

## Kütahya Fay Zonu'nun Holosen Aktivitesi

### *Holocene Activity of Kütahya Fault Zone*

Sevgi ALTINOK<sup>1</sup>, Volkan KARABACAK<sup>1</sup>, Cahit Çağlar YALÇINER<sup>2</sup>  
A.Nejat BİLGİN<sup>3</sup>, Erhan ALTUNEL<sup>1</sup>, Nafiye Güneç KIYAK<sup>4</sup>

1. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir (saltinok@ogu.edu.tr)
2. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Çanakkale
3. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Arkeoloji Bölümü, Kütahya
4. Işık Üniversitesi, Fizik Bölümü, İstanbul

### ÖZ

Batı Anadolu Açılma Bölgesi'nin kuzeydoğu sınırında bulunan Kütahya Havzası BKB-DGD doğrultusunda uzanan bir çöküntü alanıdır ve güney kenarı belirgin bir morfoloji ile Kütahya Fay Zonu tarafından sınırlanmaktadır. Kütahya Fay Zonu boyunca jeolojik, jeomorfolojik ve jeofizik verilerden yararlanılarak yapılan çalışmalar sonucunda bu zonun, kuzey bloğun düştüğü normal fay geometrisine sahip 5 ayrı uzanımdan oluştuğu ve K50-70B doğrultusunda yaklaşık 22 km uzunluğa sahip olduğu ortaya konulmuştur. Paleosismolojik ve arkeosismolojik çalışmalar ise bu uzanım boyunca son 8000 yıl içinde yüzey kırığı oluşturan en az iki depremin meydana geldiğini ortaya koymaktadır. Bu depremlerden ilki M.Ö. 6000'li yıllarda, sonuncusu ise M.Ö. 1800'lü yıllarda Seyitömer Höyüğü'nde hasar oluşturan ve höyüğün terk edilmesine neden olan depremdir. Dolayısıyla, bu çalışmalar Kütahya Havzası'nın güneyini sınırlayan Kütahya Fay Zonu'nun Holosen'de tekrarlanan yıkıcı depremler ürettiğini ve geometrisi gözönünde bulundurulduğunda gelecekte de en az 6.5 büyüklüğünde deprem üretme potansiyeli bulunduğunu ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Arkeosismoloji, Batı Anadolu, Kütahya Fay Zonu, Paleosismoloji.

### ABSTRACT

Kütahya Basin which is located near the northeast boundary of the Western Anatolia Extension Region is a depression area that extends in WNW-ESE direction. Southern margin of the basin is bounded by a distinct fault morphology called Kütahya Fault Zone. Geological, geomorphological and geophysical studies on the Kütahya Fault Zone show that this zone consists of 5 different fault branches. Total length of the mapped fault zone is about 22 km in N50-70W direction. Paleoseismological and archeoseismological studies show that there are at least two surface rupturing earthquakes during the last 8000 years. First

*earthquake was occurred around 6000 BC and the last one was around 1800 B.C. after which the Seyitömer Tell was abandoned. Thus, this study indicates that the Kütahya Fault Zone has produced destructive earthquakes during Holocene and considering the length of the fault zone, it is possible to suggest that the fault zone has earthquake potential at least 6.5 magnitude.*

**Keywords:** *Archaeoseismology,, Kütahya Fault Zone, Paleoseismology, Western Anatolia.*

## GİRİŞ

Batı Anadolu, tektonik olarak dünyanın önemli aktif açılma alanlarından biridir. Bölgede erken Miyosen-Pliyosen zaman aralığında başladığı ileri sürülen bu tektonik rejim, D-B doğrultusunda gelişmiş fay zonlarının yer aldığı bir açılma bölgesi oluşturmaktadır (Dumont vd. 1979, Angelier vd. 1981, Şengör 1987, Seyitoğlu ve Scott 1991, 1992, Cohen vd. 1995, Koçyiğit vd. 1999, Yılmaz et al. 2000, Alçiçek vd. 2005). Kütahya Fay Zonu (KFZ)'nin da içerisinde bulunduğu KB-GD uzanımlı fay sistemleri ise bu geniş açılma bölgesi ile doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) arasındaki geçiş bölgesinde yer almakta ve Batı Anadolu açılma bölgesinin KD sınırını oluşturmaktadır (Şekil 1.a.).

KFZ, Kütahya şehir merkezinin yakın güneyinde BKB-DGD doğrultusunda uzanan ve belirgin bir morfoloji sunan Kütahya Havzası'nın güneyini sınırlamaktadır (Şekil 1.b). Şaroğlu vd. (1987, 1992), Koçyiğit ve Bozkurt (1997) ve Bozkurt (2001) KFZ'nu aktif bir fay olarak haritalamış ve bu zon içerisindeki fayların Neojen yaşlı kaya topluluklarını ve Kuvaterner yaşlı çökelleri kestiğini ileri sürmüşlerdir (Şekil 1.b). Dahası Barka ve Reilinger (1997)'da GPS hızları ve sismik aktivite verilerini değerlendirerek yaptıkları çalışmalarında, KFZ'ndan Batı Anadolu'daki başlıca faylanmalardan biri olarak söz etmekte ve aktif bir fay olarak nitelendirmektedirler. Daha önce yapılan çalışmalarda bazı araştırmacılar aktivitesi konusunda hemfikir olsalar da, KFZ'nun türü hakkında farklı görüşler öne sürmüşlerdir. Örneğin, Şaroğlu vd. (1987) çalışmalarında

fayın, kuzey bloğun düştüğü eğim atımlı normal bir fay niteliğinde olduğundan söz etmektedir. Ancak özellikle batı bölümünde doğrultu atım morfolojisi taşıdığına dikkat çekerek bu özelliği göz önüne alındığında fayın eğim atımının yanı sıra sağ yönlü doğrultu bileşeninin de olduğunu belirtmektedir. Koçyiğit ve Bozkurt (1997) ve Bozkurt (2001, 2003) yaptıkları çalışmalarında KFZ'nun ana karakteristiğinin normal fay olduğu fikrini beyan etmektedirler. Gürer vd. (2005) ise KFZ'nun sol yanal bileşenli normal bir fay niteliğinde olduğunu ileri sürmektedir.

Çağlar boyu önemli antik yerleşimlerin kurulduğu Batı Anadolu'da tarihsel dönemlerde çok sayıda yıkıcı deprem meydana gelmiş, bu depremler doğal yapılarda olduğu gibi, antik yerleşimlerin tarihinde de izler bırakmıştır. Tarihsel kaynaklara (Örneğin Ergin vd., 1967; Guidoboni vd., 1994; Ambraseys ve Finkel, 1995) ve aletsel deprem kayıtlarına (Tan vd. 2008) bakıldığında KFZ üzerinde kayıt edilmiş büyük bir deprem bulunmamaktadır. Bununla birlikte, tarih boyunca pek çok medeniyetin geçiş güzergahı olmuş ve bu medeniyetlere ev sahipliği yapmış Kütahya Havzası çevresinde tarihsel dönemlerde meydana gelmiş yıkıcı depremlerle ilişkili olabilecek bazı arkeolojik izler bulunmaktadır.

