



Eskişehir fay zonunun İnönü-Sultandere arasında neotektonik aktivitesi

Neotectonic activity of Eskişehir fault zone between İnönü and Sultandere

Erhan ALTUNEL

Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir

Aykut BARKA

İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 80626, Maslak-İstanbul

Öz

Genel doğrultusu BKB-DGD olan ve batıda Uludağ ile doğuda Kaymaz arasında uzanan Eskişehir fay zonu Ege-Batı Anadolu bloğunu kuzeydoğuda Orta Anadolu bloğundan ayıran sağ yönlü doğrultu atımlı normal bileşenli bir fay zonudur. Bu fay zonu, Eskişehir bölgesinde doğrultusu D-B ile KB-GD arasında değişen fay segmentleri ile temsil edilir. Pleyistosen ve Holosen birimlerinde görülen depolanma sırasına ve sonrasına ait faylar, Eskişehir fay zonunun en az Pleyistosen'den bu yana aktif olduğunu göstermektedir. Eskişehir fay zonu üzerinde ve yakın çevresinde 20. yy'da magnitudü 4 ve üzerinde (M 4) en az 14 adet deprem meydana gelmiştir ve 20 Şubat 1956 Eskişehir depremi (M=6.4) bu yüzyılda meydana gelen en büyük depremdir. 1956 Eskişehir depreminin hasar dağılımına bakıldığında muhtemelen Oklupal-Turgutlar arasında uzanan yaklaşık 10 km uzunluğundaki BKB-DGD doğrultulu segment üzerinde meydana geldiği anlaşılmaktadır. Tarihsel deprem kataloglarında ve Eskişehir'in tarihi ile ilgili literatürlerde 20. yy'dan önceki dönemlere ait önemli deprem kaydı yoktur. Ancak, Pleyistosen birimleri içinde görülen çamurtaşı daykları ve fay yüzeyleri önünde Holosen birimlerinin kesintiye uğraması, Eskişehir fay zonunu oluşturan segmentlerin bu bölgede aktif olduklarını ve son 10 000 yılda birkaç defa magnitudü 6'nın üzerinde deprem oluşturdıklarını göstermektedir. 1956 depremi fay düzlemi çözümü ve arazi gözlemleri, İnönü ve Eskişehir havzalarının oluşmasında önemli rol oynayan Eskişehir fay zonunun transtansiyonal fay zonu olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Aktif fay segmenti, Deprem, Eskişehir fay zonu, Transtansiyonal fay zonu.

Abstract

The WNW-ESE-trending Eskişehir fault zone which separates the Aegean-western Anatolian block from the central Anatolian block is a right lateral strike-slip fault zone with a normal component. The fault zone is characterized by fault segments which trend between E-W and NW-SE around Eskişehir. Syndepositional and postdepositional faults cutting Pleistocene and Holocene units indicate that the Eskişehir fault zone has been active since at least Pleistocene. At least 14 earthquakes (M 4) occurred on the Eskişehir fault zone in the 20th century and the 20th February 1956 Eskişehir earthquake (M=6.4) was the largest event in this century. The isoseismal map of the 1956 earthquake shows that this earthquake occurred on about 10-km-long WNW-ESE-trending Oklupal-Turgutlar segment. There is no major earthquake record in the historical earthquake catalogues before the 20th century. However, both existence of mud dykes in Pleistocene units and deformation of Holocene deposits in front of fault scarps indicate that fault segments are active in this area and several M 6 earthquakes occurred in the last 10 000 years. Fault plane solution of the 1956 earthquake and field observations indicate that the Eskişehir fault zone which played an important role in the development of Eskişehir and İnönü plains is a transtensional fault zone.

Key words: Active fault segment, Earthquake, Eskişehir fault zone, Transtensional fault zone.

GİRİŞ

Arazi çalışmaları sırasında incelenen neotektonik yapılar üst kabuğun 1-2 km derinliklerindeki yapılardır. Neotektonik yapılar daha derinlere de devam ederler ancak bu kesimdeki bilgiler daha çok sismoloji ile elde edilirler. Bir bölgeyi etkileyen mevcut tektonik rejim süresi içinde hareket eden faylar aktif fay, bu süre içinde hiç hareket etmemiş faylar aktif olmayan faylar olarak

değerlendirilir ve aktif olmayan fayların yakın gelecekte hareket etme olasılıkları gözardı edilebilir. Stewart ve Hancock (1994)'a göre, U.S. Environmental Protection Agency (1981) aktif fayı son 10 000 yılda bir defa hareket etmiş fay olarak tanımlarken, U.S. Regulatory Commission (1982) 35 000 yılda bir defa hareket ve 500 000 yıl içinde en az iki defa hareket eden fayı aktif kapasiteli fay olarak tanımlamaktadır.

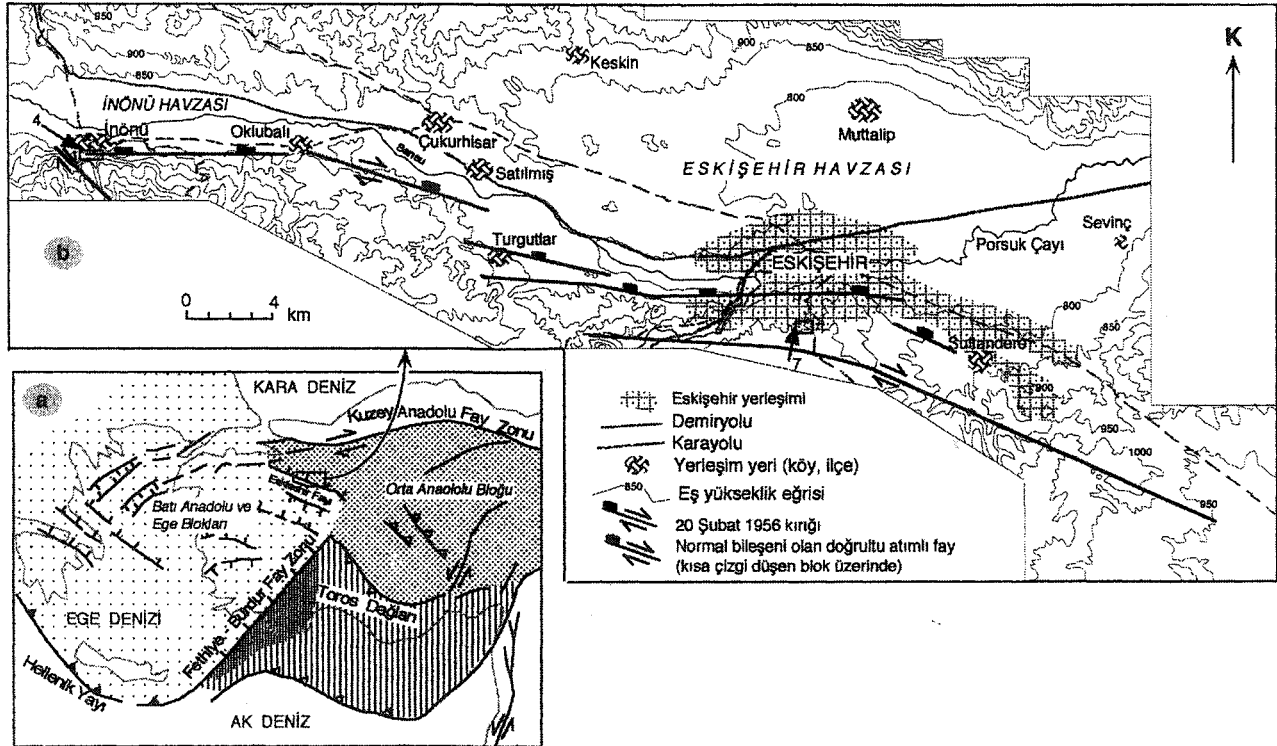
Eskişehir fayı (McKenzie, 1978; Barka ve diğ. 1995) batıda Uludağ'dan doğuda Kaymaz'a kadar uzanır ve genellikle BKB-DGD doğrultusunda uzanan fay segmentlerinden oluşur. Bu çalışmada, Ege-Batı Anadolu bloğunu kuzeydoğuda Orta Anadolu bloğundan ayıran (Şekil 1a) (Barka ve diğ. 1995) Eskişehir fay zonunun İnönü ile Sultandere doğusu arasında (Şekil 1b) aktivitesi, geometrisi ve kinematik özellikleri incelenmiştir.

