
Paleosismoloji ve Arkeosismoloji
Palaeoseismology and Archaeoseismology

Oturum Yürütücüleri / Conveners: Serdar Akyüz &
Erhan Altunel

Manisa Fay Zonu'nun Holosen Aktivitesine Ait Paleosismolojik Veriler: Manisa Bölgesindeki Sismik Risk Ön Sonuçları, Batı Anadolu

Çağlar Özkaymak¹, Hasan Sözbilir¹, Bora Uzel¹, H. Serdar Akyüz² ve Irka Hajdas³

¹ *Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Yerleşkesi,
35160 Buca, İzmir (E-posta: caglar.ozkaymak@deu.edu.tr)*

² *İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul*

³ *Laboratory for Ion Beam Physics, Radiocarbon Dating, ETH 208093 Zurich, Switzerland*

Manisa Fay Zonu (MFZ), Gediz Grabeni'nin devamı niteliğindeki Manisa Havzası'nı güneyden sınırlayan ve jeomorfolojik olarak kuzeye eğimli Kuvaterner fay sarplıkları içeren aktif bir yapısal süreksizliktir. MFZ, doğuda Turgutlu ilçesinden başlar ve batıya doğru Manisa ilçesini kat ederek Akgedik-Gürle köyüne kadar 50 km izlenebilir. MFZ iki ana bölümden oluşur: (i) Doğuda KB-GD doğrultusunda uzanım sunan fay zonu, Manisa kent merkezinden geçerken yaklaşık DB doğrultusunda ilerler, (ii) 10 km uzunluğundaki batı ucunda ise, Manisa şehir merkezi-Akgedik köyü arasında BKB–DGD uzanımlı üç fay segmenti şeklinde sonlanır. Tarihsel deprem kayıtlarına göre, MFZ önünde yer alan Manisa kenti ve civarının çok sayıda deprem ile zarar gördüğü bilinmektedir. Bu çalışmada, fay zonunun batı kısmında Holosen aktivitesine işaret eden jeolojik, jeomorfolojik ve paleosismolojik veriler sunulacaktır.

Manisa fay zonu, batı ucunda, sol kademeli ve en-eşelon dizilimli üç fay segmenti içerir. Fay segmentleri birleşerek aralarında aktarım rampalarının oluşumunu sağlamıştır. Bu segmentlerden en batıdaki Manastır Fayı önünde, yaşlı olanı uyumsuzlukla sınırlandırılmış iki Holosen kolüvyal yelpazesi sentetik faylarla kesilip ötelenmiştir. Yaşlı kolüvyal yelpazede saptanan sekiz eskitoprak düzeyi C14 tekniği ile yaşlandırılmıştır. Havza tarafındaki sentetik fay segmenti üzerinde iki hendek açılmıştır. Paleosismolojik verilere göre bu hendekler içerisinde tarihsel depremlere ait izler bulunmaktadır. Hendek duvarlarındaki detaylı stratigrafik, sedimantolojik ve yapısal gözlemler ile radyokarbon yaşlarıyla desteklenen en az üç olaya ait izler tanımlanmıştır. Bununla beraber, Manastır fayının tavan bloğunda yer alan Emlakdere köyünden Manisa havzasına su taşımakta kullanılan antik dönem su kemerinin sentetik faylardan biri tarafından kesildiği ve deforme edildiği gözlenmiştir. Bu antik kemerin 11. Yüzyıldan sonra Osmanlılar tarafından kullanıldığı bilinmektedir. Toplanan verilere göre, MFZ'nun batı kesiminde bulunan basamak yapısı geometrisine sahip fay segmentleri Holosen'den beri aktiftir.

Anahtar Sözcükler: batı Anadolu, Manisa fay zonu, aktif tektonik, paleosismoloji, C14 yaşlandırma, sismik risk

Palaeoseismological Evidence For Holocene Activity on the Manisa Fault Zone: Preliminary Results for Seismic Risk in Manisa District, Western Anatolia

Çağlar Özkaymak¹, Hasan Sözbilir¹, Bora Uzel¹, H. Serdar Akyüz² & Irka Hajdas³

¹ *Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Yerleşkesi, Buca, TR–35160 İzmir, Türkiye (E-mail: caglar.ozkaymak@deu.edu.tr)*

² *İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maslak, TR–34469 İstanbul, Türkiye*

³ *Laboratory for Ion Beam Physics, Radiocarbon Dating, ETH 208093 Zurich, Switzerland*

Manisa Fault Zone (MFZ) is an active structural discontinuity that is geomorphologically expressed as a trace of north-facing Quaternary fault scarps bounding the southern margin of the Manisa basin which is continuation of the Gediz Graben. We note that the present-day fault trace is over 50 km long from Manisa city in the northwest to the Turgutlu town in the southeast. The MFZ consists of two major sections: (i) eastern section that strikes NW–SE direction in the south and bends into an approximately E–W direction around Manisa to the northwest, (ii) an approximately 10-km-long western section that strikes WNW–ESE direction from Manisa city in the east to Akgedik town in the west. According to the historical records, many earthquakes destroyed the vicinity of Manisa city which is located in front of the MFZ. In this study, we present the geologic, geomorphologic, and palaeoseismologic evidences indicating Holocene activity on the western section of the fault zone.