Bu çalışmada, KFZ boyunca Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 15 km güneydoğusu ile 25 km kuzeybatısı arasında kalan alanda jeolojik, jeomorfolojik, sığ jeofizik ve paleosismolojik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen veriler ile Kütahya'nın yaklaşık 25 km kuzeybatısında yer alan antik yerleşim yerinde

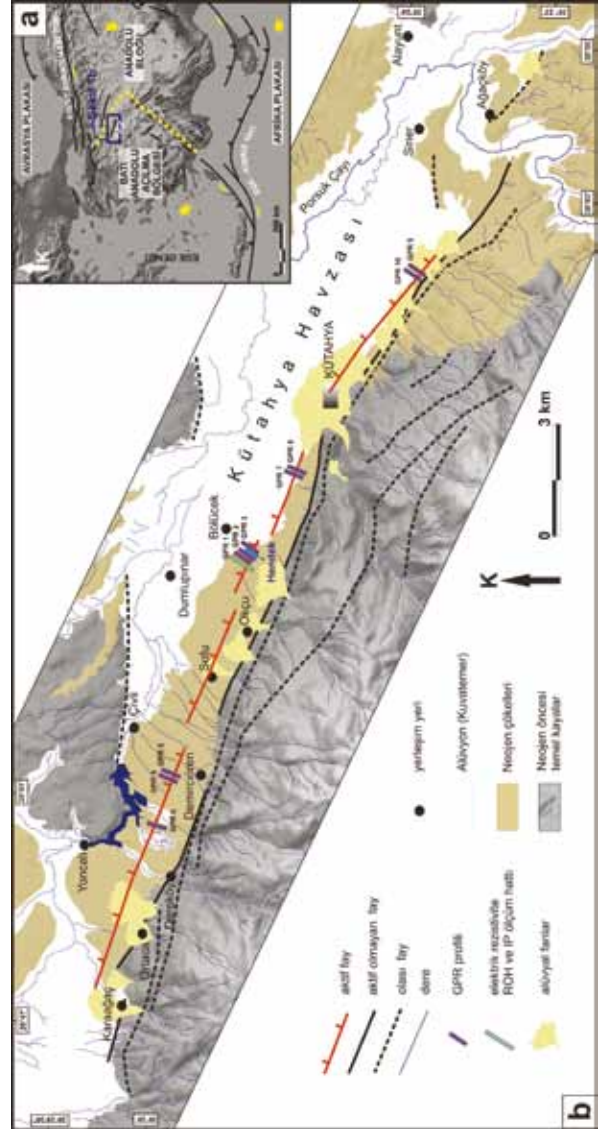
bulunan arkeolojik kalıntılardan elde edilen veriler birlikte değerlendirilerek yorumlanmıştır. Böylece, KFZ ve ilişkili yapılar Kütahya havzası içinde kalan kesiminde haritalanarak, aktivitesi, geometrisi ve deprem parametreleri ortaya konulmuştur.

## JEOLJİK VE JEOMORFOLOJİK GÖZLEMLER

KFZ, Batı Anadolu Açılma Bölgesi'nin kuzeydoğu sınırında, K60B doğrultusunda yaklaşık 40 km boyunca uzanan ve belirgin çöküntü morfolojisi sunan Kütahya Havzası'nın güneyini sınırlamaktadır (Şaroğlu vd., 1987, 1992). Bu kesiminde Kuvaterner öncesi kayaların temel oluşturduğu belirgin bir topografik yükselim ile sınırlanan havzanın kuzey kesiminde ise nispeten daha düşük bir topografik yükselti, bölgeye bir çöküntü alanı özelliği kazandırmaktadır. Kuvaterner çökellerinin doldurduğu Kütahya Havzası bu yükseltiler arasında geniş bir düzlük sunmaktadır (Şekil 1.b).

Bu çalışma kapsamında, havzanın güneyini ve kuzeyini sınırlayan bu çizgisellikler ayrıntılı incelenmiştir. Havza kuzeyinde yapılan arazi çalışmaları, ana kayalarda fayların bulunduğunu, ancak bu fayların Pliyosen ve sonrası birimleri kesmediğini ortaya koymuştur. Dolayısıyla, havzanın kuzeyinde aktif bir zonun varlığına rastlanılmamıştır. Önceki çalışmalarda (Koçyiğit ve Bozkurt, 1997) genel anlamda Kütahya Havzası'nın güneyini sınırlayan keskin çizgiselliklerin fay kontrollü olduğu ileri sürülmüştür. Bu çizgisellik, Neojen ve öncesi jeolojik birimlerin de dokanağını oluşturan eski fay düzlemleridir (Şekil 2a). Bu düzlemlerin üzerinde bulunduğu çizgisel hat boyunca aktif faylanmaya ait veriler (örneğin, Kuvaterner çökellerini kesme ilişkisi, drenaj sistemi kontrolü

gibi) gözlemlenemediği için bu faylar aktif olmayan faylar olarak ele alınmıştır (Şekil 1.b).



Şekil 1. a. Kütahya Fay Zonu'nun konumu, b. Çalışma alanının ayrıntılı jeoloji haritası

Figure 1.a. Location of the Kütahya Fault Zone b. Detailed geological map of the study area.

Genellikle fay düzlemleri ile temsil edilen havza güneyindeki bu sarplığın birkaç yüz metre kuzeyinde bulunan bir diğer morfolojik yapı ise

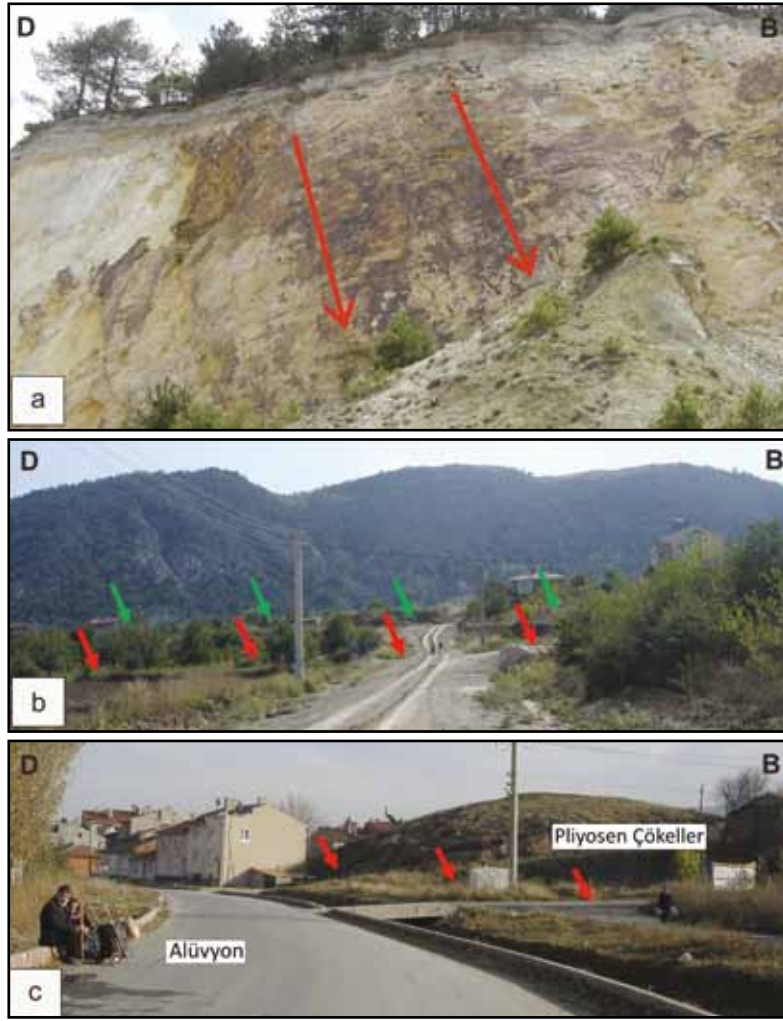
(Şekil 2.b), bu uzanımın aktif faylanma sonucu oluşmuş olabileceğini gösteren bazı veriler sunmaktadır. Her ne kadar şehir merkezinde yoğun yapılaşmadan dolayı faylanmaya ait doğrudan gözlemler yapılamasa da, birbirine paralel sokaklarda gözlenen ani kot değişimi aynı doğrultu boyunca uzanmaktadır. Belirgin şekilde izlenebilen bu kot değişimleri şehir merkezinin üzerinde yerleştiği Kuvaterner çökellerde, insan müdahalesine rağmen, yaklaşık 1 ile 3 metre arasında değişen düşey yer değiştirmenin varlığına işaret etmektedir (Şekil 2b ve 2c). Haritaya konulduklarında belirli bir doğrultu boyunca takip edilebilen bu morfolojik sarplıkların güneydeki aktif olmayan fay düzlemlerine az çok paralel oluşları, yüksekliklerinin doğrultu boyunca benzer değerlere sahip olmaları bu uzanımın aktif faylanma sonucu oluşmuş olabileceğini gösteren verilerdir.