ÇALIŞMA ALANININ TEKTONİK VE SİSMİK ÖZELLİKLERİ

Anadolu, tektonik deformasyonun dünyada en hızlı olduğu bölgelerden biridir (Jackson ve McKenzie, 1988). Eskişehir fay zone, doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu ile normal faylar ile temsil edilen Ege açılma bölgesi arasında yer alır (Şekil 1a). Yaklaşık son 30 yıldır yapılan çalışmalar Ege Bölgesi ve Orta Anadolu'yu içine alan Anadolu bloğunun Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca batıya doğru

hareket ettiği görüşü üzerine yoğunlaşmıştır (örneğin, McKenzie 1972, 1978; Dewey ve Şengör 1979; Şengör 1982; Şengör ve diğ. 1985). Ancak Barka ve diğ. (1995)'ne göre, son GPS verileri Batı Anadolu'nun KD-GB-uzanımlı Fethiye-Burdur fay zone ve BKB-DGD-uzanımlı Eskişehir fay zone ile Orta Anadolu'dan ayrıldığını ve batı-güney batıya doğru daha hızlı hareket ettiğini ortaya koymuştur (Şekil 1a). Batı Anadolu bloğunun batıya doğru hareket hızı kuzeyden güneye doğru artmaktadır; örneğin hareket hızı kuzeyde 20 mm/yıl'dan az iken güneyde 30-40 mm/yıl'dan fazladır (Jackson, 1994; Barka ve diğ. 1995).

Ülkemizin deprem aktivitesi gözönüne alındığında, Eskişehir bölgesi deprem riski açısından birinci derece bölge içinde yer almamaktadır. Ancak Eskişehir, birinci derece deprem bölgesi olan Ege Bölgesi ile Kuzey Anadolu Fay Zonu arasında bir geçiş bölgesidir. Çizelge 1'de görüldüğü gibi, Eskişehir ve çevresinde son 100 yıllık aletsel dönem içinde büyük ve orta büyüklükte



Şekil 1. (a) Anadolu'nun neotektonik alt bölümleri. Seyrek noktali alan açılma bölgelerini, sık noktali alan sıkışma bölgelerini gösteriyor. Dikey çizgili alan kompleks yapılar içeren bölge; bunun içinde sık dikey çizgili alan açılma bölgelerini, seyrek dikey çizgiler sıkışma bölgelerini gösteriyor. (Barka ve diğ. 1995'den). (b) Eskişehir bölgesinin topoğrafik ve neotektonik haritası. Ok ile gösterilen yerler o numaraya ait şeklin lokasyonunu gösteriyor.

Figure 1. (a) Neotectonic subdivisions of Anatolia. Heavy dots indicate compressional areas, less heavy dots indicate extensional areas. Vertical lines show complex areas within which heavy vertical lines show extensional regions, less heavy vertical lines show compressional regions. (From Barka et al. 1995). (b) Topographic and neotectonic map of the Eskişehir area. Arrows indicate locations of Figures related to those numbers.

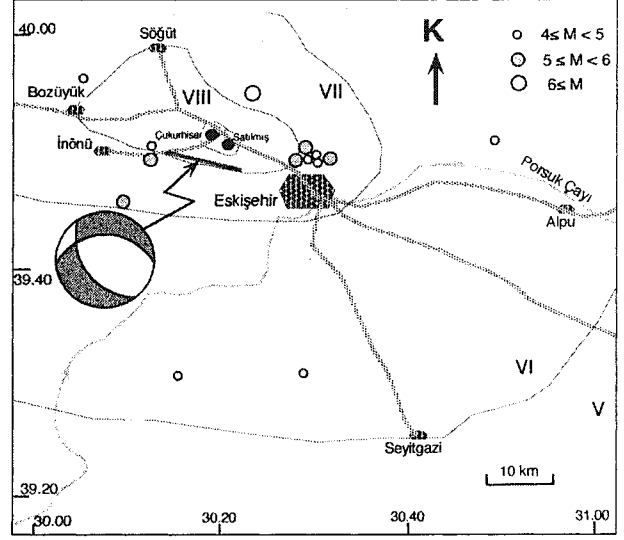
ESKİŞEHİR FAY ZONUNUN NEOTEKTONİK AKTİVİTESİ

depremler meydana gelmiştir ve bu dönem içinde meydana gelen en büyük deprem Eskişehir, Bilecik ve Bozüyük merkezlerinde ve çevresinde (Şekil 2) değişik hasarlara neden olan 20 Şubat 1956 depremidir ($M=6.4$). Öcal, (1959) bu depremin makro ve mikrosismik etüdünü yapmış ve depremin merkez üssünün Eskişehir'in yaklaşık 10 km batısında Çukurhisar yakınlarında (Şekil 2) olduğunu ortaya koymuştur. 20 Şubat 1956 depreminde en büyük hasar Eskişehir'in batısında yer alan Çukurhisar ve Satılmış köylerinde meydana gelmiştir (Öcal 1959). 20 Şubat 1956 Eskişehir depreminin yüzey kırıkları oluşturması beklenebilir. Ülkemizde ve dünyanın diğer yerlerinde bu büyüklükteki bazı sığ depremler yüzey kırığı oluşturabilmektedir; örneğin, 1 Ekim 1995 Dinar depremi daha küçük bir deprem olmasına karşılık ($M=6.1$) 10 km yüzey kırığı oluşturmuştur. Bu açıdan bakıldığında 1956 Eskişehir depreminin yüzey kırıklarının olup olmadığının bilinmemesi ya eksik arazi gözlemleri ya da depremin 8-10 km'den daha derin olmasına bağlanabilir.

Çizelge 1. Eskişehir ve yakın çevresinde meydana gelen depremlerin listesi (39.40-40.00 K, 30.00 - 31.00 D). (Veriler Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi'nden alınmıştır).

Table I. List of earthquakes occurred around Eskişehir (39.40-40.00 N, 30.00-31.00 E). (Data obtained from Boğaziçi University, Kandilli Observatory).

Tarih Date	Enlem Latitude	Boylam Longitude	Magnitüd Magnitude
12.5.1901	39.80	30.50	5.0
30.4.1905	39.08	30.50	5.4
1.5.1905	39.90	30.10	4.9
6.5.1928	39.80	30.50	5.0
14.6.1948	39.80	30.50	4.9
20.2.1956	36.89	30.49	6.4
23.2.1956	39.76	30.17	5.2
25.2.1956	39.80	30.80	4.3
24.5.1956	39.80	30.50	4.3
22.7.1958	39.80	30.50	4.3
28.3.1961	39.82	30.19	5.0
28.3.1970	39.50	30.30	4.2
28.3.1970	39.50	30.50	4.3
24.10.1990	39.84	30.23	4.3



Şekil 2. Eskişehir ve çevresinde 20. yy'da meydana gelen magnitüdü 4'ün üzerindeki depremlerin episantrlarını gösteren harita. İnce çizgiler 20 Şubat 1956 Eskişehir depremine ait izoseistler (Öcal 1959'dan). Kalın çizgi bu depremde kırılan fay segmenti. Fay düzlemi çözümü McKenzie (1972) tarafından 20 Şubat 1956 depremi için geliştirilmiştir.

Figure 2. Map showing epicenters of $M > 4$ earthquakes that occurred around Eskişehir in the 20th century. Thin lines are isoseists of the 20th February 1956 Eskişehir earthquake (from Öcal 1959). Thick lines is the fault segment that activated during the 1956 earthquake. Fault plane solution was developed by McKenzie (1972) for the 20th February 1956 earthquake.

İNÖNÜ-SULTANDERE ARASINDA ESKİŞEHİR FAY ZONU

Batıda Uludağ'dan doğuda Kaymaz'a kadar uzanan BKB-DGD doğrultulu fay zonu Şaroğlu ve diğ. (1992) tarafından hazırlanan Türkiye Diri Fay haritasında İnönü-Dodurga fay zonu, Eskişehir fay zonu ve Kaymaz fay zonu olarak ayrı ayrı adlandırılmıştır. Ancak Şengör ve diğ. (1985) ve Barka ve diğ. (1995) Uludağ ile Kaymaz arasında uzanan bu fay zonunu Eskişehir fayı olarak adlandırmışlardır. Eskişehir fay zonu Sultandere ile İnönü arasında birbirini takip eden segmentler halinde devam etmektedir (Şekil 1b). Genel doğrultusu BKB-DGD olan Eskişehir fay zonu ayrıntılı incelendiğinde doğrultu D-B ile KB-GD arasında değişir. Eskişehir fay zonu, İnönü'nün batısında KB-GD, İnönü-Oklubalı arasında yaklaşık D-B, Oklupal-Turgutlar-Eskişehir arasında BKB-DGD, Eskişehir'in güneyinde yaklaşık D-B ve Eskişehir-Sultandere arasında KB-GD doğrultusunda uzanmaktadır (Şekil 1b). Havzanın genişliği 2 ile 12 km arasında değişmektedir. Havzanın en çukur (790 m) ve

en geniş yeri (12 km) Eskişehir şehir merkezinin bulunduğu bölgedir (Şekil 1b). Havza tabanı Eskişehir-tnönü arasında hafifçe güneye eğimlidir.