We identify that the MFZ, at its western end, consists of three fault segments which are en échelon arranged in left step; the fault segments show evidence for linkage and breaching at the relay ramps. One of them is named as the Manastir Fault. In front of this fault, two Holocene colluvial fans, older of which is uncorformity bounded, are cut and displaced by the syntethic faults. Eight paleosol horizons which have been found within the older colluvial fans are dated by radiocarbon technique. Two trenches were excavated on the basinward syntethic fault segment. Palaeoseismologic data show that the syntethic fault segments correspond to the surface ruptures of the historical earthquakes. As a result of detailed stratigraphic, sedimentologic and structural observations on the trench walls, some evidences for at least three earthquakes are recorded which are supported by radiocarbon dating. Besides this, an archaic aqueduct that were used to transport water from Emlakdere town, located on the hanging wall of the Manastir Fault, to the basin is cut and displaced by the syntethic fault segments. It is known that this archaic architecture was in use after 11. century by the Ottomans. On the basis of the mentioned data, fault segments which are belong to the western part of the Manisa Fault Zone has been active since Holocene time as step-like structural geometries.

Key Words: west Anatolia, Manisa fault zone, active tectonics, paleoseismology, C14 dating, seismic risk

Ölüdeniz Fay Zonu'nun Kuzey Kesimi Aktivitesine İlişkin Paleosismolojik Veriler

Önder Yönlü¹, Mustapha Meghraoui², Erhan Altunel¹, Mattheui Ferry³,
C. Çağlar Yalçiner¹, Volkan Karabacak¹ ve Nafiye Güneç Kıyak⁴

¹ *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
26040 Meşelik, Eskişehir (E-posta: oyonlu@ogu.edu.tr)*

² *Institut de Physique du Globe of Strasbourg, 67100 Strasbourg, Fransa*

³ *Geophysical Centre, University of Evora, 38043 Evora, Portekiz*

⁴ *Işık Üniversitesi, Fizik Bölümü, 34980 İstanbul*

Dünyanın en önemli aktif tektonik yapılarından biri olan Ölüdeniz Fay Zonu, güneyde Kızıldeniz ile kuzeyde Doğu Anadolu fay zonu arasında uzanır. Antakya'nın doğusundan ülkemiz sınırlarına giren fay zonu K–G doğrultusunda Asi vadisi batısını sınırlamaktadır. Hacıpaşa fayı olarak adlandırılan bu fay üzerinde tarihsel ve aletsel dönemde birçok deprem meydana gelmiştir. Özellikle Antakya ve çevresinde uzun dönem tarihsel deprem aktivitesini yansıtan kayıtlar mevcuttur. Ancak fay zonu Türkiye yakınlarında birkaç kola ayrıldığından bu depremlerin hangi faylar tarafından üretildiği net değildir.

Hacıpaşa fayı üzerinde yapılan jeolojik ve jeomorfolojik çalışmalar, fayın güncel aktivitesini net olarak ortaya koymuştur. Fayın Amik Ovası'na girdiği noktada yapılan hendek çalışması ile 5 farklı tarihsel depremin izlerine ulaşılmış ve bu depremler C14 ve OSL metotları ile yaşlandırılmıştır. Hendek verileri ile tarihsel deprem kayıtlarının karşılaştırılması M.S. 115, 526, 1408, 1872, depremlerinin ve M.Ö. 3 yy. da bir depremin Hacıpaşa fayı üzerinde meydana geldiğini ortaya koymuştur. Ayrıca genç bir dere yatağı üzerinde faya paralel açılan iki hendekte terk edilmiş dere dolgularına rastlanılmış ve GPR profilleri ile takip edilen derenin toplam 18 ± 1.5 m ötelendiği tespit edilmiştir. Ölüdeniz fay zonunun kuzey kesimi üzerinde yapılan hendek çalışmaları, fay zonunun bu kesimi üzerinde yüzey kırığı oluşturan depremlerin tekrarlanma aralığının yaklaşık 400 ile 900 arasında değiştiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Sözcükler: Ölüdeniz fay zonu, paleosismoloji, tarihsel deprem, Antakya, Amik ovası

Palaeoseismological Evidence About the Activity of the Northern Part of the Dead Sea Fault

Önder Yönlü¹, Mustapha Meghraoui², Erhan Altunel¹, Mattheui Ferry³,
C. Çağlar Yalçın¹, Volkan Karabacak¹ & Nafiye Güneç Kıyak⁴

¹ *Eskişehir Osmangazi University, Department of Geological Engineering, Meşelik,
TR–26480 Eskişehir, Turkey (E-mail: oyonlu@ogu.edu.tr)*

² *Institut de Physique du Globe of Strasbourg, 67100 Strasbourg, Fransa*

³ *Geophysical Centre, University of Evora, 38043 Evora, Portekiz*

⁴ *Işık Üniversitesi, Fizik Bölümü, 34980 İstanbul, Türkiye*

The Dead Sea Fault Zone (DSFZ) is one of the most active tectonic structures of the world and it extends from the Red Sea in south to East Anatolian fault zone in north. The fault enters to Turkey east of Antakya and extends along the western side of the Asi River up to the Amik Basin. This section of the fault is called as Hacipaşa fault. Large earthquakes occurred along this fault in historical period and during the 20th century. Although long term historical activity has been documented around Antakya region, it is not clear that, which segments of DSFZ has ruptured during these earthquakes.

Geological and geomorphologic studies along the Hacipaşa fault show the recent activity of the fault. We have traced the fault rupture and recognized 5 different surface faulting events in the trench study and used C14 and OSL dating of the alluvial deposits. Comparing trench data with historical earthquake records, we show that these earthquakes occurred in 115 A.D, 526, 1408, 1872 on the Hacipaşa fault. Beside them there is probably one more earthquake dated in the 3rd century B.C. Furthermore, 2 trenches were dug parallel to the fault on a young stream bed in addition of Georadar profiles that show the stream was offset 18 ± 1.5 m. On the basis of palaeoseismological evidence, it is suggested that the recurrence interval for surface faulting events 400–900 years on the northern part of the Dead Sea Fault Zone.

