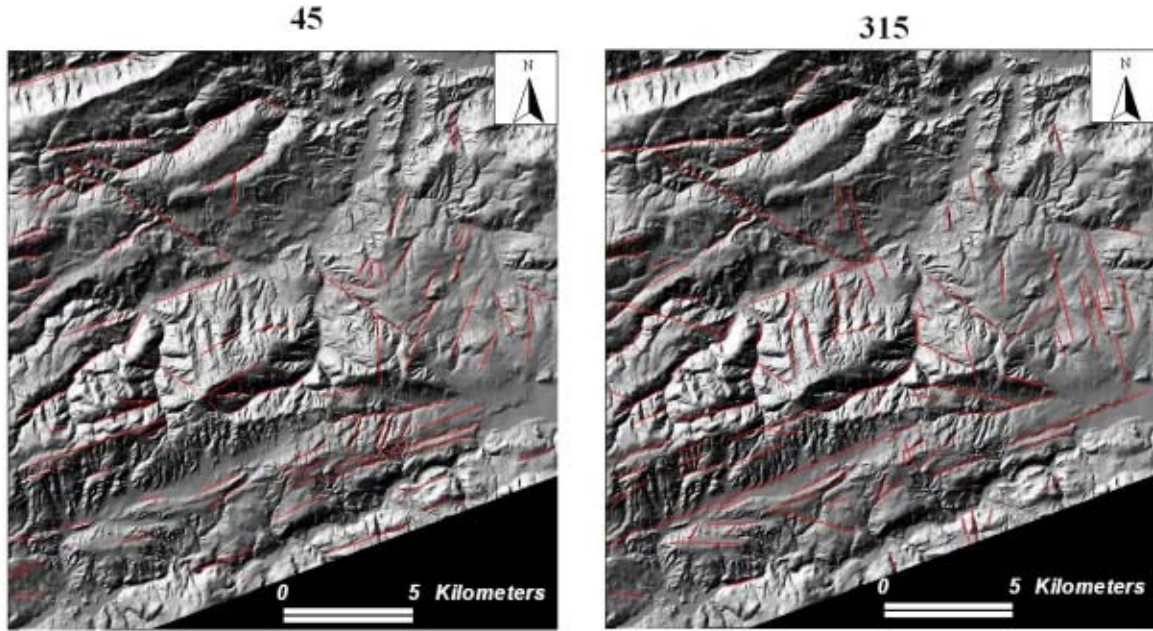
Shaded relief images are produced by applying 4 sun azimuths; 45°, 225°, 270° and 315° (Figure 6). Major heights and relief features are considered during the selection of sun azimuth angles. Since topographic reversal is observed when a 225° sun angle was applied to the DEM, this image was put out of lineament analysis. Manually digitised lineaments have been analysed with rose diagrams. In order to achieve this automatically, an Arcview script called Geotools 1.0 (DTM Consulting, 1999) was used. This script calculates the azimuth of each lineament extracted manually by GIS environment and then draws the rose diagram by using the azimuths. Using this methodology, the time consumption of the calculation of the azimuth of each linear feature can be eliminated.