## **SIĞ JEOFİZİK ÇALIŞMALAR**

Çalışma alanında yapılan jeolojik ve jeomorfolojik gözlem lokasyonları harita üzerine işaretlendiğinde, belirli bir doğrultu üzerinde dizildiği dikkati çekmektedir. Özellikle

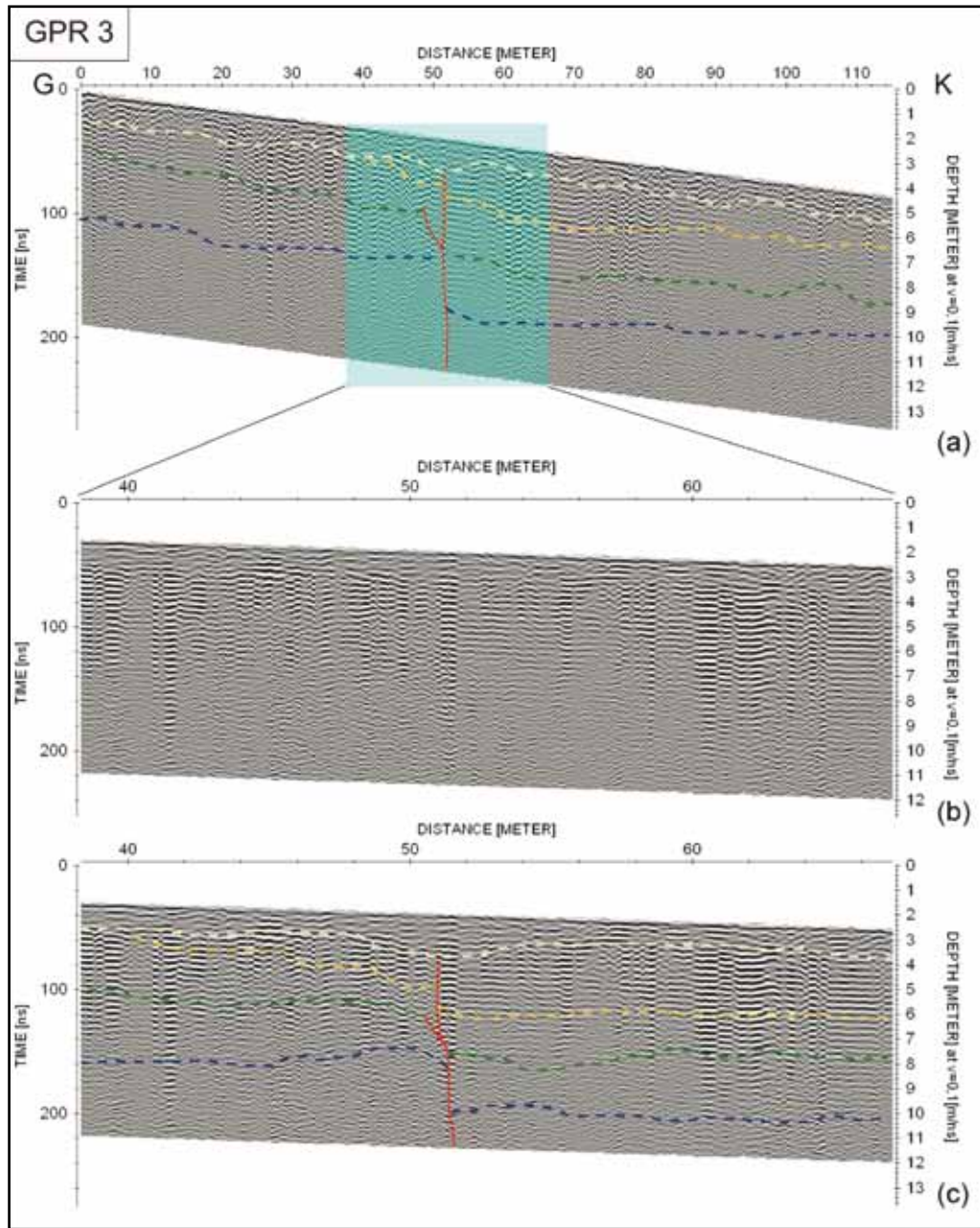
morfolojide görülen ani değişimlerin yüzeysel mi yoksa derine doğru uzanan bir jeolojik yapı mı olduğunu belirlemek amacıyla siğ jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla belirlenen 5 ayrı lokasyonda 250 MHz 'lik anten ile morfolojide görülen yapıyı dik şekilde kesen GPR (Ground Penetrating Radar) profil bilgileri toplanmış, detay taramaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ham veriler çeşitli filtreler kullanılarak işlenmiş ve profiller yorumlanmıştır. Her bir profilde yüzeyden maksimum 9 metre derine inilmiştir ve 250 MHz antenin hata payı yatayda  $\pm 10$  cm dir.

GPR profillerinde birimlerin litolojik özelliklerine bağlı olarak elde edilen kontrastlardan yararlanılarak yatay reflektörler belirlenmiştir. Yorumlanmış profillerde gözlenen yatay reflektörler, farklı stratigrafik seviyelerin alt sınırlarını oluşturmaktadır ve bu seviyeler şekillerin üzerinde kesikli çizgilerle mavi, yeşil, turuncu ve sarı renklerde gösterilmiştir (Şekil 3.a). Bu profillerde gözlenen kırmızı renkteki çizgilerin bulunduğu kesim ise olası süreksizlik zonu olarak yorumlanmıştır. Bu makalede örnek olarak, süreksizlik zonu ve stratigrafik birimlerin en iyi şekilde gözlenebildiği 3 numaralı GPR profilinin yorumlanmış şekli verilmiştir (Şekil 3.c).



- Şekil 2. a.** Evliya Çelebi Mahallesi'nin güneyini sınırlayan fay aynası. Bakış yönü yaklaşık güneydir ve kırmızı oklar fay aynası üzerindeki çizik ve olukların yönünü göstermektedir (GPS Koordinatları: Y: 753535.49 X:4368304.26).
- b. Kütahya şehir merkezi batısında aktif ve aktif olmayan faya ait morfoloji (yeşil oklar Pliyosen öncesi-üst Pliyosen sınırını oluşturan eski fay düzlemini, kırmızı oklar üst Pliyosen-Kuvaterner sınırını oluşturan aktif fay morfolojisini göstermektedir). Bakış yönü güneye doğrudur (GPS Koordinatları: Y:752908.49 X:4369540.25).
- c. Kütahya şehir merkezi yakınlarında fay uzanımı üst Pliyosen çökelleri ile Kuvaterner alüvyonların kontağını oluşturmaktadır. Kırmızı oklar bu iki birim arasında kontağı oluşturan fayın doğrultusunu işaret etmektedir. Bakış yönü güneydoğudur (GPS Koordinatları: Y: 753488.49 X: 4368822.26).

- Figure 2.a** A North dipping fault plane near the Evliya Çelebi quarter. View towards south. Red arrows show the direction of fault slickenlines and grooves (GPS coordinates: Y: 753562.1 X:4368309).
- b. Morphology related to active and inactive faults at the western side of Kütahya city center (Green arrows indicate the old fault system which form the boundary of upper Pliocene and Pre-Pliocene). The view is towards to south (GPS coordinates: Y:752935.1 X:4369545).
- c. The extension of fault at near the city center of Kütahya is formed the boundary of Pliocene sedimentary and Quaternary alluvium. View towards southeast (GPS coordinates: Y: 753515.1 X: 4368827).



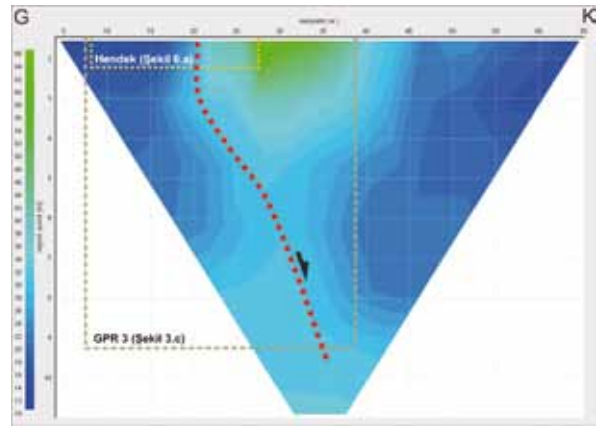
**Şekil 3.** Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 5 km kuzeybatısında 3. GPR profilinin alındığı lokasyon. a. İşlenmiş ve yorumlanmış GPR profili, b. İşlenmiş ve ayrıntı görüntü (Şekil 3.a'da mavi ile belirtilmiş alan), c. Ayrıntı görüntünün yorumlanmış şekli (kesikli çizgiler olası tabaka alt sınırını, kırmızı çizgiler süreksizlik zonlarını göstermektedir).