Key Words: Dead Sea fault zone, paleoseismology, historical earthquake, Antakya, Amik basin

Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Batı Kesiminde Sapanca-Akyazı Segmentinin Son 1000 Yıllık Deprem Tarihiçesi ve Kayma Hızı

Aynur Dikbaş¹, H. Serdar Akyüz², Mustapha Meghraoui³, Matthieu Ferry⁴, C. Çağlar Yalçın^{3,5}, Cengiz Zabcı², Volkan Karabacak⁵, Nafiye Kıyak⁶ ve Erhan Altunel⁵

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 34469 Maslak, İstanbul
(E-posta: adikbas@itu.edu.tr)

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
34469 Maslak, İstanbul

³ EOOST-Institut de Physique du Globe de Strasbourg, F-67084 Strasbourg, France

⁴ Geophysical Centre, University of Evora, PT-38043 Evora, Portekiz

⁵ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 26480 Meşelik, Eskişehir
⁶ Işık Üniversitesi, Fizik Bölümü, 34398 Maslak, İstanbul

Doğu Marmara bölgesinin deprem tarihçesi, tarihsel kayıtlar ile sınırlıdır. Deprem ile ilgili kayıtlar esas olarak bölgedeki iki büyük şehir olan İzmit ve İstanbul'da tutulmuştur. Bu durum, İzmit doğusunda yüzey kırığı meydana getirebilecek depremlerin tarihsel kayıtlardan belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Kuzey Anadolu Fayı'nın bu kesimin yayınlanmış paleosismolojik veri bulunmamaktadır ve bu kesimde elde edilebilecek paleosismolojik veriler bölgenin deprem tarihçesinin belirlenmesine katkıda bulunması açısından önemlidir. Bu amaçla, Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde üç farklı lokasyonda paleosismolojik çalışmalar yapılmıştır. Sapanca-Akyazı segmenti, 17 Ağustos 1999 İzmit depreminde kırılan beş segmentten biridir ve en yüksek ötelenme değeri (5,2 m) bu segment üzerinde meydana gelmiştir. Segment, Sapanca Gölü doğusundan Akyazı (Adapazarı) kuzeyine K85B yöneliminde ve yaklaşık 25 km uzunluğundadır. Yapılan paleosismoloji çalışmaları sonucunda segment üzerinde 27 Mayıs 1719, 1 Ekim 1567 ve 1000 yıllarında meydana gelen depremlerde yüzey faylanması geliştiği tespit edilmiştir.

Sakarya nehri batısında, nehrin eski bir teras kenarı, fay zonu güneyinde yüzeyde takip edilmiş fakat kuzeyde izlenmemiştir. Ötelenmiş teras kenarının kuzeydeki devamının gömülü olabileceği düşüncesiyle, kuzey kesim GPR (Yer Radarı) ile taranmış ve gömülü teras kenarı tespit edilmiştir. Teodolit ile yapılan ölçüm sonucu eski teras kenarının toplam 18.5 ± 0.5 metre ötelenildiği hesaplanmıştır. Teras kenarı OSL yaşlandırma yöntemi ile tarihlendirilmiş ve bölgedeki kayma hızı hesaplanmıştır. Yaklaşık son 1000 sene içerisinde bölgedeki kayma hızı 21.9 ± 3 mm/yıl olarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: KAF, deprem, Sapanca-Akyazı segmenti, paleosismoloji, GPR, kayma hızı

Earthquake History and Slip Rate of Sapanca-Akyazı Segment on Western Part of North Anatolian Fault for the Past 1000 Years

Aynur Dikbaş¹, H. Serdar Akyüz², Mustapha Meghraoui³, Matthieu Ferry⁴,
C. Çağlar Yalçiner^{3,5}, Cengiz Zabcı², Volkan Karabacak⁵, Nafiye Kıyak⁶ & Erhan Altunel⁵

¹ *İstanbul Technical University, Eurasia Institute of Earth Sciences, Maslak,
TR–34469 İstanbul, Turkey (E-mail: adikbas@itu.edu.tr)*

² *Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Department of Geological Engineering,
Maslak, TR–34469 İstanbul, Turkey*

³ *EOST-Institut de Physique du Globe de Strasbourg, F-67084 Strasbourg, France*

⁴ *Geophysical Centre, University of Evora, PT-38043 Evora, Portugal*

⁵ *Eskişehir Osmangazi University, Department of Geological Engineering,
Meşelik, TR–26480 Eskişehir, Turkey*

⁶ *Işık University, Physics Department, Maslak, TR–34398 İstanbul, Turkey*

The earthquake history of the eastern Marmara region is limited by the historical documents which indicate the felt area mostly as İstanbul and sometimes as İzmit. It is hard to determine the earthquakes that produced surface rupture in the east of İzmit only by searching the historical documents. There is no paleoseismological data in this part of North Anatolian Fault and research of paleoseismological data is important for understanding the earthquake history of the region. For this purpose, three sites on Sapanca-Akyazı segment were chosen for paleoseismological investigations. Sapanca-Akyazı segment is one of the five segments ruptured on 17 August 1999 earthquake and the maximum right-lateral displacement (5.2 m) was measured on this segment. It trends along 25 km between the Lake Sapanca and Akyazı town with a strike of N85W. Paleoseismological investigations revealed that the earthquakes of 27 May 1719 and 1 October 1567, and an earthquake which happened around year 1000 had ruptured the segment.

One the west of Sakarya river, an old terrace riser of the river is visible at the surface on the south of the fault zone and can not be observed on the northern part. The northern part was investigated by GPR (Ground Penetrating Radar) to check if the continuation of the riser was buried due to vertical movement on the northern part, and it is determined in the GPR profile. The cumulative displacement of the riser is measured as 18.5 ± 0.5 m with teodolite. The OSL dating of the terrace riser revealed a slip-rate of 21.9 ± 3 mm/year on the region for last 1000 years.