**Figure 5.** Lineament map extracted from the 7th band of Landsat ETM+ image.

**Şekil 5.** Landsat ETM+ 7nci band görüntüsünden elde edilen çizgisellik haritası.



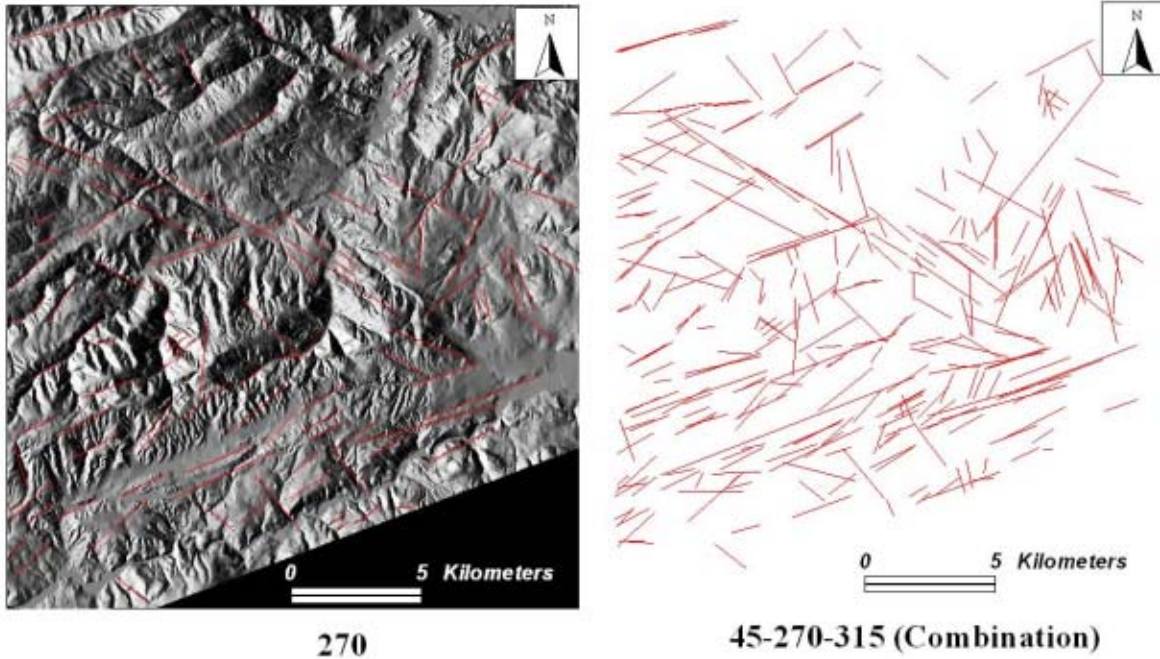


**SHADED RELIEF IMAGE PARAMETERS**

**Sun Azimuth (0-360): 45-270-315-Combination**

**Sun Altitude (0-90): 45**

**Z-Factor (0-20): 1**



**Figure 6.** Shaded relief images produced by applying different azimuth angles and extracted lineaments.

**Şekil 6.** Farklı ışıklandırma açıları kullanılarak türetilen kabartı görüntüleri ve bunlardan elde edilen çizgisellikler.

Both shaded relief analysis and satellite image analysis revealed a distinct NE-SW primary lineament trend in the study area, which is also consistent with the general strike of the Gerede Segment of the NAFZ. The lineaments derived from both shaded relief images and satellite imagery were displayed and analyzed by means of rose diagrams. According to the Riedel mechanisms expected, shear azimuths and structures are shown in Figure 7. The analyses of both the Landsat ETM+ image and the shaded relief image show very close  $\phi_1$  and  $\phi_3$  values which are nearly consistent with the P and T axes of two destructive earthquakes, being the 1943 Çankırı Earthquake: Ms: 6.4 (Gençoğlu, et al., 1990) and the 1944 Gerede Earthquake: Ms: 7.4 (Ergin et. al., 1967 and Gençoğlu, et. al., 1990).

The Azimuth of  $\phi_1$  determined from both Landsat ETM+ and shaded relief image analysis was calculated approximately as N75°W whereas the

azimuth of the main extensional feature was measured as N15°W during field analysis. Considering that the azimuths of  $\phi_1$  and tensional cracks must be close, the difference calculated here may be due to erroneous analysis of lineaments or clockwise rotation of the lithosphere in the region, which should be supported with Global Positioning System (GPS) measurements and detailed field measurements.

### MORPHO-TECTONIC FEATURES

Active faulting causes the formation of a variety of landforms like fault scarps, warped and tilted ground, subsidence features such as sag ponds, and offset features such as stream channels (Keller and Pinter, 1996). Landforms associated with strike slip faulting are linear valleys, deflected streams, offset streams, shutter ridges, scarps, sag ponds, springs, benches and pressure ridges (Keller and Pinter, 1996). Some of these features can be clearly observed on