**Figure 3.** Location of the GPR Profile 3, approximately 5 km northwest of Kütahya city center. a. Processed and interpreted GPR profile, b. Detailed GPR image of the faulted part (blue area in figure 3.a) c. Interpretation of detailed image (discontinuous lines show the lower boundary of the layer, red lines show the zone of discontinuity).

Yeraltı radarı (GPR) ölçüm sonuçlarına göre birimlerin ve süreksizlik zonunun en net olarak gözlemlendiği GPR-3 profilinin bulunduğu lokasyonda, süreksizlik zonunun daha derinlere doğru devamlılığının araştırılması amacıyla elektrik özdirenç (rezistivite) (ROH) ve yapay polarizasyon (uçlaşma) (IP) çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen ham profiller ölçekli hale getirilerek yorumlamalar kolaylaştırılmıştır. 24 adet elektrotun zemine 3'er metre aralıklı dizilimiyle yapılan Dipol-Dipol-ROH ölçümünden elde edilen görüntüde 72 metrelik profilin 20. metrelerinde kırmızı çizgi ile gösterilen kısım KFZ'na ait süreksizliği göstermektedir (Şekil 4). Yaklaşık 70 metrelik profilin başlangıç noktası güney bitiş noktası ise kuzey yönündedir. Profil dikkatle incelendiğinde kırmızı çizgi ile belirtilen süreksizliğin her iki tarafında gözlenen mavi renkteki yataya yakın tabakalı birimlerin varlığı ve süreksizliğin kuzey tarafındaki birimlerin güneydekilere oranla daha aşağıda devam ettikleri net olarak tespit edilmiştir (Şekil 4). Rezistivite profilinde yeşil rengin gözlemlendiği alan, süreksizliğin kuzey kesimindeki bloğun düştüğü ve bu alanda farklı bir malzemenin biriktiği görüntüsünü vermektedir. Yeşil ile gösterilen özdirenç değerinin mavi alanlara göre daha yüksek özdirenç değerlerini simgelemesi, bu alanda daha kaba taneli ve/veya su içeriği daha düşük malzemeler çökeldiğini göstermektedir. Dolayısıyla rezistivite görünümü, kaba taneli kolüvyal çökellerle ön tarafının doldurulduğu normal faylanmaya bağlı bir morfolojiyi yansıtmaktadır Şekil 4'de Dipol-Dipol dizilimli-ROH ölçümünden elde edilen profil üzerinde sarı renkle belirtilmiş olan kesim arazide hendek çalışmasının yapıldığı yeri temsil etmektedir. Paleosismolojik çalışmalar kapsamında açılan hendek duvarlarının loglanması sonucu elde edilen görüntü hem Elektrik rezistivite ölçümünden elde edilen görünüm hem de arazide gözlenen fay morfolojisi ile tutarlıdır.

## PALEOSİSMOLOJİK ÇALIŞMALAR

Jeolojik, jeomorfolojik ve sığ jeofizik çalışmalardan elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucu Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 4 km kuzeybatısında Okçu ile Bölücek köyleri arasında Kuvaterner ile Üst Pliyosen yaşlı birimlerin sınırına yakın bir kesimde olası fay uzanımını dikine kesecek bir hendek kazısı yapılmıştır (Şekil 1.b ve 5).



**Şekil 4.** Dipol-Dipol dizilimli-ROH ölçümünden elde edilen elektrik rezistivite profili. Kırmızı çizgi profile görülen olası süreksizliği temsil etmektedir. Sarı noktalar ile çevrili alan süreksizlik üzerinde açılan hendek kazısını, yeşil kesikli çizgiler ile çevrili alan ise GPR 3 profilini göstermektedir.

**Figure 4.** Electric resistivity profile with Dipol-Dipol sequence ROH measurement. Red line represents the probable discontinuity. The area limited with yellow dots represents the location of the trench and the area limited with green discrete represents the location of GPR 3 profile.

Yaklaşık 35 metre uzunluk ve 2.5 metre derinlikte açılan bu hendeğin duvarlarında çok sayıda farklı sedimenter birim ayırt edilmiştir. Tam olarak pekişmemiş olan killi siltli birimler

hendek duvarının yaklaşık 17. metresinde aniden kesilmektedir (Şekil 6.a, 6.b ve 6.c). Bu kesimde, hendek tabanından itibaren 3 farklı sedimanter birim (kırmızı kumlu kil, çakıllı-killi yeşil silt ve altere sarı silt) yaklaşık 1.5 m yüksekliğe kadar net şekilde gözlenen fay boyunca benzer miktarlarda (yaklaşık 60 cm) ötelenmektedir. Bu fay uzanımı yüzeyden 30 cm derine kadar belli belirsiz uzanmaktadır. Bu kesimde, altere sarı silt üzerine gelen kum ara katkılı çakıl birimi ise daha az miktarda (yaklaşık 40 cm) yer değiştirme sergilemektedir. Bu birimdeki daha düşük yer değiştirme miktarı bu fay kolu üzerinde en az iki ayrı olayın varlığını göstermektedir (Şekil 6.a ve 6.b).

Bu çalışmada hendek duvarlarında görülen yer değiştirmelerin dolayısı ile geçmişte meydana gelen depremlerin tarihlerini tespit edebilmek amacıyla Optically Stimulated Luminescence (OSL) yaşlandırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem jeolojik olarak gömülen materyallerin gömülme tarihlerinin hesaplanmasında kullanılan, gün ışığına maruz kalan materyalin elektronlarını serbest bırakması temeline dayanarak yaş tayini yapılabilen bir yöntemdir.

OSL yaşlandırılması yapılmak üzere faylanmaların yaşlarını tayin edebilmek amacıyla hendek duvarının 3 farklı seviyesinden OSL1, OSL2 ve OSL3 adı verilen örnekler alınmıştır.



**Şekil 5.** Okçu hendeği genel görünümü. Kırmızı oklar morfolojik sarplığı ve hendeğin içerisinde fayın gözleendiği kesimi işaret etmektedir. Bakış yönü kuzeye doğrudur.

**Figure 5.** General view of the Okçu trench site. Red arrows indicate the area where we monitored the fault . View towards north.

Örneklerin alındıkları seviyeler arasındaki alt-üst ilişkisi yaş analizi sonuçlarını doğrular niteliktedir (Şekil 6.a). Alınan örneklerden elde edilen yaş

sonuçları Tablo 1'de verilmektedir. Hendek duvarında gözlenen muhtemel iki depremin ilki altere sarı silt biriminin çökmesi sonrasında



meydana gelmiştir. Bu birimin üst seviyelerinden alınan OSL 2 örneği (M.Ö. 6350±890) günümüzden yaklaşık 8000 yıl önce meydana gelmiş bir depremin alt sınırını vermektedir. Bu birim üzerinde çökelen ve göreceli olarak daha az bir yer değiştirme sergileyen kum ara katkılı çakıl birimi ise, çökeli mi sonrasında meydana gelen muhtemel bir diğer depremin alt sınırını vermektedir. Bu birim içerisinde alınan OSL 3 örneği (M.Ö. 5960±460) ise bu depremin M.Ö. 5000 yılından sonra meydana geldiğini göstermektedir. Bununla birlikte, kum ara katkılı çakıl biriminin üst sınırı bir aşınma düzlemi görüntüsü sunmaktadır. Bu durum daha genç depremin OSL 3 örneğinden çok daha sonra gerçekleşmiş olabileceğinin bir göstergesi olarak yorumlanmıştır.