Key Words: NAF, earthquake, Sapanca-Akyazı segment, paleoseismology, GPR, slip-rate

1942 Erbaa-Niksar Depremi ile İlişkili Yüzey Kırığının Batı Bölümünde Paleosismolojik Bulgular ve Değerlendirme, Kuzey Anadolu Fay Sistemi, Türkiye

Akın Kürçer¹, Hisao Kondo², Selim Özalp¹ ve Ömer Emre¹

¹ Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, 06520 Balgat, Ankara
(E-posta: akinkurcer@mta.gov.tr)

² Aktif Fay Araştırma Merkezi, Site 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japonya

Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS), Dünya'nın en önemli aktif kıta içi transform faylarından birisidir. KAFS 1939 ile 1999 yılları arasında, genellikle doğudan batıya doğru deprem göçü şeklinde gelişmiş bir dizi büyük deprem ile kırılmıştır. Genelde bu deprem serisi içerisindeki depremlerde çok segmentli yüzey faylanması gelişmiştir. 1942 depremi Niksar-Erbaa fayı üzerinde meydana gelmiş olup 48 km uzunluğunda yüzey kırığı üretmiştir. 1942 depremi ile ilişkili yüzey kırığı bir sıkışmalı sekme (restraining stepover) tarafından iki ana geometrik segmente ayrılır. 12 km uzunluğundaki bu sıkışmalı sekme ters faylarla sınırlı bir yükselim (push-up) yapısı ile karakteristiktir. 1942 depremi olasılıkla bu sıkışmalı sekmede başlamış ve kırılma iki taraflı olarak ilerlemiştir. Kırığın doğu ve batı segmentleri sırasıyla 21 ve 15 km uzunluğundadır. Bu çalışmada, Erbaa ilçesinin kuzeybatısındaki Çevresu sahasında, kırığın batı segmenti üzerinde gerçekleştirilen hendek çalışmalarından ilk sonuçlar sunulmaktadır.

Çevre su sahasında (Koordinatlar; 37 286765 D – 45 14356 K), Yeşilirmak ve Kelkit çaylarının taşkın düzlüğü üzerinde, 1942 kırığı boyunca faya dik doğrultuda iki hendek kazılmıştır. Tarımsal faaliyetler nedeniyle değişiklikler meydana gelmiş olsa da yüzey kırığının izi genel morfolojide hala belirgin olarak izlenebilmektedir. Holosen fayı, taşkın düzlüğünde 1 kilometre uzunluğunda açıkça izlenebilen taze fay sarplığı ile temsil olunur. Fayın güney tarafı görece olarak 0.7 metre yüksektedir. Hendeklerin yakın çevresinde kırık zonu boyunca 1942 depremi ile ilişkili olarak 2 metre sağ yönlü yer değiştirme ölçülmüştür. Fay sarplığı üzerinde faya dik doğrultuda kazılan iki hendek birbirinden 100 metre uzaklıkta yer alır. Hendekler 10 metre uzunluğunda, 2.5 metre genişliğinde ve 2.5 metre derinliğindedir. Hendek duvarlarında taşkın ovası ve kanal çökellerinden oluşan sekiz farklı stratigrafik birim tanımlanmıştır. Hendek duvarlarındaki tektonostratigrafik ilişkiler ve radyokarbon yaşları, son 1300 yıl içerisinde 1942 depremi de dahil olmak üzere üç yüzey faylanmasının meydana geldiğini göstermiştir. Olayların zamanlamasından hareketle, Çevresu hendeklerinde tanımlanan son iki deprem, 1942 kırığının doğu segmenti üzerindeki Ayvaz hendeklerinde tanımlanan olaylarla denetirilebilmektedir. Çevresu hendeklerinde gözlenen 1942 öncesinde meydana gelen deprem, KAFS' nin yarısından fazlasının kırıldığı 1668 Anadolu depremine karşılık gelmektedir. Her iki hendekte de bir önceki olay horizonunun hemen altında, fay zonunun kuzey ve güney bloklarında belirgin bir stratigrafik farklılık gözlenmiştir. Fay zonunun kuzey bloğu daha çok odun kömürü içeren kumlu ve çakıllı birimlerden oluşurken güney tarafı daha ince taneli kil ve siltten meydana gelir. Bu durum 1668 depremi ile ilişkili sağ yönlü yer değiştirmenin 1942 depreminden çok daha fazla olabileceğini gösterir. Her iki hendekten derlenen veriler 1668 depremi öncesindeki depremin M.S. 8. ve 13. yüzyıllar arasında meydana geldiğini göstermektedir. Tekrarlanma verileri, Erbaa-Niksar fayının batı segmentinin son 1300 yıl içerisinde periyodik olmayan bir tekrarlanma aralığı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, 1668 depremi öncesindeki depremin yaşı Ayvaz hendeklerindeki bulgular ile tutarlı değildir. İki alanda belirlenen bu farklı tekrarlanma davranışı, bir yükselim (push-up) yapısı ile birbirinden ayrılan 1942 kırığının farklı paleosismik tarihçe sergileyen iki fay segmentinden oluştuğuna işaret eder.