İnönü-ÇukurMsarsegment!

İnönü havzasını güneyde sınırlayan İnönü-Çukurhisar segmenti, İnönü-Oklubal arasında yaklaşık doğu-batı, Oklubal-Satılmış arasında BKB-DGD doğrultusunda uzanır (Şekil 1b). İnönü'nün güneyindeki Triyas yaşlı (Gözler ve diğ. 1984) kireçtaşlarında görülen iyi korunmuş fay yüzeyleri (Şekil 3a) İnönü'nün doğusundaki Miyosen yaşlı birimlerde (kil, marn, konglomera karışımı) görülmemektedir (Şekil 3b). Fay, İnönü'nün güneyinde iki kola ayrılmaktadır (Şekil 1b). K142° doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı güney kol Triyas yaşlı kireçtaşlarında yaklaşık dik bir yüzey oluşturur ve bu yüzeydeki fay çiziklerinin hemen hemen yatay olması bu kol üzerindeki hareketin sadece doğrultu boyunca olduğunu, yani hareketin normal bileşeninin olmadığını göstermektedir (Şekil 3 a). Kuvaterner birimlerinde bu fayın etkileri görülmez. Bu güney kola oblik olan ve İnönü-Oklubal arasında uzanan yaklaşık D-B doğrultulu kol İnönü havzasını güneyde sınırlar (Şekil 1b). İnönü'nün güneyinde (Şekil 1) doğrultuları N80° ile N124°, eğimleri 48° ile 86° arasında değişen normal faylar Holosen dönemine ait (güncel) yamaç molozu ve çamurları kesmektedir (Şekil 4a). Normal faylarda güney blok yükselmiş, kuzey blok düşmüştür. Havza tabanında biriken Kuvaterner sedimanları ile Miyosen yaşlı birimler arasındaki sınırı oluşturan fay boyunca İnönü'nün doğusundan itibaren fay yüzeyi görülmemektedir ancak havza tabanı ile güneydeki yükseklikler arasındaki ani topografik farklılık faylanmanın bir sonucudur (Şekil 3b). Yaklaşık D-B doğrultulu bu fay Oklubal'ın doğusundan itibaren BKB-DGD doğrultusunda uzanır ve satılmış Köyü'nün güneyinde Kuvaterner birimleri içinde kaybolur (Şekil 1b). Fay, Çukurhisar'm güneyinde kuzeye eğimli yayvan bir topografya sunan Miyosen birimlerinde 1 m ile 3 m arasında değişen topografik farklılık oluşturur.

Turgutlar-Eskişehir segmenti

İnönü'den doğruya doğru devam eden fay, Satılmış'm güneyinde sağa doğru sıçrayarak Turgutlar Köyü'nün batısından tekrar başlar ve Eskişehir'e doğru uzanır (Şekil 1b). Turgutlar Köyü'nün kuzeyinden geçen BKB-DGD doğrultulu fay Turgutlar Köyü'nün doğusunda Eskişehir'e varmadan kaybolur (Şekil 1b). Turgutlar Köyü'nün güneyinden BKB-DGD doğrultusunda başlayan başka bir segment Eskişehir civarında yaklaşık

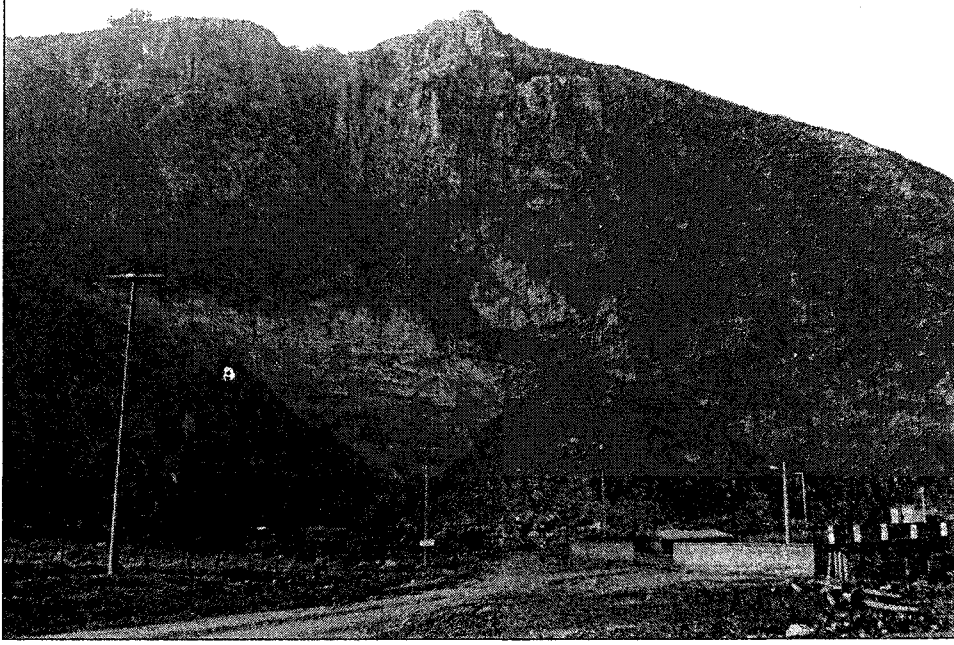
D-B doğrultusunda, Eskişehir ile Sultandere arasında KB-GD doğrultusunda uzanır (Şekil 1b). Bu fay, Turgutlar ile Porsuk Çayı'nın Eskişehir havzasına girdiği yere kadar Triyas yaşlı ofiyolitler (Gözler ve diğ. 1984) ile Eskişehir havzası arasındaki sınırı oluşturur. Eskişehir'in güneyinde Miyosen yaşlı birimleri keser ancak fay yüzeyi görülmemektedir. Bu fay Eskişehir havzasının güney sınırını oluşturur (Şekil 1b). Turgutlar'ın doğusu ile Sultandere arasında bu fay çevresinde yoğun yapılaşma mevcuttur. Daha sonra ayrıntılı tartışılacağı üzere, Eskişehir çevresinde açılan yol yarmalarında ve inşaat temellerinde Pleyistosen yaşlı konglomera, kumtaşı ve çamurtaşlarını kesen normal faylar, doğrultu atımlı faylar ve ters faylar görülmektedir.

Eskişehir havzasının güney sınırını oluşturan fayın güneyinde Eosen yaşlı (Gözler ve diğ. 1984) kireçtaşlarını kesen bir fay uzanmaktadır (Şekil 1b). Batıda yaklaşık D-B doğrultusunda uzanan fay, Eskişehir'in güneyinde KB-GD doğrultusunda uzanır ve aynı doğrultuda Sultandere'nin güneyinden geçerek güneydoğuya doğru uzanır (Şekil 1b). Fay boyunca kuzey blok düşmüş, güney blok yükselmiştir ancak fay boyunca fay yüzeyi görülmemektedir.

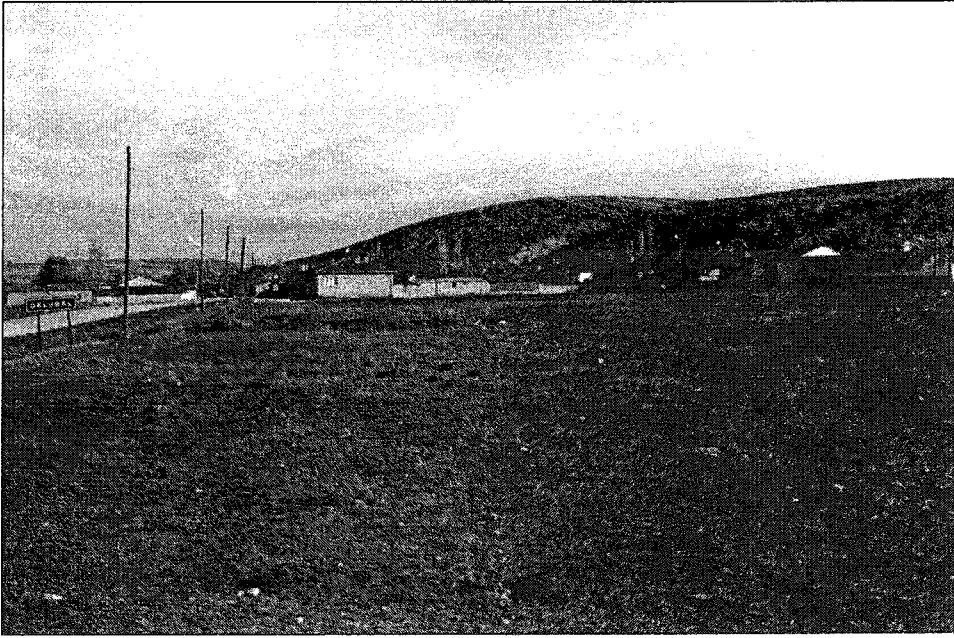
İNÖNÜ-SULTANDERE ARASINDA ESKİŞEHİR FAYZONUNUN KUVATERNER AKTİVİTESİNİN İRDELENMESİ