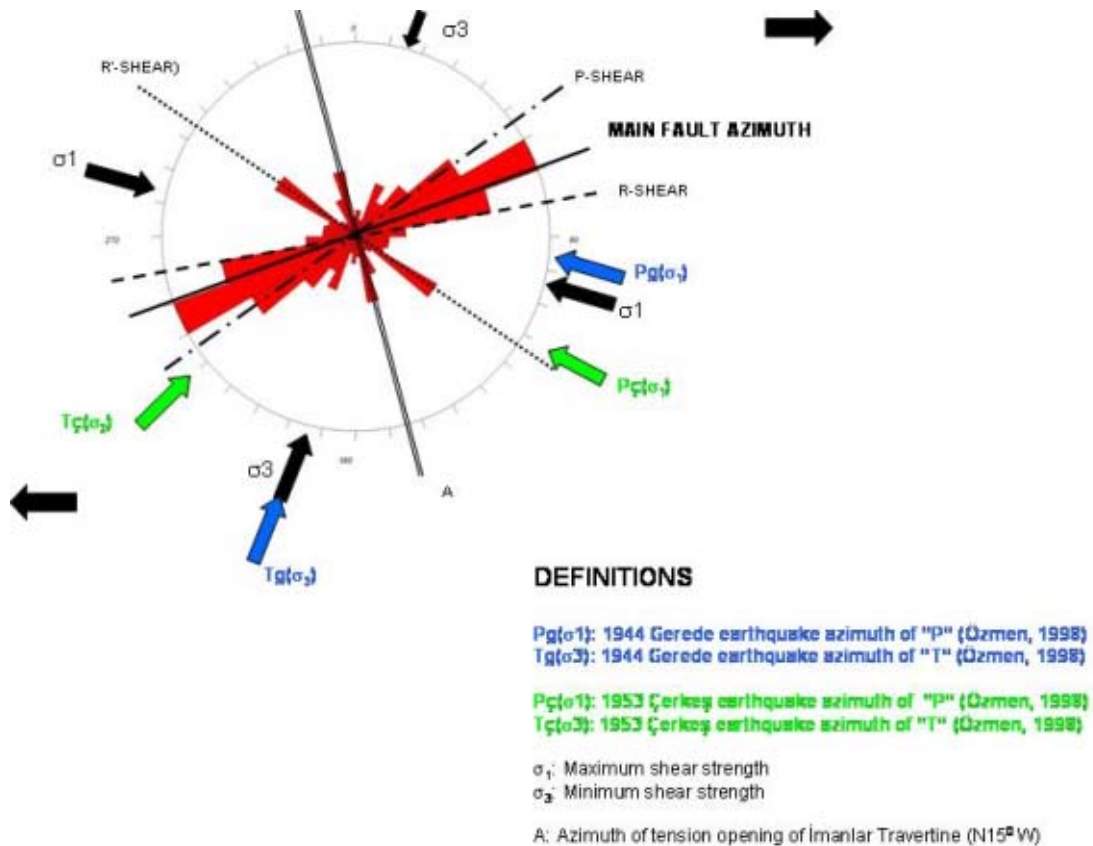


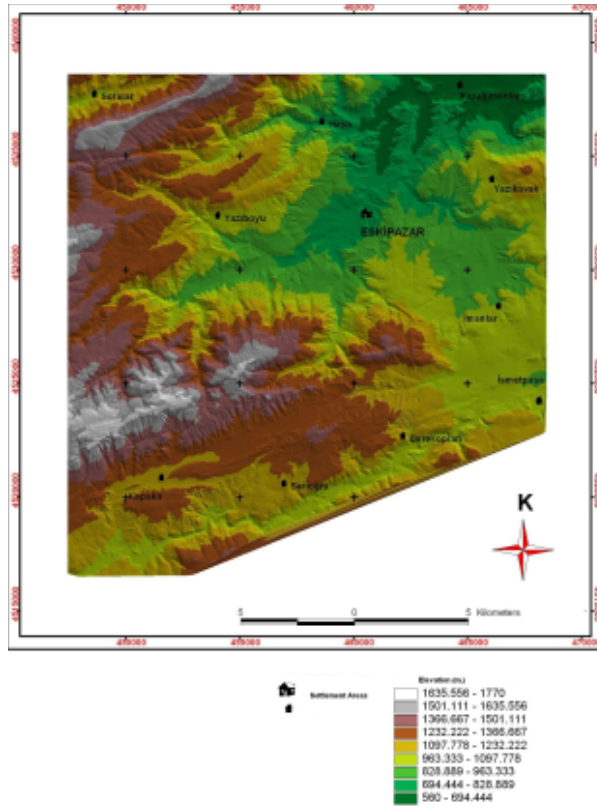
Figure 7. Rose diagrams and Riedel shear mechanism produced from shaded relief image analysis.

Şekil 7. Kabartı haritalarının analizinden üretilen gül diyagramı ve Riedel kırık mekanizması.



strike slip fault zones, whereas it is not always possible to observe those landforms in the field due to weathering and erosional processes.

According to the Evans (1980), five basic parameters calculated in digital geomorphometric analysis are elevation, slope, aspect, profile and tangential curvatures. In addition to these, shaded relief images, 3D images, digital cross-sections are useful products of digital topography in morphotectonic studies. The main input needed to extract these data is the presence of digital contours. For this purpose, in this study we used 1/25.000 scaled topography the contours of which were manually digitized. The digital contours were then converted to DEM by applying a 12.5 meter grid cell and the Triangular Irregular Network (TIN) interpolation technique (Figure 8). Amongst the interpolation methods, Triangular Irregular Network (TIN) interpolation can represent sudden changes in



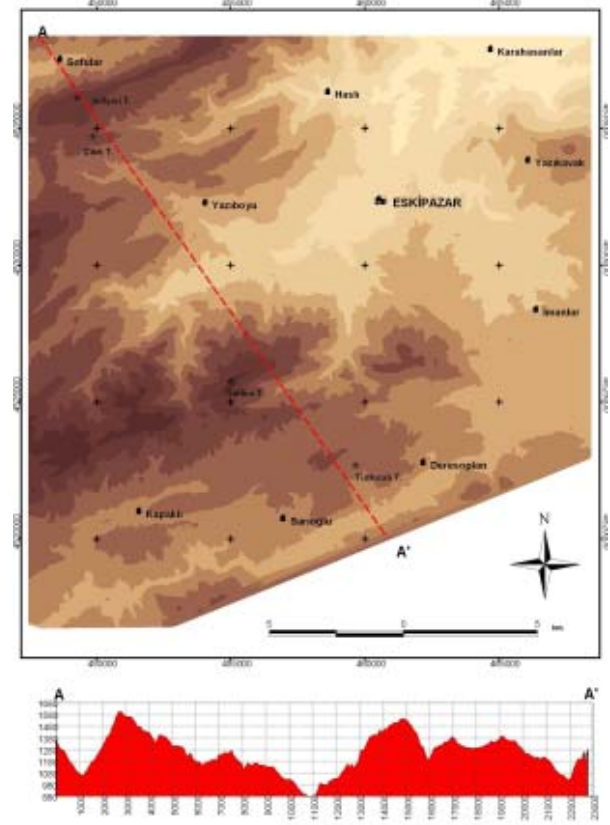
**Figure 8.** DEM of the study area produced from 1/25.000 scaled digital contours with a 12.5 m. grid interval.

*Şekil 8.* 12.5 metre grid aralığı kullanarak 1/25.000 ölçekli kontur haritasından üretilmiş çalışma alanının sayısal yükseklik modeli (SYM)

topography, which is particularly useful in tectonic geomorphology.

When analyzing DEM and its products several Arc Scripts like GeoTools 1.0. (DTM Consulting, 1999), HydroTools 1.0. (Schauble, 1999) and Themes Intersections to Points 1.0. (Saraf, 2002) were used. Those tools contributed to the stream offsets analysis, drainage density analysis and automated azimuth calculation.