Anahtar Sözcükler: Erbaa-Niksar depremi, paleosismoloji, hendek, Kuzey Anadolu Fay Sistemi, yüzey faylanması

Palaeoseismological Findings and Evaluation on the Western Portion of the Surface Rupture Associated with the 1942 Erbaa-Niksar Earthquake, North Anatolian Fault System, Turkey

Akin Kürçer¹, Hisao Kondo², Selim Özalp¹ & Ömer Emre¹

¹ *General Directorate of Mineral Research and Exploration, Department of Geology, Balgat, TR-06520 Ankara, Turkey (E-mail: akinkurcer@mta.gov.tr)*

² *Active Fault Research Center, Site 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan*

The North Anatolian fault system (NAFS) is one of the most major intra-continental active transform faults in the world. The NAFS ruptured in a sequence of large earthquakes between 1939 and 1999, generally progressing from east to west. In general, multi-segment surface faulting developed associated with the earthquakes in this sequence. The 1942 event occurred on the Niksar-Erbaa fault and produced a 48-km-long surface rupture. The surface rupture associated with the 1942 earthquake is divided into two main geometric sections by a restraining stepover. The 12-km-long restraining stepover is characterized with a push-up structure bounding by reverse faults. Probably, the 1942 event nucleated below this restraining stepover and propagated bilaterally. The eastern and western sections of the rupture are 21 and 15 km, respectively. In this study, we present preliminary results of trench survey performed on the western section of the rupture at the Çevresu site northwest of the Erbaa town.

At the Çevresu site (GPS coordinates: 37 286765 E – 45 14356 N), two cross trenches along the 1942 rupture were excavated on the flood plain of the Yeşilırmak and Kelkit rivers. Although agricultural modification has been developed, the rupture trace can be still seen clearly in general morphology. Holocene fault is characterized by an evident of fresh fault scarp extending for one km long on the flood plain. The southern side of the fault is relatively uplifted at the height of 0,7 m. Right lateral displacement of 2 meter associated with the 1942 event was measured along the rupture zone near the trench sites. Two cross trenches were placed 100 meter apart from each other across the linear fresh fault scarp. The dimensions of trenches were 10-m-long, 2.5-m-wide and 2.5-m-deep. On the trench walls, eight different stratigraphic units consisting of stream channel and flood plain sediments were identified. Base on the tectono-stratigraphic relations on the trench walls in addition with radiocarbon dates, three surface faulting events including the 1942 event occurred within the last 1300 years. Judging from the timing of individual events, the recent two events can be correlated with the ones identified at the Ayvaz trench site located on the eastern section of 1942 rupture. The penultimate event observed in Çevresu trenches corresponds to the 1668 great Anatolian earthquake, which ruptured through longer than half of the NAFS on land. Just below the penultimate event horizon on the both trenches, there is a clear stratigraphic difference at the northern and southern side of the fault zone. While the units in the northern side of the fault zone mostly consist of sandy and gravelly sediments and include charcoal, the ones in the southern side consist of thinner particles as clay and silt. This suggests that right lateral displacement related with the 1668 event might have been larger than the 1942 event. The data which are collected from each two trenches indicate that the ante-penultimate event occurred between in 8th and 13th centuries A.D. The recurrence data also indicates that the western segment of Erbaa-Niksar fault has a periodic recurrence interval during the last 1300 years. In addition, the age of the ante-penultimate event at this site is not consistent with that of the Ayvaz site. This difference of recurrence behavior at two sites implies that the 1942 rupture consists of two fault segments with different palaeoseismic history, in accordance with the geometric sections divided by the push-up structure.

Key Words: Erbaa-Niksar earthquake, palaeoseismology, trench, North Anatolian Fault System, surface faulting

Kuzey Anadolu Fayı'nın Hersek Burnu'ndaki Geometrisi ve 1999 İzmit Depremi Yüzeysel Kırığı İlerlemesine Etkisi

Özgür Kozacı¹, Erhan Altunel², Scott Lindvall¹, Charlie Brankman¹ ve William Lettis¹

¹ William Lettis & Associates, Inc., Walnut Creek, CA 94596, USA
(E-posta: kozaci@lettis.com)

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 26040 Meşelik, Eskişehir

Kuzey Anadolu fayı üzerinde 1999 yılında meydana gelen yıkıcı depremleri takiben sismik tehlike duyarlılığı Marmara bölgesinin sismik potansiyeline odaklandı. Yüksek nüfus ve sanayi bölgelerinin dünyanın en hareketli doğrultu atımlı faylarından birine yakınlığı riskin boyutlarını ve dolayısı ile tehlike analizlerinin önemini arttırmaktadır. Ancak Kuzey Anadolu fayının bu bölgedeki kesiminin çoğunlukla deniz altında bulunması sismik tehlike boyutlarının belirlenmesini oldukça zorlaştırmaktadır. Olası bir depremin büyüklüğünün belirlenmesi için kullanılan yöntemlerden biri sözkonusu depremi üretecek fayda meydana gelecek yüzeysel kırığı uzunluğunun ve atım miktarının belirlenmesini gerektirmektedir. Yüzeysel kırığı uzunluğunu belirlemek için ise beklenen olası depremde fayın hangi kısımlarının yüzeysel kırığı meydana getireceğinin kestirilmesi gerekir. İzmit Körfezi'nde bu amaçla pek çok deniz araştırması ve modelleme çalışması yapılmış olup, sözkonusu araştırmalar genel olarak 1999 İzmit depremi yüzeysel kırığının Hersek deltasının batısına devam ederek sona erdiğine işaret etmektedir. Ancak bu çalışmaların önerdiği modeller Hersek deltasında son depremde yüzeysel kırığı oluşmamasıyla çelişmektedir. Bu gözlem Hersek deltası'ndaki fay geometrisini anlamamızın son depremin nerede ve neden sonlandığı ve dolayısı ile muhtemelen bir sonraki depremin nerede başlayacağı ile ilgili önemini ortaya koymaktadır. Hersek Delta'sındaki fay geometrisini ortaya koymak için çalışmalarımızı yeryüzü şekli yorumlama, paleosismik hendek kazıları, jeofizik, ve arkeo-sismik araştırmalar etrafında yoğunlaştırdık. Araştırmalarımız Hersek deltası'nda meydana gelmiş tarihsel depremleri belgelemiş ve Kuzey Anadolu Fayı'nın Hersek deltası civarında sıkışmalı bir sıçrama ya da bükülüm yaptığını ortaya koymuştur. Bu fay geometrisini yarı esnek ortamda sonlu elemanlar modellemesi ile sınırlı ve güncel yeryüzü şekillerinin modelleme sonuçları ile uyumlu olduğunu gösterdik. Sözkonusu fay geometrisi ve tarihsel yüzeysel kırıklarının tespiti 1999 depremi yüzeysel kırığının çalışma alanımızda sonlandığını göstermektedir. Çalışma sonuçlarımız Marmara bölgesinde beklenen büyük depremin yüzeysel kırığının Kuzey Anadolu Fayı'nın Hersek deltası'nı içeren Yalova kısmını da içermesini öngörmektedir.