Bursa'dan Sivrihisar'a kadar uzanan (Şaroğlu ve diğ. 1992) ve genel doğrultusu BKB-DGD olan Eskişehir fay zonunun İnönü ile Sultandere arasında incelenen kısmında fay, değişik doğrultularda birbirini -takip eden segmentler halinde uzanır (Şekil 1b). İnönü-Sultandere arasında birkaç lokasyon dışında taze fay yüzeyi sunmayan fay zonu boyunca insanlar tarafından değişik amaçlara yönelik yapılan çalışmalarda (toprak alımı, yol yapımı, inşaat temeli açımı vb.) ortaya çıkan taze fay kesitlerinden yararlanarak faya ait özellikler belirlenmeye çalışılmıştır. Bu bölgede fay yüzeyi görülmemesinin sebepleri şöyle sıralanabilir. (1) İnönü ve Eskişehir havzalarının güney kenarı boyunca İnönü ile Sultandere arasında kil, marn, tuf ve kireçtaşı karışımından oluşan birim geniş alanlar kapsar. Gözler ve diğ. (1984) tarafından Miyosen yaşlı verilen bu birimin üzerinde Pleyistosen yaşlı birimleri kesmektedirler. Bu gevşek az tutturulmuş sedimanlar hem plastik deformasyon gösterirler ve hem de çabuk aşınırlar. (2) Tarihsel ve aletsel deprem verileri ve GPS ölçümleri (Barka ve diğ. 1995; Reilinger ve diğ. 1996) fay üzerindeki hareket hızının 1-2 mm/yıl mertebesinde olduğunu göstermektedir. Deformasyonun

ESKİŞEHİR FAY ZONUNUN NEOTEKTONİK AKTİVİTESİ



(a)



(b)

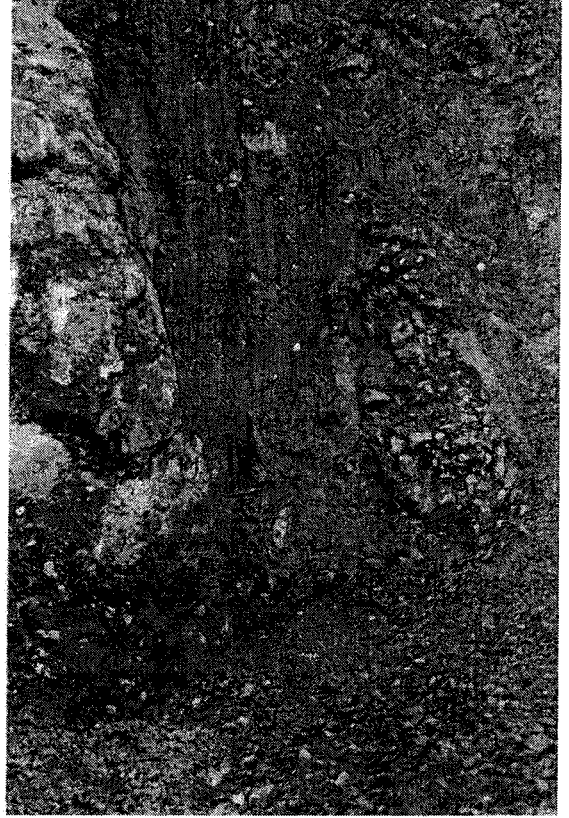
Şekil 3. (a) İnönü havzasının güneyinde Triyas kireçtaşlarını kesen sağ yönlü doğrultu atımlı fay yüzeyi. Fayın ön kısmında kaynaklar yer almaktadır, (b) Oklupal Köyü civarında havza tabanı ile Miyosen yaşlı birimler arasında faylanma sonucu oluşmuş topoğrafik farklılık.

Figure 3. A right lateral strike-slip fault plane within Tertiary age limestone in south of İnönü plain. Springs are located in front of the fault plane, (b) A fault related topographic scarp bounding the İnönü plain in the north and Miocene age rocks in the south (near the Oklupal village).

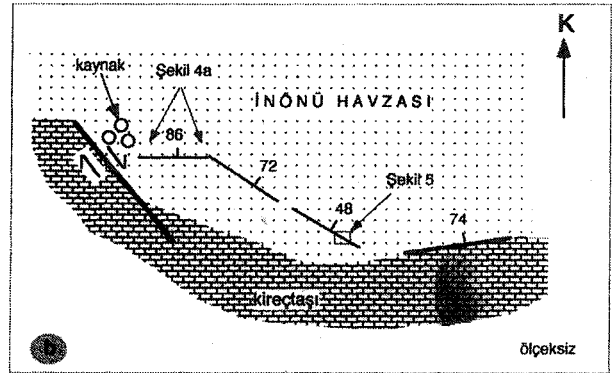
yavaş olduğu bu bölgede aşınmaya karşı dayanımı düşük olan Miyosen ve Pleyistosen yaşlı kayalar kesen fay yüzeyleri bölgedeki iklim koşulları gözönüne alındığında kısa sürede aşınacaktır. (3) Ayrıca, bölgenin tarım alanı olarak kullanılması doğal yüzey şekillerinin kısa sürede kayıp olmasının diğer bir önemli nedenidir. Dolayısıyla, bu bölgede yüzeyde fay aynasının görülmemesinin muhtemel nedeni çok yavaş cereyan eden tektonik deformasyon sonucu oluşan yapıların hızlı aşınma ve yapay etkiler sonucu kısa sürede yok olmasıdır.

İnönü havzasının güneyinde Triyas yaşlı kireçtaşlarını kesen K142" doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı fay Kuvaterner yaşlı birimlerde görülmez. Bu fayın doğusunda doğrultulan K82° ile K124° arasında değişen faylar Kuvaterner birimlerini keserler (Şekil 4a). Havzanın güneyinde, bu faylar ile K142° doğrultulu doğrultu atımlı fayın kesiştiği yerde kaynaklar mevcuttur (Şekil 4b). Kaynakların yüzeye çıktıkları yer, aktif tektonik yapıların düğüm yerleridir ve Altunel ve Hancock (1993)'ün başka bölgelerde gözlemlediği gibi, aktif tektonik yapıların oluşturduğu bu tür düğüm noktaları yeraltısuyunun yüzeye çıkması için su yolu oluşturmaktadırlar. Yamaç molozu içinde gelişmiş fayların eğimleri 48° ile 86° arasında değişmektedir ve fay yüzeyleri kuzeye doğru eğimlidir. Fay yüzeylerindeki çizikler (yatay ile 70°-90° arasında değişen açılar yaparlar) faylardaki esas hareketin normal, ancak az da olsa doğrultu bileşenlerinin de olduğunu göstermektedir.