Since the main aim of this study is to reveal the morpho tectonic features created by strike-slip faulting and to determine the main morphological characteristic of the region, at first digital cross sections were produced using Profile Extractor 5.5 script in the GIS environment. Among various directions, the NW-SE oriented cross section yielded most of the morphological expressions of the area (Figure 9). Fault scarps are the most common primary

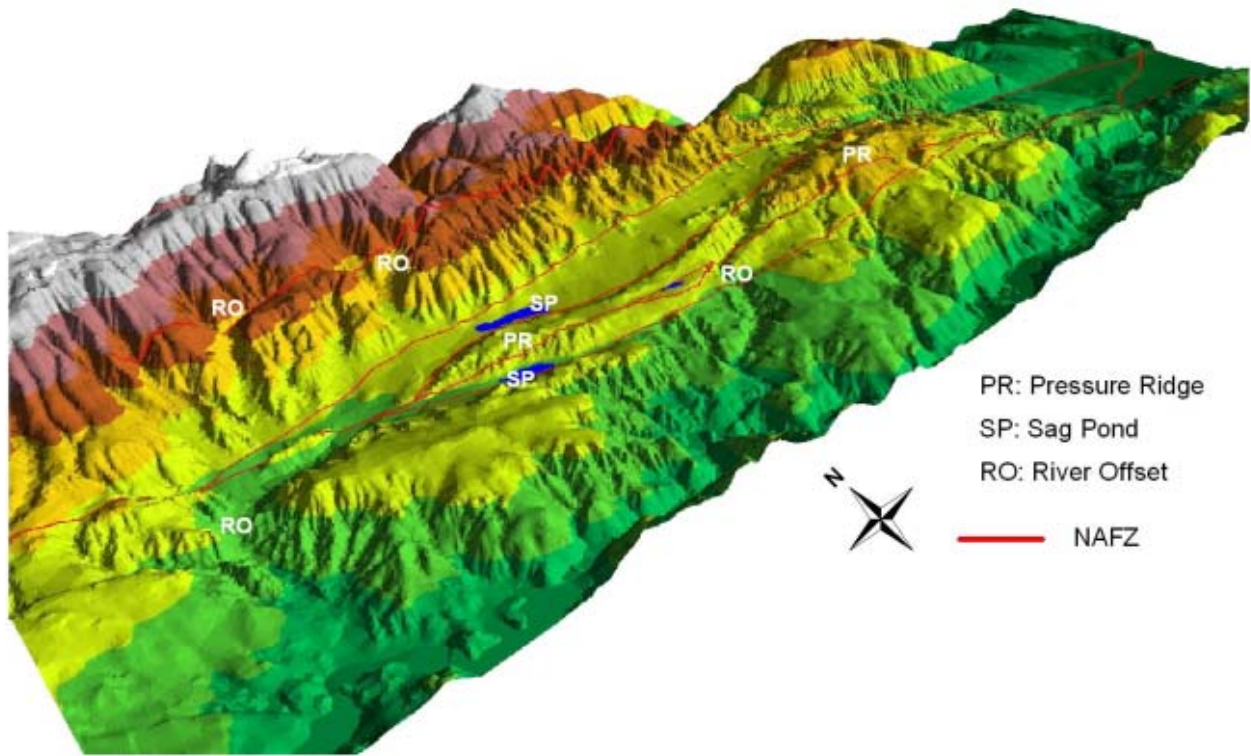


**Figure 9.** DEM and digital cross section from the study area (the cross section direction is indicated by red dots).

*Şekil 9.* Çalışma alanından SYM üzerinde sayısal kesit (Kesit yönü kırmızı noktalarla belirtilmiştir).

morphological expressions of faulting and can easily be distinguished from morphological cross sections. Sudden slope breaks and changes in slope angles delineate the linear structures and may refer to structural control on the study area. The sudden breaks in the western and northwestern part of the study area correspond to thrust faults. In Figure 9, two distinctive slope breaks refer to the main thrust faults of the study area which have been mapped by various researchers.

Another product is the 3D image of the NAFZ in the study area, used to delineate characteristic landforms associated with strike slip faulting. In the study area, the 3D generated DEM clearly delineates some NAFZ related landforms like pressure ridges, sag ponds and river offsets. The 3D image also shows that the area of the NAFZ is characterized by flat surfaces interrupted by pressure ridges. These morphologic expressions with depressions also support the anastomosing pattern of the NAFZ in the area (Figure 10). The two distinctive sag ponds in the area are the Koca Lake and the Keçi Lake.