Anahtar Sözcükler: Kuzey Anadolu Fayı, fay geometrisi, yüzeysel kırığı ilerlemesinin durdurulması

North Anatolian Fault on Hersek Peninsula, Turkey: Its Geometry and Implications on 1999 İzmit Earthquake Rupture Propagation

Özgür Kozacı¹, Erhan Altunel², Scott Lindvall¹, Charlie Brankman¹ & William Lettis¹

¹ *William Lettis & Associates, Inc., Walnut Creek, CA 94596, USA
(E-mail: kozaci@lettis.com)*

² *Eskişehir Osmangazi University, Engineering Faculty, Department of Geological Engineering,
Meşelik, TR–26040 Eskişehir, Turkey*

Seismic hazard awareness has shifted to the seismic potential of the Marmara region, becoming a newly identified area of concern following the destructive 1999 North Anatolian fault earthquakes. Regional high risks result from dense population and concentrated regions of industrial developments in close proximity to one of the most active strike-slip faults in the world, making hazard assessment critical. However, inherent complexities associated with the offshore section of the North Anatolian fault has made assessing the regional seismic hazard extremely challenging. One approach to determine the potential size of an earthquake requires the knowledge of rupture length and displacement amounts on a given fault. In order to determine the surface rupture length we need to know which fault segment(s) are likely to experience surface rupture during the next big earthquake. Numerous offshore and modeling studies performed over the Gulf of İzmit suggest that the 1999 rupture continued west of the terminus of surface rupture near Hersek. These findings, however, do not coincide with the lack of surface rupture observed at Hersek peninsula during the most recent earthquake. This observation indicates the importance of understanding the fault geometry at this particular site in order to understand the western termination of the last and possibly the eastern extent of the next surface rupture. We aimed our efforts at resolving the fault geometry on the Hersek peninsula by applying geomorphic analyses, palaeoseismic trenching, geophysical surveys, and archaeo-seismological approach in the field. Our studies provided evidence for past surface ruptures as well as demonstrating a restraining step-over/bend on the North Anatolian fault in the vicinity of Hersek peninsula. We tested this fault geometry with a finite element model in half elastic space and correlated the results successfully with the existing topography. Such fault geometry combined with the evidence of past surface ruptures implies that the 1999 İzmit earthquake surface rupture was arrested at this location. Our results suggest that the next large earthquake surface rupture in the Marmara region will probably include the Yalova segment and extend as far east as the Hersek peninsula.

Key Words: North Anatolian Fault, fault geometry, rupture arrest

Arkeolojik ve Jeolojik Malzemelerin Yaşlandırma Çalışmalarında Işık Uyarımlı Luminesan Yöntemin Uygulanması

Nafiye Güneç Kıyak

*Işık Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 34980 Şile, İstanbul
(E-posta: kiyak@isikun.edu.tr)*

Jeolojik sedimentler ve arkeolojik buluntular gömülü oldukları süre içinde buldukları çevrenin doğal radyasyonu ile çevrilidirler. Yer kabuğunda bulunan doğal radyoaktivite ile kozmik ışıklardan kaynaklanan bu doğal radyasyon ortamı malzeme içinde var olan minerallerin -özellikle yer kabuğu içinde bol miktarda bulunan quartz mineralinin- kristal yapısında enerji depolanmasına ve bazı kalıcı değişimler meydana gelmesine neden olur. Kristal yapıda meydana gelen bu değişimlerin miktarı malzemenin bu çevrede gömülü kaldığı süre ile orantılıdır ve dolayısıyla bu değişimler malzemenin geçmişi hakkında, bir başka deyişle malzemenin yaşı hakkında, bilgi edinmemize olanak tanır. Lüminesan yöntemler, doğal radyasyon kaynaklı ve kristal yapıda meydana gelen bu değişimlerden hareketle istenilen bilgiye ulaşmamızı sağlayan fiziksel tekniklerdir. Bu tekniklerde saati sıfırlayan olay, yani başlangıç anı, seramik ve toprak çömlerinde olduğu gibi malzemenin 400 °C sıcaklığın üzerinde ısıtılması ya da deprem, tsunami gibi bir olay esnasında bir biçimde ışığa maruz kalmasıdır. Son yıllarda bu metotlar, özellikle ışık uyarımlı Luminesan (OSL) yöntemi, çok farklı türde sediment malzemenin yaşlandırılmasında güvenilir kanıtlar sunmaktadır. Bu teknik 50 yıl ile 500 bin yıl arasında yaşlandırma yapabilmekte ve özellikle geleneksel yöntemlerin bazı kısıtlamalar nedeniyle kullanılmadığı birçok alanda başarı ile uygulanabilmektedir.

Bu sunumda luminesan yöntemlerin kısa tanıtımı, bazı jeolojik ve arkeolojik uygulamalar hakkında kısa bilgilendirme ve potansiyel problemlerin tartışılması amaçlanmaktadır.