Güncel (Holosen) yamaç birikintilerini kesen faylar yüzeyde fay aynası sunmazlar ancak topoğrafik farklılık sunarlar. Taze fay yüzeyleri bölgeden dolgu malzemesi alınması sonucu ortaya çıkmışlardır (Şekil 5a). Güncel birikintilerde görülen deformasyonlar fayların değişik aralıklarla hareket ettiklerini göstermektedir. Örneğin, Şekil 5'de görüldüğü gibi, depolanmakta olan yamaç molozu fay tarafından kesilmektedir ve birimlerin depolanması değişik zamanlarda kesintiye uğramıştır. Şekil 5(b)'de (a) ile gösterilen birim depolanmadan önce kireçtaşı blokları içeren Kuvaterner yaşlı birim faylanmıştır ve düşen blok üzerinde (a) birimi depolanmaya başlamıştır, (a) ile gösterilen birimin üst yüzeyi faya doğru eğimlidir. Normal bileşenin hakim olduğu faylarda yaygın olarak görüldüğü gibi (örneğin 1 Ekim 1995 Dinar depreminde oluşan fayda da görüldüğü gibi) faylanma sonucu tavan bloğun düşmesi yanında yüzeyde açıklık da meydana gelmektedir (Şekil 5c). Şekil 5(c)'de görüldüğü gibi, düşen bloğun faya yakın kısmının zamanla aşınmasıyla faya doğru eğimli bir aşınma yüzeyi oluşur. Benzer şekilde Şekil 5(b)'de, kırılma sonucu muhtemelen yüzeyde bir açıklık meydana gelmiş ve bir yandan



a

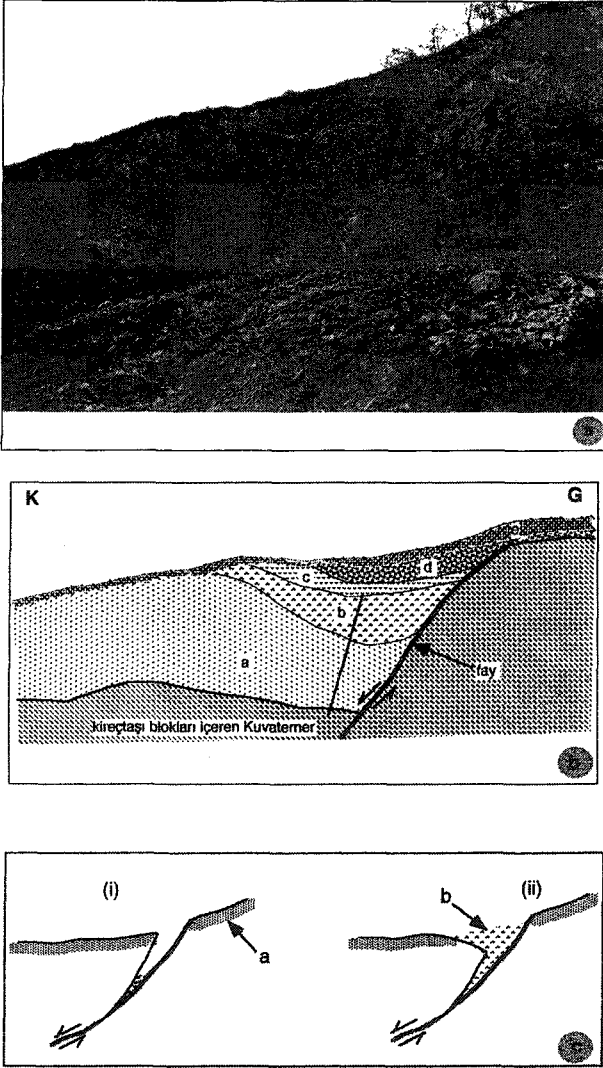


Şekil 4. (a) Holosen (güncel) yamaç molozu ve çamurtaş] arını kesen fay. (Lokasyon için Şekil 4b'ye bakınız), (b) İnönü'nün güneyinde birikmekte olan yamaç molozunu kesen fayların ölçeksiz planı. Normal bileşenin egemen olduğu faylar sağ yönlü doğrultu atımlı faya oblik gelişmişlerdir ve bu iki fay sisteminin kesiştiği yerde kaynaklar mevcuttur. (Lokasyon için Şekil 1b'ye bakınız).

Figure 4. (a) A fault cuts Holocene age talus and mudstones. (See Figure 4b for location), (b) A scales plan of faults cut actively depositing talus near İnönü. Normal component is dominant in these faults and they developed oblique to the right lateral strike-slip fault. Springs are located where these two fault systems intersect. (See Figure 1b for location).

ESKİŞEHİR FAY ZONUNUN NEOTEKTONİK AKTİVİTESİ

(a) biriminin üst yüzeyi aşınırken bir yandan da (b) birimi birikmiştir, (b) birimi içinde görülen bir kırık (Şekil 5b) (c) birimini etkilememektedir dolayısıyla (c) birimi depolanmadan önce fay tekrar hareket etmiştir, (c) biriminin depolanmasını kesintiye uğratan bir hareketten sonra (d) ve (e) birimleri depolanmaya başlamıştır, (d)



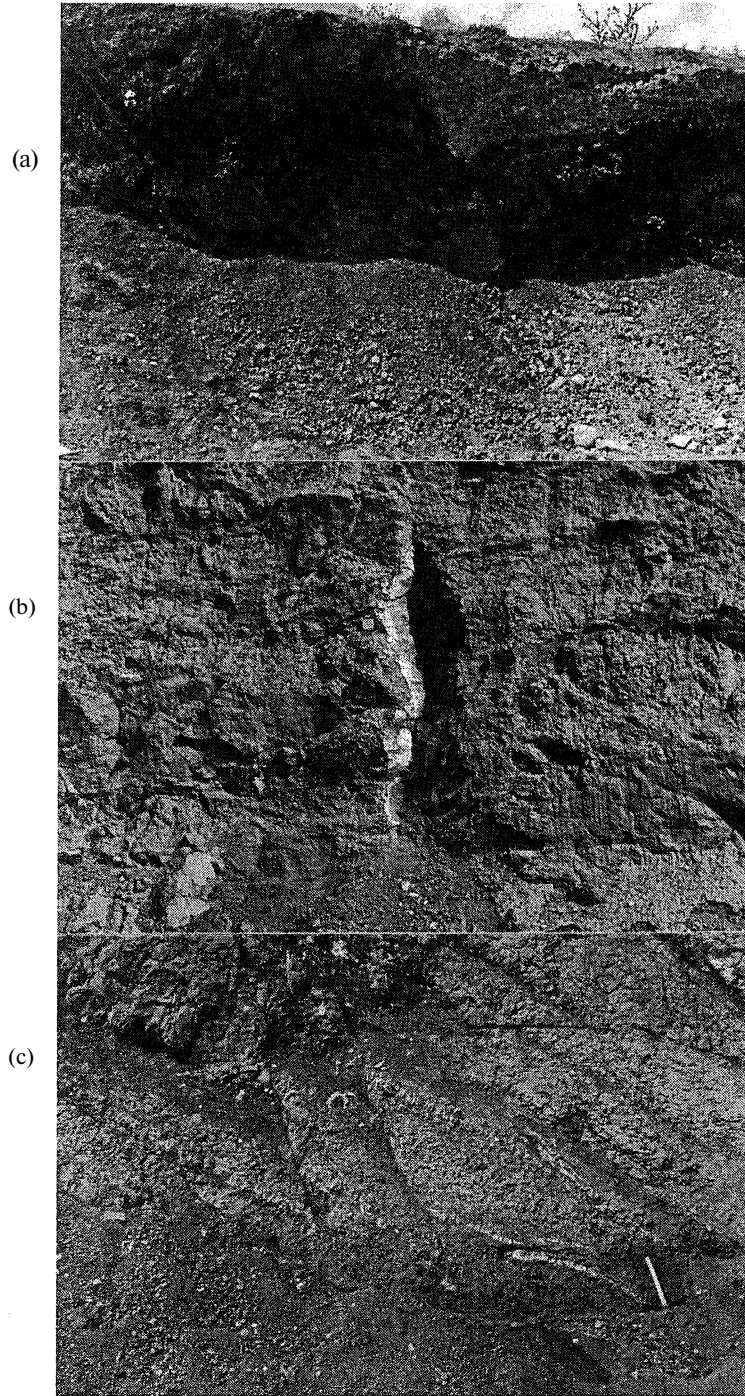
Şekil 5. (a) İnönü'nün güneyinde güncel yamaç molozlarını kesen fay. (b) Şekil 5a'daki fotoğrafın çizimi, (c) Normal ve doğrultu bileşeni olan faylarda deprem sonucu yüzeyde oluşan açıklıkların şematik gösterimi, (i) Deprem sırasında oluşan kırık, (ii) oluşan kırığın zamanla aşınması ve yeni malzemelerin birikmesi.

Figure 5. (a) A fault cuts actively depositing talus in south of İnönü, (b) Line drawing of Figure 5(a). (c) Schematic views of a surface break that occurs during oblique faulting. (i) Break occurred during the earthquake, (ii) erosion within time and filling of new materials into the break.

ve (e) birimlerinin depolanmasını kesintiye uğratan herhangi bir hareket henüz gerçekleşmemiştir. Kuzeydeki blokların düşmesi ve fay yüzeyindeki çiziklerin yaklaşık 70° doğuya eğimli olması fayda normal bileşenin yanında sağ yönlü doğrultu bileşenin de olduğunu göstermektedir.