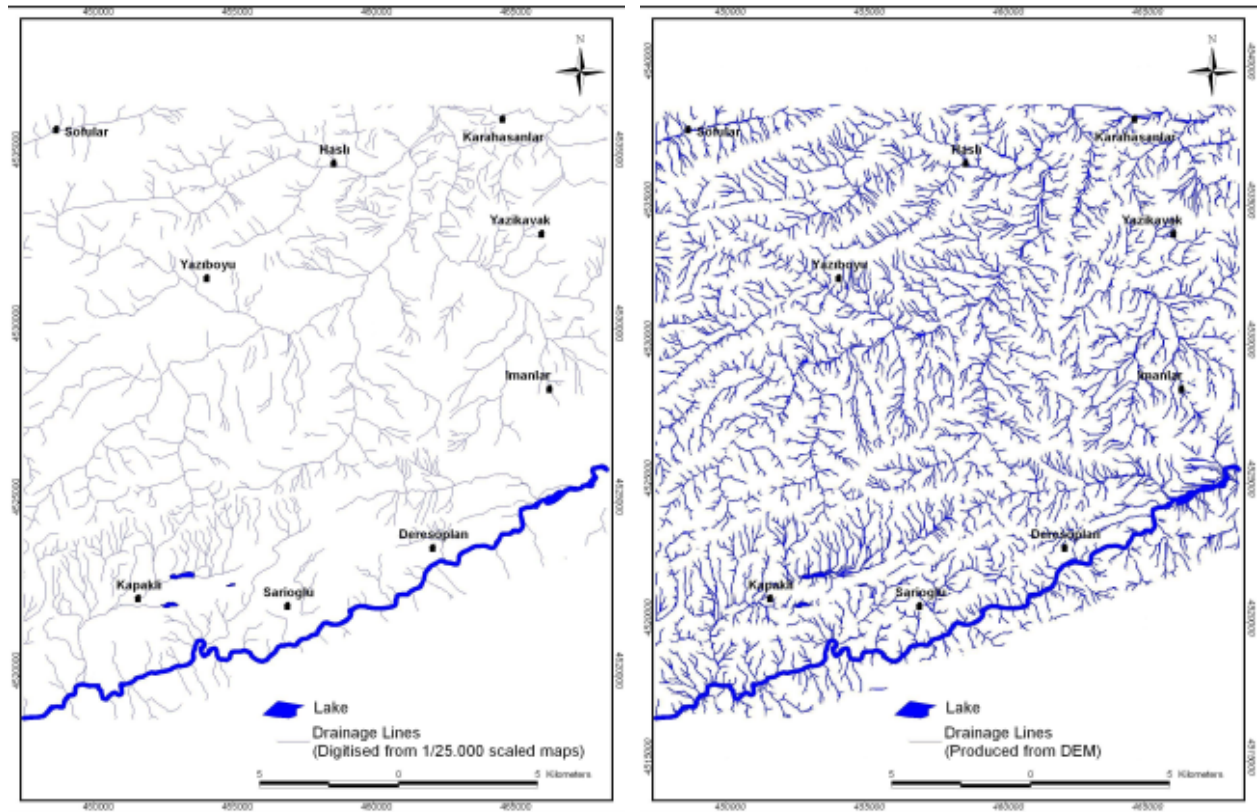


**Figure 10.** 3D view of the south part of the study area showing major landforms associated with the NAFZ.

**Şekil 10.** KAFZ ile ilişkili ana yeryüzü şekillerini gösteren çalışma alanının güneyinin 3 boyutlu görüntüsü.

Another analysis used in morpho tectonic study is the drainage density and drainage offsets. For these purposes, in this study two different methodologies were used. The first one is the automated drainage extraction performed on the GIS environment y using the Hydro Tools 1.0 script for Arcview 3.2b, and the other is the manual digitizing of drainage lines from maps (Figure 11). As seen from Figures 10 and 11, automatic drainage extraction gives detailed drainage density which is useful at drainage analysis for both lithological and structural purposes.

An active fault map of Turkey (Şaroğlu et al., 1995) fitted on the manually digitized drainage map in order to determine the localities of right lateral river offsets was used to calculate the maximum offset in the study area (Figure 12). From the analysis of drainage, a maximum 1700 m offset was determined in the west of Kapaklı Village, and 1050 m and 900 m drainage offsets were measured on two other locations along the fault.



**Figure 11.** Drainage maps of the study area, (a) Digitised from 1/25.000 scaled maps, (b) Produced from DEM.

*Şekil 11.* Çalışma alanına ait drenaj haritaları. (a) 1/25.000 ölçekli haritadan sayısallaştırılmış, (b) Sayısal yükseklik modelinden üretilmiş.