Anahtar Sözcükler: lüminesan, yaş tayini, ışık uyarımlı lüminesan, OSL, jeoarkeoloji, kuvars

Application of Optically Stimulated Luminescence (OSL) on Dating Studies of Archaeological and Geological Materials

Nafiye Güneç Kıyak

*Işık University, Faculty of Science and Arts, Department of Physics, Şile,
TR–34980 İstanbul, Turkey (E-mail: kiyak@isikun.edu.tr)*

Geological sediments and archaeological materials are surrounded by the background radiation that originates from natural terrestrial radioactivity, which is present in all deposits, and from cosmic radiation. This radiation environment can store energy in the lattice structure of the minerals, particularly in quartz that compose the majority of sediments on earth crust. The amount of energy stored in the lattice is proportional to the burial time and some permanent changes taking place in the lattice allow us to get valuable information about the history, in other words, about the age of the buried materials. As a physical technique, luminescence is based on these solid state properties of mineral grains and used to determine the depositional age of sediments and artifacts by measuring the energy stored within the electronic lattice of the minerals during burial time. The clock-resetting event in this technique is the last heating to a temperature above 400 °C such as ceramics and pottery, or the last exposure to light such as earthquake and tsunami events. In recent years there has been convincing evidence that many different types of sediments can be dated by luminescence techniques, particularly by Optically Stimulated Luminescence (OSL). This technique produces ages from 50 years to about 500 ka and allows dating of sediments and artifacts that could not be dated directly by other conventional methods due to some limitations.

In this study we aim to present a brief description of luminescence techniques and some geological and archaeological applications performed and to discuss potential problems.

Key Words: luminescence, dating, optically stimulated luminescence, OSL, geoarchaeology, quartz

Büyük Menderes Fay Zonu'nun Son 2000 Yıllık Deprem Aktivitesi

Erhan Altunel¹, Volkan Karabacak¹, H. Serdar Akyüz², C. Çağlar Yalçiner^{1,3},
Önder Yönlü¹, Nafiye G. Kıyak⁴, Mustapha Meghraoui³ ve Musa Kadioğlu⁵

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
26040 Meşelik, Eskişehir (E-posta: ealtunel@ogu.edu.tr)

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul

³ Institut de Physique du Globe de Strasbourg, 6700, Strasbourg, Fransa

⁴ Işık Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 34980 Şile, İstanbul

⁵ Ankara Üniversitesi, Arkeoloji Bölümü, 06100 Sıhhiye, Ankara

Dünyanın önemli aktif açılma bölgelerinden biri olan Batı Anadolu, yaklaşık K-G yönlü gerilmelere bağlı olarak gelişen horst-graben sistemleri ile şekillenmektedir. Büyük Menderes grabeni, bu sistem içerisinde Anadolu'nun iç kesimlerinden Ege Denizi'ne kadar uzanan önemli bir koridordur. Verimli toprakları ve geçiş güzergahı olması nedeniyle, grabende çağlar boyu önemli yerleşimler kurulmuştur. Grabeni kuzeyde sınırlayan faylar üzerinde tarihsel dönemlerde ve yakın geçmişte büyük depremler meydana gelmiş, bu depremler sırasında gelişen yüzey kırıkları graben boyunca yer alan doğal ve insan yapımı yapılarda izler bırakmıştır.

Ayrıntılı haritalama çalışmaları, Büyük Menderes grabenini sınırlayan ana fay zonunun grabenin kuzeyinde yer aldığını ve altı ana segmentten oluştuğunu ortaya koymuştur. Segmentler birbirlerinden sola sıçrama ile ayrılırlar. Yapılan detaylı paleosismolojik çalışmalar ve yaş analizleri, Büyük Menderes Fay Zonu (BMFZ) üzerinde son 2000 yılda 9 adet yüzey kırığı oluşturmuş depremin meydana geldiğini ve bu süre içinde güney bloğun yaklaşık 3 m düştüğünü ortaya koymuştur. Bu depremlerden, MS 68 ve 1955 depremlerinin Priene fayı üzerinde, 1846 depreminin Sazlıköy fayı üzerinde, 10. yy ve 1899 depremlerinin Umurlu fayı üzerinde meydana geldikleri belirlenmiştir. MS 3. yy ve 6. yy depremlerinde Sultanhisar ve Nazilli faylarının birlikte kırıldığı belirlenmiş, 10. yy ve 1653 depremlerinde ise Umurlu, Sultanhisar ve Nazilli faylarının birlikte kırıldığına ait veriler elde edilmiştir.

Priene, Sazlıköy ve Sultanhisar segmentleri değişik dönemlere ait arkeolojik kalıntıları kesmektedir. Arkeolojik kalıntılarda, normal faylanmanın yanında önemli miktarda sağ yönlü doğrultu bileşenin de olduğu görülmektedir. Arkeosismolojik ve paleosismolojik çalışmalar, Roma dönemine ait kalıntılardaki düşey yerdeğiştirmenin 2.5 m ye ulaştığını ortaya koymuştur. Bu veriler bir arada değerlendirildiğinde, BMFZ üzerinde düşey kayma oranının 1.76 mm/yıl ile 0.96 mm/yıl, yatay açılmanın ise 0.98 mm/yıl ile 0.35 mm/yıl arasında değiştiği ve her iki oranda da doğuya doğru bir azalma olduğu görülmektedir. BMFZ' nun Aydın ile Germencik kısmının deprenselliğini değerlendirebilmek için yeterli bilgi elde edilememiştir. Ancak, fay zonunun diğer kısımlarının tarihsel deprem aktivitesine bakıldığında, Sultanhisar ve Nazilli faylarının en son 1653 yılında kırıldığı ortaya konmuştur. Fay zonu üzerindeki tarihsel deprem aktiviteleri ve kayma hızları göz önüne alındığında grabenin özellikle doğu kesiminde her an yüzey kırığı oluşturabilecek büyüklükte bir deprem meydana gelme olasılığı oldukça yüksektir.