Eskişehir'in güneyinde Pleyistosen yaşlı konglomera ve çamurtaşları oblik atımlı, doğrultu atımlı ve ters faylar tarafından kesilmektedir. Oblik faylar KKB-GGD doğrultusunda gelişmiş ve kuzey blok düşmüştür (Şekil 6a). Fay yüzeylerinin eğimleri 50° ile 70° arasında değişmektedir. Doğrultu atımlı faylar BKB-DGD doğrultusunda gelişmişlerdir. Bu doğrultudaki fayların eğimleri dike yakındır (Şekil 6b) ve fay yüzeylerindeki hemen hemen yatay çiziklerden fayların sol yönlü oldukları anlaşılmaktadır (Şekil 6b). Ters faylar KD-GB doğrultusunda gelişmişlerdir ve 44°-70° arasında eğime sahip fay yüzeyleri boyunca batıdaki blok doğudaki bloğun üzerine bindirmiştir (Şekil 6c). Eğim açıları 50° ile 70° arasında değişen BKB-DGD doğrultulu faylarda kuzey blok düşmüştür ve fay yüzeylerindeki çiziklerin genellikle doğuya doğru eğimli olmaları fayların sağ yönlü doğrultu bileşenlerinin olduğunu göstermektedir (Şekil 7). Yarmalarda görülen fayların bazıları yüzeye kadar devam ederken, bazı faylar yüzeye ulaşmadan konglomera veya çamurtaşı içinde kaybolurlar (Şekil 6a ve 7). Yüzeye kadar devam eden fay yüzeyleri boyunca genellikle karbonat birikimleri gözlenirken, yüzeye çıkmadan kayıp olan fay yüzeylerinde karbonat birikimi gözlenmez. Yüzeye kadar devam eden faylar konglomera ve çamurtaşı birimleri depolanması tamamlandıktan sonra oluşmuş (post-depositional) faylardır. Bunların yüzeydeki belirtileri aşınma sonucu kaybolmuştur. Yüzeye çıkmadan kayıp olan faylar ise birimlerin depolanması sırasında oluşmuş (syn-depositional) faylardır.

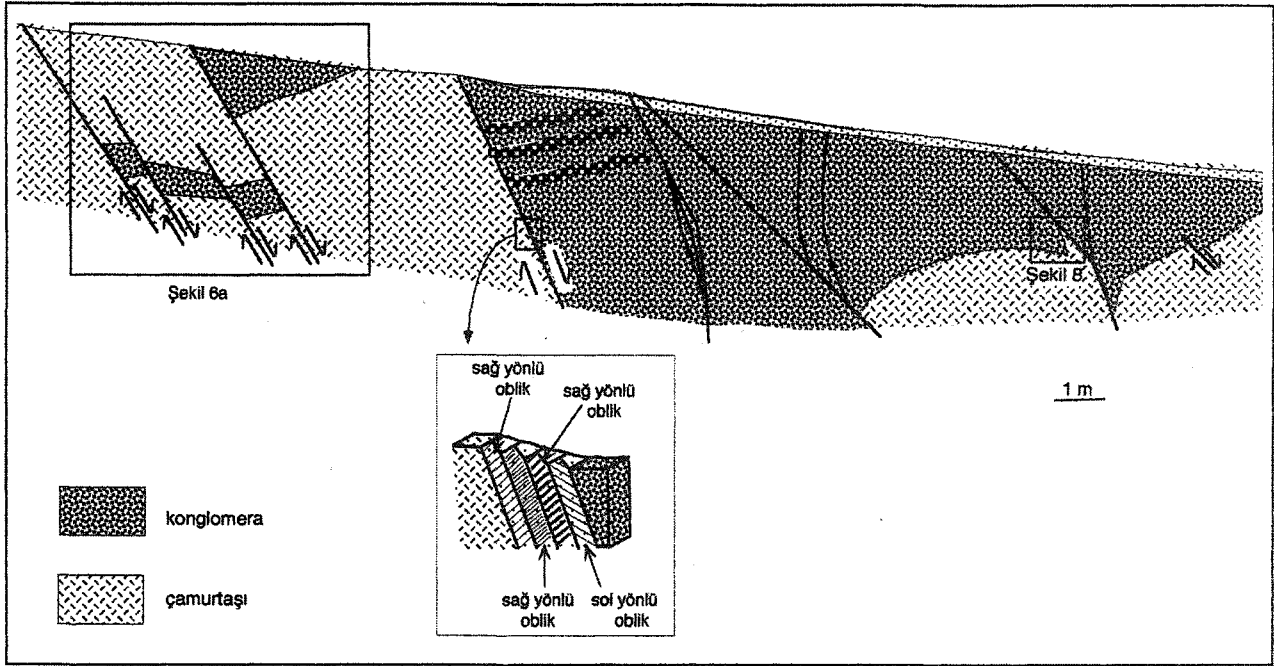
Konglomera ve çamurtaşlarını kesen fayların yüzeylerinde ve bu birimler içinde gelişmiş diğer çatlaklarda yaygın olarak karbonat mineralizasyonu görülmektedir (Şekil 6). Bu tür mineralizasyon genellikle sıcak suların yüzeye çıktıkları kırık ve çatlaklarda görülürler (Sibson ve diğ. 1975; Altunel ve Hancock 1993) dolayısıyla Eskişehir'in güneyindeki bu faylar ve çatlaklar sıcak suların yüzeye transferinde önemli rol oynamışlardır. Bu bölgede sıcak sular günümüzde de mevcuttur ancak, yaklaşık 3 km kuzeyde şehir merkezinde yer almaktadır. Sıcak suların çıkış yerleri muhtemelen tektonik aktiviteye bağlı olarak değişmiştir. Bu bölgede çatlak ve kırıkların sıcak su aktivitesinde rol oynadıklarını destekleyen diğer bir veri ise; Şekil 8'de görüldüğü gibi, altta bulunan silt bir kırık boyunca üstte bulunan konglomera içi-



Şekil 6. Eskişehir'in güneyinde Pleyistosen yaşlı birimleri kesen faylar, (a) BKB-DGD doğrultulu oblik faylar. Çekicinin sağında ve solunda konglomeraları kesen faylar üstteki çamurtaşı içinde kayıp olurken diğer faylar yüzeye kadar devam etmektedirler. Yüze kadar devam eden faylar boyunca karbonat birikimi görülmektedir. (Lokasyon için Şekil 7'ye bakınız), (b) KKD-GGB doğrultulu doğrultu atımlı fay. Fay yüzeye kadar devam etmektedir ve fay yüzeyinde karbonat birikimi görülmektedir, (c) KD-GB doğrultulu ters faylar.

Figure 6. Faults cut Pleistocene age rocks in south of Eskişehir, (a) WNW-ESE-trending oblique faults. While faults cutting conglomerates in the left and right sides of the hammer die out in mudstones, other faults extend to the surface. Carbonate deposition is visible on fault surfaces that extend to the surface. (See Figure 7 for location), (b) NNE-SSW-trending strike-slip fault. Fault extends to the surface and carbonate deposited on its surface, (c) NE-SW-trending reverse faults.

ESKİŞEHİR FAY ZONUNUN NEOTEKTONİK AKTİVİTESİ



Şekil 7. Eskişehir'in güneyinde K300 doğrultusunda açılmış bir yarmada Pleystosen birimlerini kesen yapıların kesit görünümü. (Lokasyon için Şekil 1b'ye bakınız).