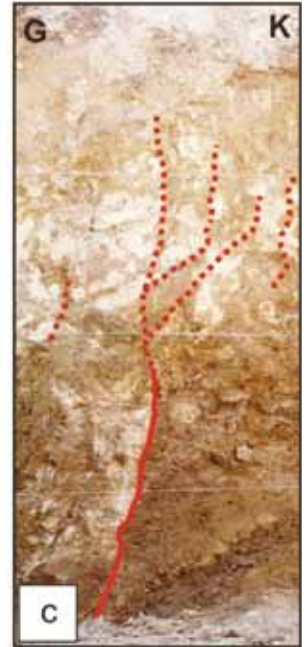
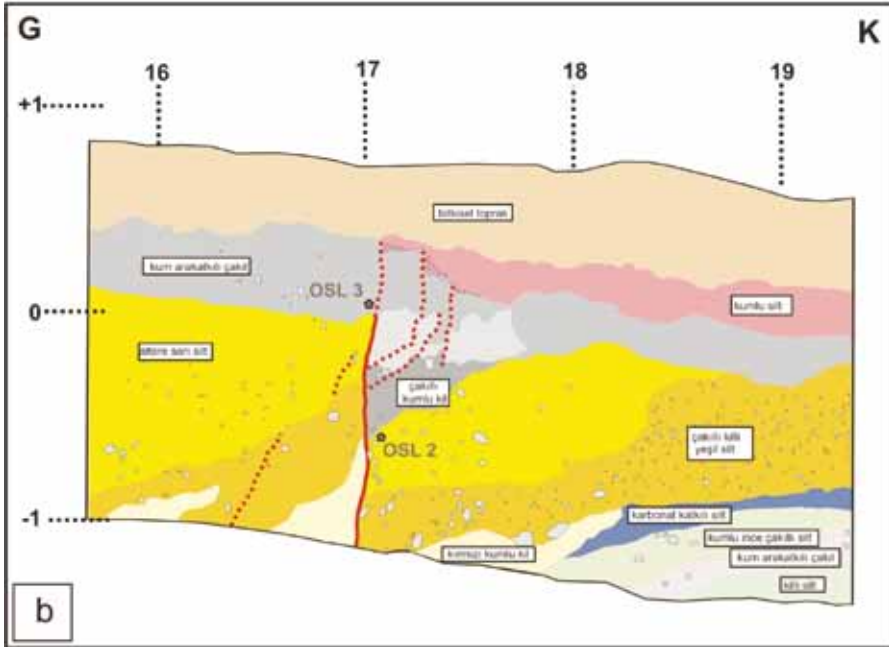
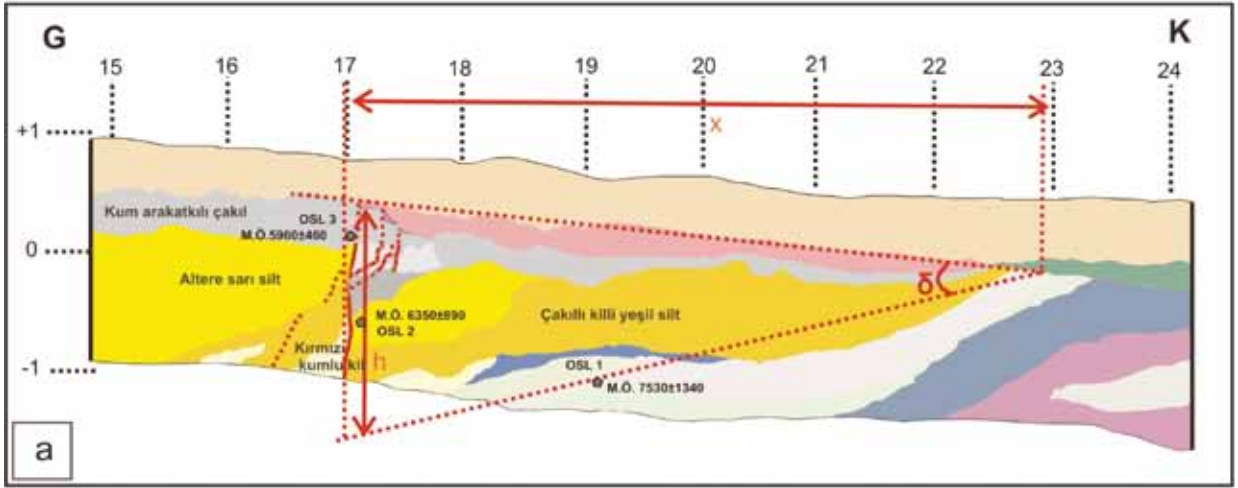
OSL 1 örneği fayın kuzeyinde, yani tavan blok kesiminde gözlenen güneye doğru 5° ile 20° arasında değişen eğimlere sahip birimlerden alınmıştır (Şekil 6.a). Bu örneğin yaşı M.Ö. 7530±1340'lı yılları vermiştir. Bu yaşlandırmaların sonuçları fay kinematığının anlaşılması açısından oldukça önemlidir ancak OSL 1 örneğinde olduğu gibi analizlerin bazılarının hata payları oldukça geniş bir zaman aralığını kapsayabilmektedir. Hendek tabanına yakın birimlerin faya doğru eğimli olmaları, birimlerin orijinal konumlarının değiştiğinin göstergesidir çünkü bu tür bir ortamda birimlerin yamaç eğimine az çok paralel çökelmeleri beklenir. Birimlerin güneye doğru eğimli olmaları muhtemelen fayın aktivitesine bağlıdır ve bugünkü eğimi kazanabilmeleri için fay düzlemi üzerinde yaklaşık 2 metrelik (h) bir düşey yer değiştirme meydana gelmiş olması gerekmektedir (Şekil 6.a). Güneye eğimli birimlerin yaşı yaklaşık 9540 (G.Ö.) yıldır (OSL 1). Bu süreçte meydana gelen 2 metrelik yer değiştirme bu fay üzerinde yıllık en az 0.2 mm düşey kayma hareketinin varlığını ortaya koymaktadır. OSL 2 ve OSL 3 örnekleriyle

yaşlandırılan iki ayrı faylanma ile bunlara ait yaş- yer değiştirme oranı analiz sonuçlarındaki (Tablo 1) hata oranı ile birlikte düşünüldüğünde sonuçlar görece uyumlu görülmektedir.

## ARKEOSİSMOLOJİK ÇALIŞMALAR

Bir bölgenin arkeosismolojik potansiyelinin araştırılmasında en önemli verileri yerleşik yaşama dair kalıntıları barındıran höyükler sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında bölgedeki yerleşimlerin en önemlilerinden olan, Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 25 km kuzeybatısında yer alan ve günümüzde üzerinde kazıların halen devam ettiği Seyitömer Höyüğü'nde arkeosismolojik gözlemler yapılmıştır (Şekil 7). Höyükteki kültür katmanlarında gözlenen hasarlar incelenerek mevcut hasarların geçmişte meydana gelen depremlerden kaynaklanıp kaynaklanmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Höyükte Geç-Orta ve Erken Tunç (M.Ö.3000- M.Ö. 1800) dönemine ait yaşam katının hemen her yerinde gözlenebilen yangın izleri mevcuttur (Şekil 8.a). Bu dönemde su terazisi gibi aletler kullanarak düzgün şekilde yapılmış olmaları beklenen yollar ve taban blokları çoğunlukla dalgalı hale gelmiştir (Şekil 8.a). Höyüğün Orta Tunç dönemine ait katmanı K80°B ve K50°B doğrultulu iki adet kırık tarafından boydan boya kesilmektedir (Şekil 8.b). Kırıklar yakından incelendiğinde eğimlerinin dike yakın olduğu ve üzerlerinde herhangi bir yer değiştirme olmadığı, açılma çatlakları oldukları görülmektedir (Şekil 8.b). Yine Tunç dönemi yapılarının duvarlarında şiddetli yer sarsıntısının karakteristik özelliği olan genelde güneye doğru devrilmiş sistematik yıkımlar dikkati çekmektedir (Şekil 8.c).