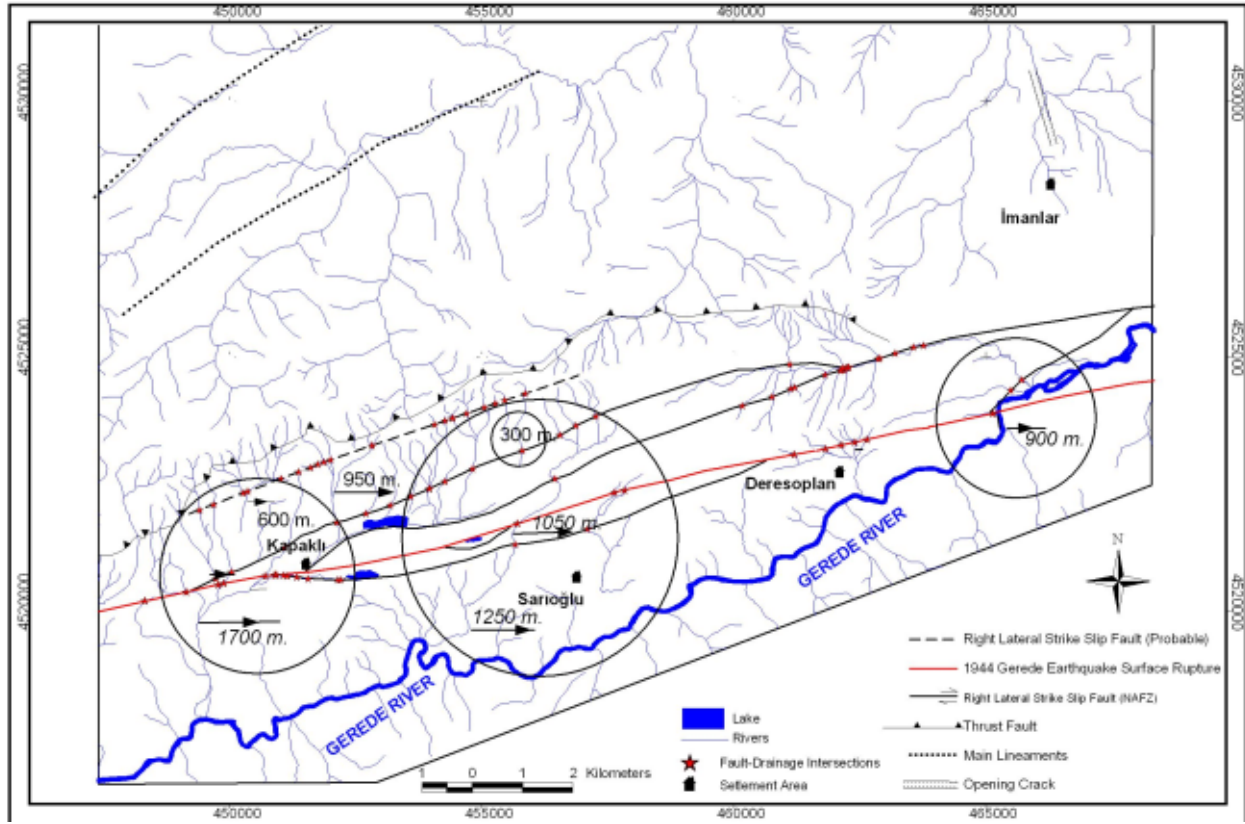


Figure 12. River offsets obtained from intersection of drainage lines and active faults.

Şekil 12. Aktif faylar ve drenaj çizgilerinin kesişiminden elde edilen akarsu ötelenmeleri.

## RESULTS

In this study the main morphotectonic features related with the right lateral strike slip of the NAFZ between Gereede and İsmetpaşa were evaluated from digital topographic products of GIS analysis. Strike slip fault associated landforms like sag ponds, pressure ridges, river offsets and mass movements (landslides) were easily distinguished from digital topographic products and verified with field observations. Quaternary İmanlar Travertine is an important active tectonic structure and its formation is related to the NAFZ. The main shear forces obtained from lineament analysis of satellite imagery and DEM fits well with the P and T axis of 1944 Gereede Earthquake. From lineament analysis, the strike of extensional structures and the opening crack of the İmanlar Travertine are different which may be due to clockwise rotation in the study area. Continuous GPS

network measurements in the area may provide a tool to explicate this difference. A maximum 1700 m. river offset was calculated from drainage-active fault analysis in the study area.

This study has displayed the advantages of Geographic Information Systems in the evaluation of the tectonic and morphological characteristics of a region. However these analyses must always be supported with field observations. They can then give not only preliminary information but also provide opportunities for stress-strain analysis.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Authors wish to thank the referees of this paper Prof. Dr. Ergun GÖKTEN and Assoc. Prof. Dr. M. Lutfi SÜZEN for their valuable contributions and corrections.

## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Çalışma alanı 1200 km. uzunluğundaki Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun doğuda İsmetpaşa ile Batıda Gerede yakınları arasında kalmaktadır. Çalışma alanında genel jeoloji ve tektonik konularında Tokay (1973) ve Şaroğlu, vd. (1995)'e ait çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışma yeryüzü şekillerinin oluşumunda doğrultu atımlı faylanmanın etkin bir rol oynamakta olduğu ortamda meydana gelen yapıların Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Sayısal Yükseklik modelleri (SYM) yardımıyla belirlenmesini ve analizini kapsamaktadır. CBS ve SYM tektonik ve morfolojik çalışmalarda, özellikle çok fazla bilgi sahibi olunamayan bölgelerin tektono-morfolojik özelliklerinin ortaya konulmasında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada CBS ve SYM tekniklerinin tektonomorfolojik özellikleri belirleme çalışmalarındaki kullanılabilirliği, yapısal özellikleri bilinen bir alanda test edilmiştir.

Bu çalışma ile Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Gerede doğusu ile İsmetpaşa arasında kalan kesiminin tektono-morfolojik özellikleri CBS ve sayısal haritalama teknikleri kullanarak çalışılmıştır. SYM kullanarak bölgede doğrultu atımlı fay sistemlerinde meydana gelişecek nehir ötelenmeleri, fay gölleri gibi oluşumlar tanımlanmış, aynı zamanda arazi gözlemleri ile elde edilen sonuçlar desteklenmiştir. Çalışmada CBS analizlerinde kullanılan veriler Şekil 2.'de verilmektedir.

Çalışma alanında Devoniyen'den Kuvaterner'e kadar 11 farklı birim gözlenmektedir (Şekil 2). Çalışma alanının orta kesimlerinde Kretase yaşlı fliş ve ofiyolit birimi geniş dağılım göstermektedir. Mesozoyik döneme ait çalışma alanı içerisindeki bir diğer birim, çalışma alanı güneyinde yüzeyleyen Jura yaşlı kireçtaşı birimidir. İnceleme alanındaki Senozoyik birimler Eosen yaşlı sedimanter birimler ve volkanik-volkanosdimanter birimlerden oluşmakta olup KAFZ çevresinde geniş yayılım göstermektedir. İnceleme alanının orta kesimlerinde Pliyosen yaşlı gölsel kireçtaşları ve traverten Neojen döneme ait birimleri oluşturmaktadır. Kuvaterner çalışma alanında alüvyonlar ve aktivitesi günümüzde de devam eden traverten ile temsil edilmektedir.