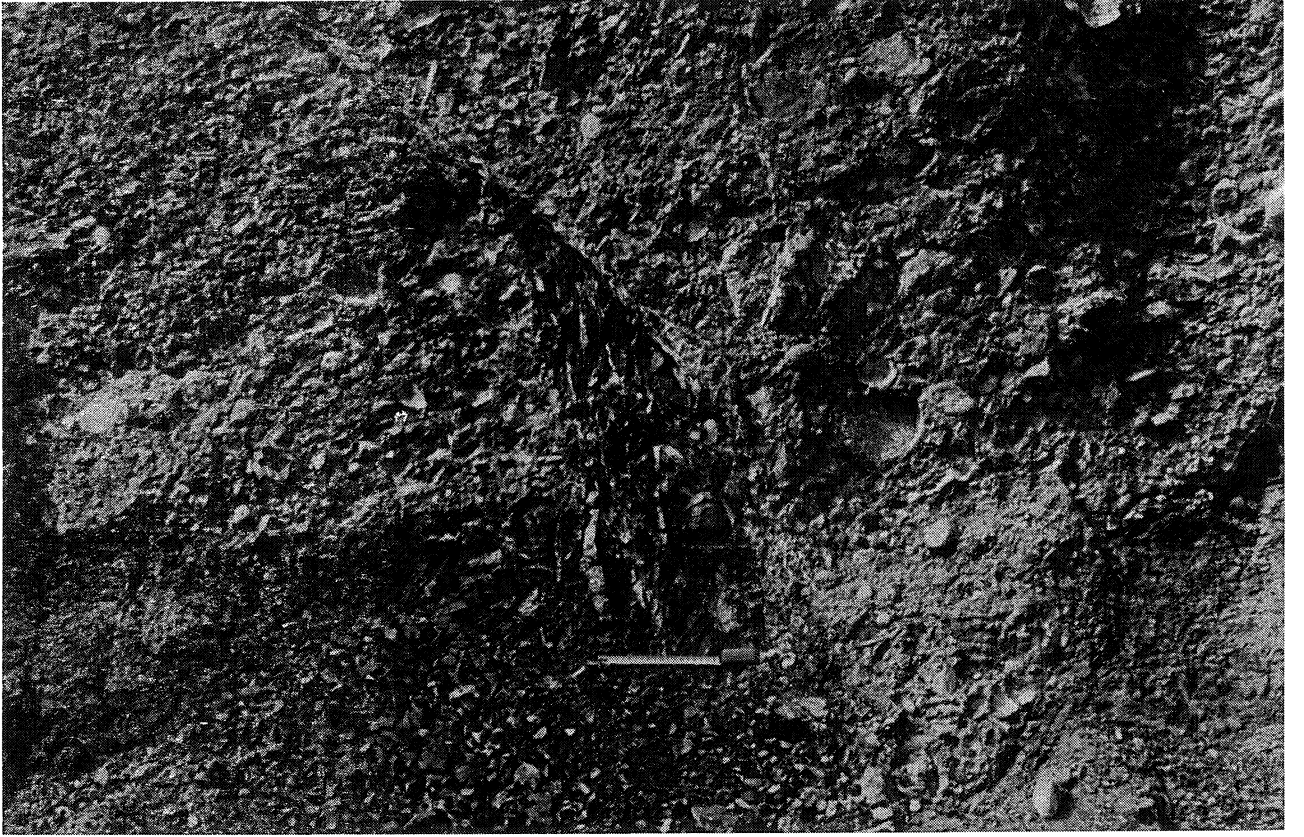
Figure 7. Profile view of structures cut Pleistocene age rocks in south of Eskişehir. The section trends N300. (See Figure 1b for location).

ne sokulmuştur. Bu kırık boyunca yükselen silt kırık yüzeyine paralel dilimlenmeler gösterir ve içinde kırığa paralel karbonat dolgulu damarlar mevcuttur (Şekil 8). Bu silt sokulumu büyük depremler sırasında yaygın olarak görülen sıvılaşıma (örneğin, Munson ve diğ. 1995; Hibsich ve diğ. 1997) ile açıklanabilir ve bu tür deformasyonlara neden olan depremin şiddeti $I_0 \geq VIII$ civarındadır (Michetti ve Hancock 1997). Silt birimi, kırıklar boyunca yükselen su ile temas halindedir. Bünyesinde su bulunan silt deprem sırasındaki sarsıntı esnasında sıvılaşarak akıcılık kazanmış ve kırık boyunca yukarıya doğru yükselmiştir. Bu kırıktaki aktivite çamurtaşı yerleşip tekrar katılaştıktan sonra da devam etmiştir çünkü çamurtaşı sokulumu ana fay yüzeyine paralel ikincil faylarla dilimlenmiştir (Şekil 8).

Eskişehir ve İnönü havzalarının güneyinde Kuvarterner yaşlı birimleri kesen ve kuzeydeki blokların düşmesine neden olan fayların doğrultuları, genel doğrultusu BKB-DGD olan Eskişehir fay zone ile uyumluluk gösterir ve bu doğrultudaki faylarda sağ yönlü doğrultu bileşeni hakimdir. Ayrıca, KD-GB yönünde de bindirmeler gelişmiştir (Şekil 6c). Şekil 9'da görüldüğü gibi, KKD-GGB ve BKB-DGD doğrultusunda doğrultu atımlı fayların ve KD-GB doğrultusunda bindirmelerin oluşması KB-GD yönünde

ikincil sıkışmanın sonucudur. BKB-DGD doğrultulu faylarda normal bileşenin de olması KD-GB yönünde ikincil çekme kuvvetinin olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 9). Eskişehir fay zoneunun sağ yönlü doğrultu atımlı ve normal bileşenli fay zone olduğu Şengör ve diğ. (1985), Şaroğlu ve diğ. (1992) ve Barka ve diğ. (1995) tarafından ortaya konmuştur. Bu çalışmada, Kuvarterner birimlerini kesen ve Eskişehir ve İnönü havzalarının güney kenarlarını sınırlayan faylarda bu kinematik özellik arazi gözlemleri ile doğrulanmıştır. Önceki çalışmalar ile uyumluluk gösteren bu gözlemlere dayanarak Eskişehir ve İnönü havzalarının oluşumunda önemli rol oynayan Eskişehir fay zoneunun transtansiyonal olduğu söylenebilir.

Mevcut deprem kataloglarına göre (örneğin, Ergin ve diğ. 1967; Soysal ve diğ. 1981) tarihsel dönemlerde (1900 yılından önceki dönemlere ait) bu bölgede önemli deprem kaydı yoktur. 20 Şubat 1956 depremi ($M=6.4$) Eskişehir fay zoneu üzerinde son 100 yılda kayıt edilmiş en önemli depremdir (Tablo 1). Bu depremde en ağır hasar Çukurhisar ve Satılmış çevresinde (Şekil 1b) görülmüş ve Öcal (1959) depremin merkez üssünün Çukurhisar çevresinde olduğunu ortaya koymuştur (Şekil 2). Depremin makro- ve mikrosismik etüdünü yapan Öcal (1959) deprem sırasında yü-



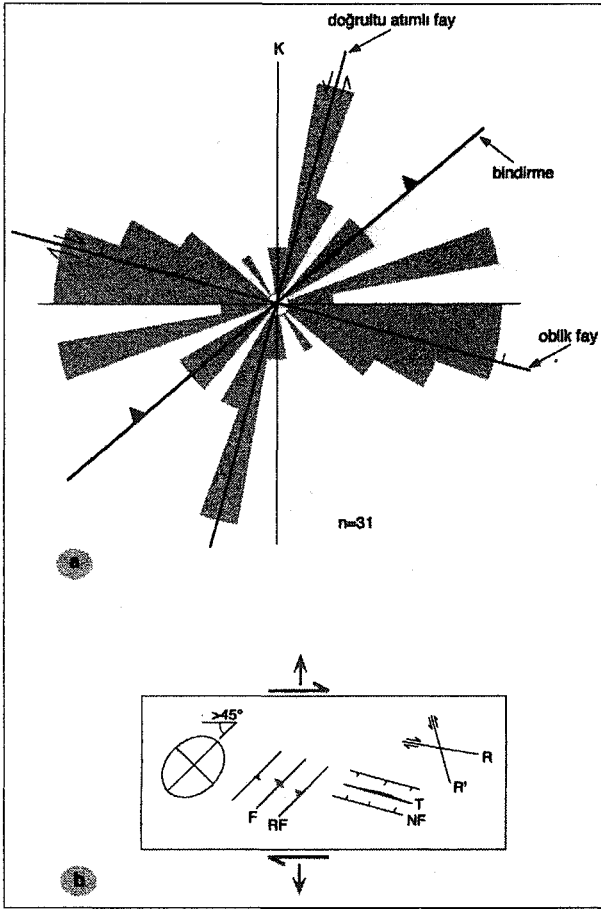
Şekil 8. Konglomera ve çamurtaşı birimlerini kesen kırık boyunca alttaki çamurtaşının sıvılaşarak yukarıya doğru yükselmesi. Yükselen silt içinde kırık yüzeyine paralel karbonat dolgulu damarlar ve dilimlenmeler görülmektedir. (Lokasyon için Şekil 7'ye bakınız).
 Figure 8. Liquefaction in mudstones. Mudstone rised up along a fault that cuts conglomerate and mudstone. Carbonate filled veins developed within the silt. (See Figure 7 for location).