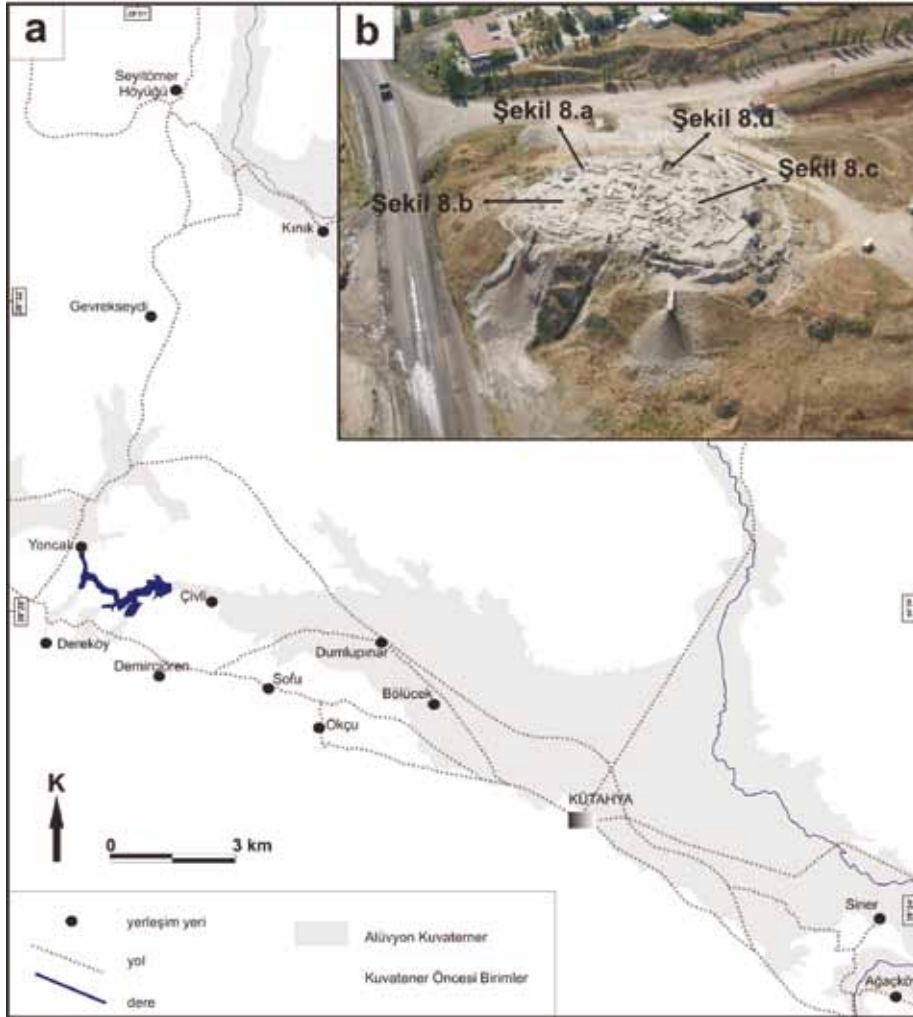
**Şekil 6.** a. Okçu hendeki batı duvarı logu 15-24. metreleri arasındaki log çizimi ve OSL örnekleri. OSL 1 örneğinin alındığı birim ile morfolojinin genel eğimi arasındaki  $\delta$  açısı ortalama  $20^\circ$  dir.  $\delta$  açısından yararlanılarak h ile gösterilen düşey yerdeğiştirme miktarı yaklaşık 2 metre olarak hesaplanmıştır. b. Okçu hendeki batı duvarı 16.-19. metreler arası ayrıntılı log çizimi. c. Hendek batı duvarında 17. metrede gözlenen faylanmaya ait izler (kırmızı çizgilerle gösterilmiştir).

**Figure 6.** a. Log of the western wall of Okçu trench, between 15 and 24 meters and OSL sample locations. The angle between the unit where the OSL 1 sample is taken and general slope is ( $\delta$ ) approximately  $20^\circ$ . Vertical offset (h) is calculated approximately 2 meter using the  $\delta$  angle. b. Detail log of the western wall of Okçu trench, between 16 and 19 meters. c. Faults at the western wall of trench.

**Çizelge 1.** Hendek ve Seyitömer Höyüğü'nden alınan numunelerin OSL yaş analiz sonuçları.

**Table 1.** OSL Dating results from trench and Seyitömer tell.

Örnek No	Yer	Derinlik (cm)	Yaş G.Ö. (binyıl)	Doz Gy	(n)	Hesaplanan
OSL1	Kütahya	160	9.54±1.34	30.11±4.22	11	M.Ö. 7530±1340
OSL2	Kütahya	130	8.32±0.50	26.33±1.55	14	M.Ö. 6350±890
OSL3	Kütahya	70	7.97±0.46	25.40±1.46	8	M.Ö. 5960±460
S1	Kütahya	-	3.88±0.10	12.66±0.30	13	M.Ö. 1870±100
S2	Kütahya	-	3.80±0.25	12.59±0.82	17	M.Ö. 1790±250
S3	Kütahya	-	3.93±0.12	13.03±0.36	12	M.Ö. 1920±120



**Şekil 7.** Kütahya Şehir merkezi ve Seyitömer Höyüğü'nün konumunu gösterir harita.

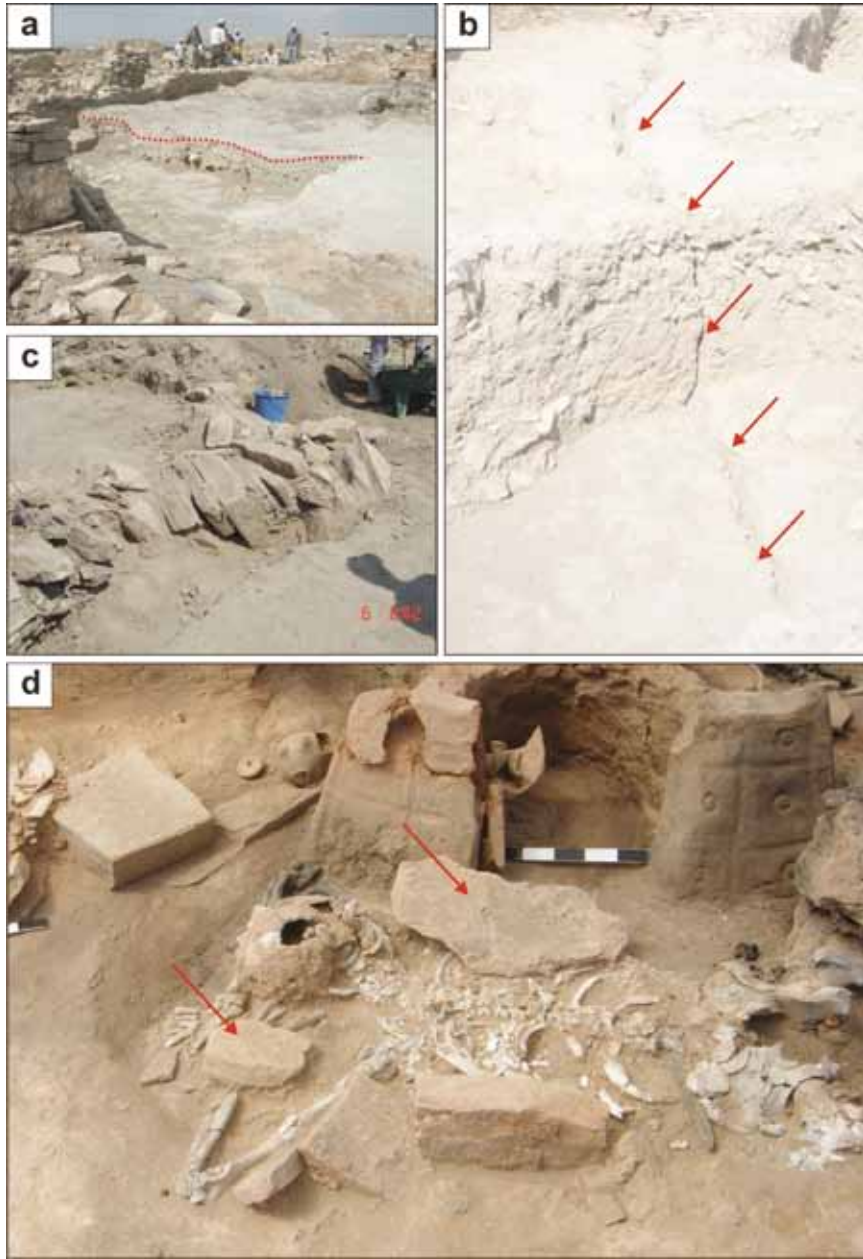
**Figure 7.** a) Map shows the Kütahya city center and location of the Seyitömer Tell. b) A view of the Seyitömer Tell.

Höyük alanında Orta Tunç dönemine ait yaşam seviyesinde kapalı mekânlar içerisinde insan iskeletleri ortaya çıkmıştır. İskeletlerin konumları göz önünde bulundurulduğunda, ani bir yıkımdan kaçış sırasında öldükleri şeklinde yorumlanmıştır. İskeletlerin üzerlerine düşmüş bloklar, böyle bir yıkım yorumunu destekler niteliktedir (Şekil 8.d).

Höyükte M.Ö.1800'lerde meydana gelen büyük yıkımın ardından yaklaşık 1300 yıllık bir dönem boyunca insan yerleşimine rastlanmamaktadır. Bu süreçte bölgede yerleşimin olmaması arkeologlarca höyükte yaşanan büyük

yıkım sonrası insanların bölgeyi terk etmiş oldukları şeklinde yorumlanmaktadır (G. Coşkun, 2009, sözlü görüşme). 1300 yıllık bu boşluğun ardından höyükte M.Ö. 500'lü yıllara tarihlenen Helenistik döneme ait kalıntılar bulunmuştur.