İnceleme alanındaki yapısal unsurlar arasında faylar önemli bir yer tutmakta olup, bunların başında KAFZ gelmektedir. KAFZ'na ek olarak paleotektonik dönemde gelişmiş bindirme fayları ile günümüzde

halen aktif olduğu tespit edilen Kuvaterner yaşlı travertenin gelişimine neden olduğu belirlenen açılma çatlağı inceleme alanındaki önemli yapısal unsurlardandır.

Çalışma alanının tektonik özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla uydu görüntüleri, kabartı haritaları kullanılarak çizgisellik analizi yapılmıştır. Elde edilen çizgiselliklere ait doğrultu gül diyagramları ile bölgenin yapısal unsurların oluşumunda rol oynayan hakim gerilme yönleri belirlenerek bölgede meydana gelmiş depremlerin verileri ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

Çizgisellik analizleri sonucunda KAFZ'nun çalışma alanı içindeki doğrultusuna benzer bir yönde yoğunlaşmış, diğeri ise buna yaklaşık dik veya dike yakın iki ana çizgisellik doğrultusu elde edilmiştir (Şekil 5 ve Şekil 6). Bu çizgisellikler Riedel kırık mekanizmaları açısından değerlendirildiğinde en büyük sıkışma gerilimi eksenini (?1) ve en küçük sıkışma gerilimi eksenini (?3) doğrultuları Şekil 7'deki gibi bulunmuştur. Bunların bölgede meydana gelmiş büyük depremlerden 1944 Gerede Depremi ve 1943 Çankırı Depremlerinin P ve T değerleri ile benzerlikler taşıdığı sonucu edinilmiştir.

Çalışma alanında doğrultu atımlı fay sistemlerinde gözlenen yüzey şekillerinden birçoğuna rastlanılmaktadır. Bunlar; çizgisel uzanmış vadiler, ötelenmiş dere yatakları (offset streams), basınç sırtları, çöküntü gölleri (sag pond) gibi bazı karakteristik yüzey şekilleridir. Doğrultu atımlı fay sistemlerinde gelişen karakteristik yeryüzü şekillerinin belirlenmesinde arazi gözlemleri öncesinde hava fotoğrafları ve uzay görüntüleri ile birlikte bölgenin morfolojisini birebir yansıtan topoğrafik veriden üretilen sayısal yükseklik modelleri (SYM) önemli ipuçları sunmaktadır. CBS teknikleri ile bir arazinin modellenmesinin en temel başlangıç noktası veri temini ve/veya veri hazırlanması olup, burada en önemli veri türü topoğrafya verisidir.

Bu amaçla çalışma alanına ait 1/25.000 ölçekli topoğrafik konturlar sayısallaştırılarak bu sayısal konturlardan bölgenin sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur. (Şekil 8 ve Şekil 9). Bölgedeki morfolojik yapıları ortaya çıkartmak üzere 3 boyutlu arazi görüntüleri, drenaj haritaları, eğim haritaları ve sayısal morfolojik kesitler oluşturulmuştur. Çalışma alanında Koca Göl ve Keçi

Gölü çöküntü gölü (Sag Pond) özelliğinde oluşumlardır. SYM'nden oluşturulan drenaj haritalarının faylarla çakıştırılmasından sağ yanal ötelenmeler belirlenmiştir.

Bu çalışmada sağ yanal doğrultu atımlı KAFZ'nun Gerece doğusu ile İsmetpaşa arasında kalan kesimindeki önemli morfolotektonik yapılar CBS teknikleri kullanılarak ortaya çıkartılmıştır. Çalışma alanında Kuvaterner yaşlı İmanlar Traverteni önemli bir tektonik yapı olarak tanımlanmış ve oluşumunun KAFZ ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Uydu görüntüsü ve kabartı haritalarından oluşturulan çizgisellik analizlerinden ana gerilme eksenlerinin doğrultuları bulunmuş olup bunların yaklaşık olarak 1944 Gerece Depremi P ve T eksenleri ile uyumlu oldukları sonucu ortaya çıkmıştır. Çizgisellik analizinin Riedel kırıklar mekanizması açısından yorumlanmasında bölgede oluşması gereken genişleme yapılarının doğrultusu ile İmanlar Travertninde ölçülen açılma çatlağı arasında yaklaşık 500'lik bir fark bulunmaktadır. Doğrultu atımlı fay sistemlerinde gözlenen basınç sırtı, çöküntü gölü, dere ötelenmesi gibi yüzey şekilleri sayısal topoğrafik verilerden kolaylıkla ayırt edilmiş olup bunların varlığı arazi gözlemleri ile de desteklenmiştir. Çalışma alanında maksimum 1700 metre sağ yanal dere ötelenmesi ölçülmüştür.

Bu çalışma bir bölgenin morfolotektonik özelliklerinin belirlenmesinde CBS'nin sağladığı avantajları ortaya koymuştur. Bu tür çalışmalarda elde edilen sonuçların mutlaka arazi gözlemleri ile doğrulanarak kullanılması gerekmektedir.