zey kırığı oluşup oluşmadığından bahsetmemektedir. Zaten Öcal (1959), bazı maddi imkansızlıklar nedeniyle deprem bölgesine giderek tetkik gezisi yapamadığını, depremin hissedildiği saha içinde bulunan resmi kurumlara gönderdiği anketlerden, gazetelerden ve ilgili yerlerden aldığı hasar cetvellerinden faydalanarak çalışmasını yaptığını bildirmektedir. Depremin meydana geldiği Şubat ayında Eskişehir bölgesinde kış mevsimi hakimdir ve bölgenin karla kaplı olması veya yağmurlu ve çamurlu olması ihtimali yüksektir. $M=6.4$ büyüklüğündeki 1956 Eskişehir depreminin en az 10 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşturması beklenebilir. Ancak, 1950'li yıllardaki ulaşım ve diğer imkanlar gözönüne alındığında çevrede yüzey kırığı araştırmanın veya haritalamanın olmaması doğaldır. Öcal (1859) depremin merkez üssünün Çukurhisar çevresinde olduğunu ortaya koymuştur ancak hangi fay üzerinde olduğundan bahsetmemektedir. 20 Şubat 1956 depremi muhtemelen Çukurhisar'ın güneyinde Oklupal-Turgutlar arasında uzanan segment (Şekil 1b) üzerinde meydana gelmiştir. Bu segment

boyunca taze fay yüzeyi yoktur ancak, Sarısu suyunun aktığı havzanın tabanı ile güneydeki yüksekliklerin kesiştiği yerde BKB-DGD doğrultusunda yüksekliği 1 m'ye varan ve süreklilik sunan topoğrafik farklılık vardır. Bu topoğrafik farklılığın muhtemelen faylanmanın bir sonucu olduğu düşünülmektedir. İnönü-Sultandere arasında tesbit edilen taze fay yüzeyleri kuzeye doğru eğimlidirler. Fay yüzeylerinin ortalama eğimleri 70° kabul edilirse Oklupal-Turgutlar arasındaki segment üzerinde meydana gelecek bir depremin merkez üssü Çukurhisar çevresinde olacaktır. Dolayısıyla bu verilerden 20 Şubat 1956 depreminin Oklupal-Turgutlar arasındaki segment üzerinde yüzey kırığı oluşturduğu anlaşılmaktadır.

Eskişehir fay zonu üzerinde deformasyon hızı düşüktür (Barka ve diğ. 1995) bu da büyük depremlerin tekrarlanma aralıklarının geniş olmasına neden olur. Eskişehir fay zonu birbirini takip eden geometrik segmentlerden oluşmuştur ve bir fay zonu oluşturan segmentler farklı zamanlarda kırılabilirler. Eskişehir fay zonunun İnönü-Sultandere arasında uzanan segmentlerinden her

ESKİŞEHİR FAY ZONUNUN NEOTEKTONİK AKTİVİTESİ



Şekil 9. (a) İnönü-Sultandere arasında tesbit edilen fay yüzeylerine ait gül diyagramı, (b) Doğrultu atımlı transtansiyonel fay zonundaki yapıların yüzey izlerini gösteren yatay kesit. F kıvrım, RF ters fay, NF normal fay, T tansiyon çatlakları, R ve R'Riedel shears, (Sanderson, and Marchini 1984).

Şekil 9. (a) Rose diagram of faults that observed between İnönü and Sultandere. (b) Horizontal view of structures that can develop within a transtensional fault zone. F fold, RF reverse fault, NF normal fault, T tension fissure, R and R'Riedel shears. (From Sanderson and Marchini 1984).

biri (Şekil 1b) potansiyel deprem riski oluşturmaktadır ancak, Turgutlar-Eskişehir arasında uzanan segment deprem riskinin en fazla olduğu segment olarak düşünülmektedir.

SONUÇLAR

BKB-DGD doğrultulu Eskişehir fay zonu sağ yönlü doğrultu atımlı normal bileşenli bir fay zonudur ve Sultandere ile İnönü arasında birbirini takip eden segmentler halinde uzanır. Fay zonunun Holosen ve Pleyistosen yaşlı birimleri kesmesi ve bu birimler içinde depolanma sırasında meydana gelmiş (syndepositional) yapıların bulunması faydaki aktivitenin devam ettiğini göster-

mektedir. Fay zonu üzerinde 20. yy da magnitudü 4 ve üzerinde ($M > 4$) çok sayıda deprem meydana gelmiştir ve 20 Şubat 1956 depremi ($M = 6.4$) bu yüzyılda meydana gelen en büyük depremdir. Bu deprem, muhtemelen Çukurhisar'ın güneyindeki BKB-DGD doğrultulu yaklaşık 10 km uzunluğundaki segment üzerinde meydana gelmiştir. Pleyistosen birimleri içinde görülen silt daykaları ve fay yüzeyleri önünde Holosen birimlerinin depolanmasının kesintiye uğraması bölgede Holosen döneminde (son 10 000 yıl içinde) en az 20 Şubat 1956 depremi büyüklüğünde birkaç depremin olduğunu göstermektedir.

Eskişehir ve İnönü havzalarının oluşmasında önemli rol oynayan Eskişehir fay zonu Sultandere ile İnönü arasında deprem potansiyeline sahip segmentlerden oluşur ve bu segmentlerden deprem riski en fazla olan Oklbal-Turgutlar arasında uzanan segmenttir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Osmangazi Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Altunel, E. ve Hancock, P.L., 1993. Active fissuring faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey. In: *Neotectonics and Active Faulting* (edited by Stewart, I.S., Vita-Finzi, C. & Owen, LA.) *Zeitschrift Geomorphologie Supplementary Volume*, 94,285-302.
- Barka, A., Reilinger, R., Şaroğlu, F. ve Şengör, A.M.C., 1995. The Isparta angle: its importance in the neotectonics of the eastern Mediterranean region. *IESCA-1995 Proceedings*.
- Dewey, J.F. ve Şengör, A.M.C., 1979. Aegean and surrounding regions: Complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 90, 84-92.
- Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z., 1967. *A catalog of Earthquake for Turkey and Surrounding Area* (11 A.D. to 1964 A.D.). ITU Faculty of Mining Engineering, Istanbul, Turkey.
- Gözler, M.Z., Cevher, F. ve Küçükyaman, A., 1984. Eskişehir civarının jeolojisi ve sıcak su kaynakları. *MTA Dergisi*, 103,40-54.
- Hibsch, C., Alvarado, A., Yepe, H., Perez, J.H. ve Sebrer, M., 1997. Holocene liquefaction and soft-sediment deformation in Quito (Ecuador): a paleoseismic history recorded in lacustrine sediments. *Journal of Geodynamics*, 24,259-280.
- Jackson, J., 1994. Active tectonics of the Aegean region. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 22, 239-271.

- Jackson, J.A. ve McKenzie, D., 1988. The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East. *Geophys. J.*, 93,45-73.
- McKenzie, D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. JM. astr. Soc.*, 30, 109-185.
- McKenzie, D., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophys. J. Astr. Soc.*, 55, 217-254.
- Michetti, A.M. ve Hancock, P.L., 1997. Paleoseismology: understanding past earthquakes using Quaternary geology. *Journ. of Geodynm.*, 24, 3-10.
- Munson, P.J., Munson, C.A. ve Pond, E.C., 1995. Paleoliquefaction evidence for a strong Holocene earthquake in south-central Indiana. *Geology*, 23, 325-328.
- Öcal, N., 1959. 20 Şubat 1956 Eskişehir zelzelesi'nin makro-ve mikrosismik etüdü. *İTÜ Sismoloji Enstitüsü Yayım*, 49 s.
- Reilinger, R., Oral, B., King, R., McClusky, S., Toksöz, N., Barka, A., Şahin, M., Özyaydm, D., Kınık, İ., Şanlı, t., Prilepin, M., Balassanian, S., Kotzev, V., Georgiev, I., Tealeb, A., Melzer, Y. ve Mencin, D., 1996,1996 GPS measurements in the Eastern Mediterranean and Caucasus. Fall Meeting 1996. G31A-08.
- Sanderson, J.D. and Marchini, W.R.D., 1984. Transpression. *Journal of Struc. Geol.*, 6,449-458.
- Sibson, R.H., Moore, J. McM. and Rankin, A.H., 1975. Seismic pumping-a hydrothermal fluid transport mechanism. *Jour. Geol. Soc. London*, 131, 653-659.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. ve Altınok, Y., 1981. *Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Katalogu* (M.Ö. 2100-M.S. 1900). TÜBİTAK yayınları.
- Stewart, I.S. ve Hancock, P.L., 1994. Neotectonics. in: *Continental Deformation* (Ed. by P.L. Hancock), Pergamon Press, Oxford, 370-409.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A. 1992. 1: 1 000 000 Türkiye diri fay haritası. MTA, Ankara.
- Şengör, A.M.C., 1982. Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler, in: *Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Paneli* (Ed: by Erol, O. ve Oygür, V.), 59-71. *Türkiye Jeoloji Kurultayı-1982*.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. ve Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: *Strike-Slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation* (edited by Biddle, K.T. & Christie-Blick, N.). *Soc. of Eco. Paleo. and Min. Spec. Publ.*, 37, 227-264.

Makalenin geliş tarihi: 17.01.1998

Makalenin yayına kabul edildiği tarih: 19.05.1998

Received January 17,1998

Accepted May 19,1998