Höyükte hasarların gözlendiği yapıların yaşları her ne kadar yapıların karakteristik özelliklerine göre arkeologlarca belirlenebilmişse de bu yıkımdan ötürü hasar gördüğü tespit edilen seramik eşyalarda OSL yaşlandırılması yapılmıştır. Bu yaşlandırmalar sonucunda elde edilen yaşlar; S1, S2 ve S3 adları altında Çizelge 1'de verilmiştir.



**Şekil 8.a.** Höyükte Geç-Orta ve Erken Tunç dönemine ait yaşam katının hemen her yerinde gözlenebilen yangın izleri ve taban deformasyonuna bir örnek, b.Orta Tunç dönemine ait katmanı boydan boyda kesen kırıkların biri, c. Höyüğün tamamında güneye doğru sistematik bir şekilde yıkılan duvarlara bir örnek, d. Orta-Geç Tunç dönemine ait seviyede göçük altında kalmış olan insan iskeletleri ve üzerlerine düşmüş konumda bulunan yapı taşları.

**Figure 8.** *Fire traces and deformation on the floor. This type of damage is visible almost everywhere on the tell at Late-Middle and Early Bronze age level. b. A fracture extends throughout the Middle Bronze period layer c. Systematically collapsed wall, this type of damage can be seen every part of the tell. d. Human skeletons under a collapsed building at the Middle-Late Bronze age layer.*

## TARTIŞMA VE SONUÇ

KFZ, Batı Anadolu açılma bölgesinin kuzeydoğusunda yer alan ve yaklaşık BKB-DGD doğrultusunda belirgin bir morfoloji sunan Kütahya Havzası'nın güneyini sınırlamaktadır. Havzanın güneyinde birbirine az çok paralel uzanan faylar bölgede temel kayalar ile Neojen yaşlı çökeller arasındaki sınırı oluşturmakta ve fay düzlemleri ana kaya içinde belirgin şekilde görülmektedir. Bu hat boyunca aktif faylanmaya ait veriler (örneğin, Kuvaterner çökellerini kesme ilişkisi, drenaj sistemi kontrolü gibi) gözlemlenemediği için bu faylar, Neojen öncesi dönemde gelişmiş faylar olarak ele alınmıştır. Genellikle fay düzlemleri ile temsil edilen havza güneyindeki bu sarplığın birkaç yüz metre kuzeyinde bulunan bir diğer morfolojik sarplık ise, bu uzanımın aktif normal faylanma sonucu oluşmuş olabileceğini gösteren veriler sunmaktadır. Bu veriler; 1) morfolojik sarplıkların güneydeki fay düzlemlerine az çok paralel oluşları, 2) bu sarplıkların, haritaya konulduklarında belli bir doğrultu boyunca takip edilebilmeleri, 3) sarplıkların yüksekliklerinin doğrultu boyunca benzer değerlere sahip olmaları, 4) sarplıkları kesecek şekilde alınan GPR profillerinde sarplığın olduğu yerlerde derinlerde de (yaklaşık 9 metreye kadar) anomaliler elde edilmesi, 5) sarplıkları kesen rezistivite ölçümlerinde anomaliler görülmesi, 6) sarplığı kesecek şekilde açılan hendekte güncel çökelleri kesen fayların görülmesidir.

Normal faylanmanın egemen olduğu alanlarda, Hancock ve Barka (1987)'nin da belirttiği gibi faylanmanın havza içine doğru ilerlediği yaygın olarak görülmektedir. Ayrıca, 1 Ekim 1995 Dinar depreminin yüzey kırığı incelendiğinde, yüzey kırığının ana fayı takip etmediği ve ana faydan değişik mesafelerde tavan bloğunda az çok faya paralel geliştiği görülmüştür (Eyidoğan ve Barka 1996, Altunel vd. 1999).

Bu bilgiler doğrultusunda, Kütahya Havzası'nı sınırlayan ve fay aynaları ile temsil edilen fay zonunun aktif olmadığı, bunun kuzeyinde tavan blokta gelişmiş ve morfolojik sarplıklarla temsil edilen zonun aktif olduğu söylenebilir. Bu uzanım, Kütahya şehir merkezinin yaklaşık 5 km güneydoğusu ile 17 km kuzeybatısı arasında kalan alanda yaklaşık 22 km boyunca uzunlukları 2 ile 8 km arasında değişen 5 ayrı fay parçası şeklinde haritalanmıştır (Şekil 1b). Bu uzanımlardan şehir merkezi doğusunda kalan 5 km uzunluğundaki fay, Miyosen-Kuvaterner sınırını oluşturmakta, şehir merkezinde ise tamamıyla güncel çökellerde gözlenmektedir. Şehir merkezinin hemen batısındaki 2.5 km'lik fay ise Pliyosen-Kuvaterner sınırında gözlenmektedir. Daha batıda, sola sıçramalı olarak uzanan 3 fay ise Pliyosen birimleri içerisinde gelişmiştir. Bu 5 fay uzanımı arasında gözlenen sıçramalı sınırların genişliği 1 km'den daha azdır. Dahası, bu sıçrama alanlarında, fay uzanımı üzerinde oluşabilecek bir yüzey kırığını durdurabilecek nitelikte herhangi bir engelleyici etmen (farklı bir jeolojik kütle ve/veya basınç sırtı gibi) bulunmamaktadır.

Çalışma alanı çevresinde kalıntıları korunmuş ve günümüzde üzerinde kazıların devam ettiği Seyitömer Höyüğü KFZ'na yaklaşık 25 km mesafede bulunmakta ve tarihsel depremlere ait önemli izler içermektedir. Höyükteki ilk yerleşimin Erken Tunç dönemine (M.Ö. 3000'li yıllar) kadar uzandığı bilinmektedir. Orta ve Geç Tunç döneminde de devam eden höyük yaşamı bu dönem sonlarında aniden kesilmektedir. Bu dönem kalıntılarının izlendiği yaşam katında yapılan gözlemlerde yıkıcı büyüklükte bir depreme ait izler tespit edilmiştir. Büyük bir depremi işaret eden bu izlerin gözlemlendiği yaşam seviyesinde höyük terk edilmiş ve sonrasında Helenistik dönem başlarına kadar herhangi bir yerleşim olmamıştır. Höyükte Orta-Geç Tunç dönemlerine ait yaşam katlarında

gözlenen ve tarihsel bir depreme ait olabileceği düşünülen hasarların bulunduğu seviyede farklı noktalardan alınan seramik örnekleri OSL yaşlandırma yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu analizler hasarların M.Ö. 1800'lü yıllarda meydana geldiğini göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılan paleosismolojik çalışmalar KFZ üzerinde son 8000 yıl içinde iki adet depremin varlığını ortaya koymaktadır. Hendekten alınan örnekler OSL yöntemi ile yaşlandırıldığında bu iki depremin ilkinin M.Ö. 6000'li yıllarda ikincisinin ise M.Ö. 5000 yılından daha sonra meydana gelmiş olduğu tespit edilmiştir. Mevcut paleosismolojik veriler, KFZ üzerinde meydana gelen en son depremin M.Ö. 5000 yılından sonra meydana geldiğini ortaya koymasına rağmen depremin kesin yaşı hakkında bilgi vermekte yetersiz kalmaktadır. Bununla birlikte, yaşlandırılan birimin üst seviyesinin aşınmış olması, depremin yaşlandırılan seviyenin çökmesinden çok daha sonraki zamanlarda meydana geldiğini göstermektedir. Dolayısıyla, hendek duvarında görülen M.Ö. 5000 yılından sonraki faylanma muhtemelen Seyitömer Höyüğü'nü M.Ö. 1800'lü yıllarda yıkan depremin yüzey kırığıdır.