## REFERENCES

- Barka, A.A. and Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, *Tectonics*, 7, 3, 663-684.
- Barka, A.A., 1992, The North Anatolian Fault, *Ann. Tectonicae*, VI, 164-195.
- Çakır, Z., Akoglu, A.M., Bellabes, S., Ergintav, S. and Meghraoui, M., 2005. Creeping along the İsmetpaşa section of the North Anatolian fault (Western Turkey): Rate and extend from InSAR. *Earth and Planetary Science Letters*, 238, 225-234.
- Clark, C.D. and Wilson, C., 1994. Spatial analysis of lineaments. *Computers and Geosciences*, 20, 1237-1258.
- Dehandschutter, B., 2001, Study of the recent structural evolution of continental basins in Altai-Sayan (Central Asia), Phd. Thesis, 211p, <http://users.pandora.be/boris.dehandschutter/>
- DTM Consulting, 1999, GeoTools 1.0, Arcview Script, <http://arcscrips.esri.com/>
- Ergin, K., Güçlü, U. and Uz, Z., 1967, A catalog of earthquakes for Turkey and surrounding area (11 A.D. to 1964 A.D.), İTÜ Mining Faculty, Institute of Earth Physics, No:24, 169pp.
- Evans, I. S., 1980. An integrated system for terrain analysis for slope mapping. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 36, 275-295.
- Eyidoğan, H., Güçlü, U., Utku, Z., ve Değirmenci, E., 1991, Türkiye Büyük Depremleri Makrosismik Rehberi (1900-1988). İstanbul Üniversitesi Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 198s.
- Gençoğlu, S., İnan, E. ve Güler, H., 1990, Türkiye'de Deprem Tehlikesi, Jeofizik Mühendisleri Odası Yayını, 701s.
- Hung, L.Q., Dinh, N.Q., Batelaan, O., Tam, V.T. and Lagrou, D., 2002. Remote sensing and GIS based analysis of cave development in the Suoimuoi Catchment (Son La-NW Vietnam), *Journal of Cave and Karst Studies*, 64(1), 23-33.
- Jordan, G., 2004. Terrain Modelling with GIS for Tectonic Geomorphology, Numerical Methods and Applications. Acta Universitatis Upsaliensis. Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 1031, 41pp, Uppsala.
- Jordan, G., Meijninger, B.M.L., Van Hinsbergen, D.J.J., Meulenkamp, J.E. and Van Dijk, P.M., 2005. Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and applications for study areas in Hungary and NW Greece. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7, 163-182.
- Kaymakçı, N., 2000. Tectono-stratigraphical evolution of the Çankırı Basin (Central Anatolia, Turkey), Phd. Thesis, Geologica Ultraiectina, Mededelingen van de Faculteit Aardwetenschappen Universiteit Utrecht, 247p.
- Keller, E. and Pinter, N., 1996. Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape. Princeton Hall, Inc., 362 p.
- Kuterdem, K., 2005, Eskipazar (Karabük Güneyi) ve Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) arasındaki bölgenin morfo-tektonik özelliklerinin coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Ankara, Yüksek Mühendislik Tezi, 94s (yayınlanmamış).



- Meijninger, B.M.L., 2001. Geographic information systems analysis of north-western Greece: A tectonic investigation of north-western Greece by means of remote sensing analysis and digital terrain analysis. Master of Science Thesis, Utrecht University & ITC International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, <http://www.geo.uu.nl/Research/StructGeology/meijninger.html>.
- Novak, I.D. and Soulakellis, N., 2000. Identifying geomorphic features using LANDSAT-5/TM data processing techniques on Lesbos, Greece, *Geomorphology*, 34, 101-109.
- Özaksoy, V., 2000, Çerkeş-Ilgaz segmentinde Kuzey Anadolu Fay Zonunun sismotektoniği, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 116s.
- Özmen, B., 1998. Türkiye'nin deprem tehlikesi ışığı altında Ankara'nın depremselliğinin incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Mühendislik Tezi, 115 s (yayınlanmamış).
- Rosenau, M.R., 2004. Tectonics of the southern Andean intra-arc zone (38° - 42° S), <http://www.diss.fu-berlin.de/index.html>
- Saraf, A., 2002, Themes Intersections to Points Ver. 1.0., Arcview script, <http://arcscrips.esri.com/>
- Şaroğlu, F., Herece, E., Sariaslan, M. ve Emre, Ö., 1995, Yeniçağa-Eskipazar-Gerede arasının jeolojisi ve Kuzey Anadolu Fayı'nın genel özellikleri, MTA yayınları, Rapor No: 9873.
- Schauble, H., 1999, Hydro Tools 1.0, Arcview script for comprehensive hydrological functions. Arcview Script. <http://arcscrips.esri.com/>.
- Süzen, L. and Toprak, V., 1998. Filtering of satellite images in geological lineament analyses: an application to a fault zone in Central Turkey, *Int. J. Remote Sensing*, 19, 6, 1101-1114.
- Sengör, A.M.C. and Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Tokay, M., 1973, Kuzey Anadolu Fay Zonunun Gerede ile Ilgaz arasındaki kısmında jeolojik gözlemler, Kuzey Anadolu Fayı ve Deprem Kuşağı Simpozyumu, MTA Enstitüsü Yayını, 12-29.
- Yiğitbaş, E. and Yılmaz, Y., 1999. Pre-Cenozoic tectono-stratigraphic components of the Western Pontides and their geological evolution, *Geological Journal*, 34, 55-74.

---

Makale Geliş Tarihi : 19 Ağustos 2006

Kabul Tarihi : 08 Ocak 2007

*Received* : August 19, 2006

*Accepted* : January 8, 2007