Hendekte gözlenen birimlerin eğimleri ile yaşlarının karşılaştırılması sonucunda ise KFZ'nun yıllık düşey yer değiştirme miktarı 0.2 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. KFZ üzerinde meydana gelen en son depremin günümüzden yaklaşık 4000 yıl önce Seyitömer Höyüğü'nü de etkileyen deprem olduğu düşünülürse, bu yıllık hareket varsayımı fay üzerinde yaklaşık 80 cm düşey yer değiştirme gerektirir. Bununla birlikte, hendekte gözlenen depremlerdeki yer değiştirme miktarları 20-40 cm arasında değişmektedir. Bu yer değiştirme ve arazide haritalanan toplam aktif fay geometrisi (22 km, normal fay) bir arada düşünüldüğünde, Wells ve Coppersmith'in

(1994) öngörüsü kullanılarak, KFZ'nun yaklaşık 6.5-7 büyüklüğünde deprem üretme potansiyeli bulunduğu söylenebilir.

Bu çalışmada elde edilen veriler ile KFZ'nun Holosen aktivitesi ortaya konulmuş ve KFZ'nun yüzey kırığı yaratabilecek büyüklükte deprem üretebileceği tespit edilmiştir. Çalışma dönemindeki imkanlar doğrultusunda yapılan paleosismoloji çalışmaları çok genel bilgiler vermiştir. Bu zon üzerinde daha hassas yaşlandırma çalışmalarına ihtiyaç vardır. Böylece KFZ üzerinde geçmişte meydana gelen yıkıcı depremlerin kesin oluş zamanları ve periyotları tespit edilebilir. Bu bilgilerin elde edilmesi, KFZ boyunca değişik ölçeklerde modern yerleşim yerlerinin varlığı da (örneğin Kütahya şehir merkezi) göz önüne alındığında, fay zonunun özelliklerinin belirlenmesi ve depremselliğinin ortaya konulması açısından büyük önem taşımaktadır.

## KATKI BELİRTME

Bu makale Sevgi Altınok'un Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde tamamlanan (Danışman: Prof. Dr. Erhan Altunel) Yüksek Lisans tez çalışmasının bir bölümünü içermektedir. Bu çalışma TÜBİTAK 109Y157 no'lu proje (Yürütücü: Doç. Dr. Volkan Karabacak) tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmaya yapıcı eleştirileri ile katkıda bulunan hakemler Prof. Dr. Halil Gürsoy (Sivas Cumhuriyet Üniversitesi) ve Prof. Dr. Serdar Akyüz (İstanbul Teknik Üniversitesi)'e teşekkür ederiz.

## EXTENDED SUMMARY

*The WNW-ESE extending Kütahya Basin is located near the northeast boundary of the Western Anatolia Extension Region. The southern margin of the basin is bounded by a distinct morphology*

*of the Kütahya Fault Zone. Faults that extend parallel to each other along this morphology form the boundary between the basement rocks and Pliocene deposits. North facing fault planes are visible on bed rocks. In this study, field observations show that southernmost faults are not active. Present activity continues along the Kütahya Fault Zone which exhibits morphological scarps a few hundred meters north of the main morphology.*

*Geological, geomorphological and geophysical studies on the Kütahya Fault Zone show that this zone consists of 5 branches. This zone has a length of 22 km in N50-70W direction. Paleoseismological studies show that there are at least two surface rupturing earthquakes during the last 8000 years along this extension. First earthquake was occurred around 6000 BC and the last one was around 1800 BC.*

*Remains of the ancient Seyitömer Tell which is located about 25 km north of the Kütahya Fault Zone provide valuable data to document paleoearthquakes. Discriminating seismic deformations in relics of the Seyitömer Tell and attributing them to certain events contributes to a better assessment of recent seismic activities in the region. Damage related to seismic shaking is characterized by systematically collapsed walls, cracked and burned levels and buried human relics under collapsed buildings. Detailed archeoseismological observations suggest that Seyitömer Tell was affected by earthquake around 1800 BC. Although there is no historical record, the earthquake which caused the destruction and the abandonment of the Seyitömer Tell in 1800 BC is probably the last event in paleoseismological study occurred after 5000 BC.*

*Field evidence including geological and geomorphological observations support the Holocene activity of the Kütahya Fault Zone*

*and documented field evidence suggest that the dominant motion is normal along the fault zone. Furthermore, paleoseismological and archeoseismological observations indicate that the Kütahya Fault Zone is an active fault zone and has a capable of earthquake potential at least 6.5 magnitude.*

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Alçıçek, M. C., Kazancı, N. and Özkul, M., 2005. Multiple rifting pulses and sedimentation pattern in the Çameli Basin, southwestern Anatolia, Turkey. *Sedimentary Geology*, 173, 409–431.
- Altunel, E., Barka, A. and Akyüz, S., 1999. Paleoseismicity of the Dinar Fault, SW Turkey, *TerraNova*, 11, 297-302.
- Ambraseys, N. N. and Finkel, C. F., 1995. The seismicity of Turkey and adjacent areas: a historical review, 1500-1800. Eren Yayıncılık, İstanbul, 240 p.
- Angelier, J., Dumont, J. F., Karamandereci, H., Poisson, A., Şimşek, S. and Uysal, S., 1981. Analyses of fault mechanisms and expansion of southwestern Anatolia since the late Miocene. *Tectonophysics*, 75, 1-9 p.
- Barka, A. and Reilinger, R., 1997. Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data. *Annali di Geofisica*, 40, 587-610.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey – a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.
- Bozkurt, E., 2003. Origin of NE-trending basins in western Turkey. *Geodinamica Acta*, 16, 61-81.
- Cohen, H. A., Dart, C. J., Akyüz, H. S., and Barka, A., 1995. Syn-rift sedimentation and structural development of the Gediz and Büyük Menderes graben, Western Turkey. *Journal of the Earth Society, London*, Vol.152, pp. 629-638.
- Dumont, J. F., Uysal, S., Şimşek, S., Karamandereci, H. and Letouzey, J., 1979. Formation of the Grabens in southwestern Anatolia. *Bull. Min. Res. Explor. Ins. Turk.*, 92, 7-18 p.
- Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z., 1967. Türkiye ve civarının deprem kataloğu (MS 11 yılından 1964 sonuna kadar) (Earthquake catalogue of Turkey and surroundings from AD 11 to 1964). ITU Maden Fakültesi, Arz Fiziki Enstitüsü Yayınları, No: 24.
- Eyidoğan, H. and Barka, A., 1996. The 1 October 1995 Dinar earthquake, SW Turkey. *Terra Nova* 8, 479-485.
- Guidoboni, E., Comastri, A. and Traina, G., 1994. Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century. ING-SGA, Bologna.
- Gürer, Ö. F., Özbüran, M., Sangu, E. ve Doğan, B., 2005. Kütahya Dolayının Neotetonik İncelenmesi BAPB-Proje No: 2005/14.
- Hancock, P. L. and Barka, A., 1987. Kinematic indicators on active normal faults in western Turkey. *Journ. Struc. Geol.*, 9, 573-584.



- Koçyiğit, A. ve Bozkurt, E., 1997. Kütahya-Tavşanlı Çöküntü Alanının Neotektonik Özellikleri. TUBİTAK Araştırma Projesi, No: YDABÇAG-126, 78s.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H. and Bozkurt, E., 1999. Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in Western Turkey. *Journal of the Geological Society*; London, 156,60541 6.
- Seyitoğlu, G. and Scott, B. C., 1991. Late Cenozoic extension and basin formation in West Turkey. *Geological Magazine*, 128, 155-166.
- Seyitoğlu, G. and Scott, B. C., 1992. The age of Büyük Menderes Graben (West Turkey) and its tectonic implications. *Geological Magazine*, 129, 239-242.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A., 1987. Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri. MTA yayınları 394 s.(yayınlanmamış)
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kusçu, İ., 1992. Türkiye diri fay haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Şengör, A. M. C., 1987. Cross-fault and differential stretching of hanging walls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey, Continental extensional tectonics. M.P. Coward, J.F. Dewey, P.L. Hancock, (Eds.), *Geological Society Special Publication*, 28,575-589.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C. and Yörük, A., 2008. The earthquake catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Science* 17 (2), 405-418.
- Wells, D. L., and Coppersmith, K. J., 1994. New empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.84, No. 4, pp.974-1002.
- Yılmaz, Y., Genç, S. C., Güreler, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, S. and Elmas, A., 2000. When did the Anatolian grabens begin to develop. *Geological Society, London*, 173, 353-384.

---

Makale Geliş Tarihi : 26.11.2012

Kabul Tarihi : 24.01.2013

*Received* : 26.11.2012

*Accepted* : 24.01.2013