Anahtar Sözcükler: Büyük Menderes Fay Zonu, paleosismoloji, arkeosismoloji, deprensellik

Earthquake Activity of the Büyük Menderes Graben in the Last 2000 Years

Erhan Altunel¹, Volkan Karabacak¹, H. Serdar Akyüz², C. Çağlar Yalçiner^{1,3},
Önder Yönlü¹, Nafiye G. Kıyak⁴, Mustapha Meghraoui³ & Musa Kadioğlu⁵

¹ *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
TR–26040 Eskişehir, Türkiye (E-mail: ealtunel@ogu.edu.tr)*

² *İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maslak, TR–34469 İstanbul, Türkiye*

³ *Institut de Physique du Globe de Strasbourg, 6700, Strasbourg, Fransa*

⁴ *Işık Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Şile, TR–34980 İstanbul, Türkiye*

⁵ *Ankara Üniversitesi, Arkeoloji Bölümü, Sıhhiye, TR–06100 Ankara, Türkiye*

Western Anatolia is one of the most active and rapidly extending regions of the world and it is currently experiencing an approximately N-S extension which gives rise to the horst-graben system. The Büyük Menderes Graben is an important corridor in this system that extends from the central Anatolia to Aegean Sea. Being an important route-way from east to west and its fertile lands attracted people from very early times, thus, many ancient and modern cities have been established along the graben. The main active faults are reactivated in the historical period and during the 20th century and involved surface rupturing earthquakes which left evidence both on man-made structures and geological records.

Detailed field studies show that the main active faults are located on the northern margin of the graben and there are six main segments on en-echelon style. Paleoseismological studies show that 9 surface rupturing earthquakes occurred on the Büyük Menderes Graben and the southern side downthrown up to 3 m in the last 2000 years. Evaluation of obtained results suggest that the 68 A.D. and 1995 earthquakes occurred on the Priene segment, the 1846 earthquake was on the Sazlıköy segment and the 10th century A.D. and 1899 earthquakes took place on the Umurlu segment. The 3th century A.D. and 6th century A.D. earthquakes ruptured both the Sultanhisar and Nazilli segments, the 10th century A.D. and 1653 earthquakes involved faulting along the Umurlu, Sultanhisar and Nazilli segments.

The Priene, Sazlıköy and Sultanhisar segments offset man-made structures belonging to different historical period. Detailed investigations on the offset ruins show that the motion on the fault is normal combined with considerable right lateral component. Archeoseismological and paleoseismological results suggest that vertical slip rate varies between 1.76 and 0.96mm/year and extension rate varies between 0.98-0.35 mm/year along the BMFZ and there is a decrease in these values towards east. There is not enough data to consider the seismicity of the BMFZ between Aydın and Germencik. However, paleoseismological studies reveal that the last rupture on the Sultanhisar and Nazilli faults was in 1653. Considering the historical earthquake activity and slip rates, it can be concluded that probability of occurrence of a surface rupturing earthquake in the eastern part of the Büyük Menderes graben is high.

Key Words: Büyük Menderes Fault Zone, paleoseismology, archeoseismology, seismicity

Büyük Menderes Fay Zonu'nun Batı Kesiminde Yer Alan Ötelenmiş Tarihsel Yapılar ve Bunların Bölge Tektoniği Açısından Yorumu

Önder Yönlü¹, Erhan Altunel¹, Volkan Karabacak¹,
H. Serdar Akyüz² ve C. Çağlar Yalçiner¹

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
26040 Meşelik, Eskişehir (E-posta: oyonlu@ogu.edu.tr)

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul

Batı Anadolu'nun en önemli aktif tektonik yapılarından biri olan Büyük Menderes Grabeni doğuda Denizli havzasından batıda Ege denizine kadar uzanır. Genel uzanımı D–B olan graben Germencik ile Ege denizi arasında KD–GB doğrultusunda uzanır. Grabeni sınırlayan ana faylar grabenin kuzeybatı kenarında yer alır ve bu faylar üzerinde tarihsel ve aletsel dönemlerde bir çok büyük deprem meydana gelmiş ve bunlardan bazıları yüzey kırığı oluşturmuştur. Grabenin KD–GB doğrultulu batı kesimi üzerinde yapılan detaylı arazi gözlemleri arkeolojik kalıntıların tarihsel dönemde meydana gelmiş büyük depremlerin yüzey kırıklarından etkilendiklerini ve deformasyona uğradıklarını göstermiştir.

Yüzyıllar boyu önemli medeniyetlere ev sahipliği yapmış olan Büyük Menderes grabeni arkeolojik kalıntılar açısından oldukça zengindir. Priene antik kenti kalıntıları ve Sazlıköy yakınlarında bulunan Osmanlı köprüsü grabenin kuzeybatı kenarında yer almakta ve tarihsel depremlerin izlerini taşımaktadırlar. Priene şehir merkezindeki ötelenmiş yapılarda ve Osmanlı köprüsünde yapılan LIDAR çalışmaları, grabenin kuzeybatısını sınırlayan fay üzerindeki hareketin normal faylanmanın yanında önemli ölçüde sağ yanal bileşenin de olduğunu göstermektedir. Tarihi Osmanlı köprüsünün güneydoğu ucunda ölçülen 76 cm düşey ve 43 cm sağ yanal yer değiştirme muhtemelen grabenin bu kesiminde meydana gelen 1846 depremi sonucu olmuştur.

Anahtar Sözcükler: Büyük Menderes Grabeni, aktif fay, arkeosismoloji, tarihsel deprem, LIDAR, Priene

Offset Archeological Relics on the Western Part of the Büyük Menderes Graben and Their Tectonic Implications

Önder Yönlü¹, Erhan Altunel¹, Volkan Karabacak¹,
H. Serdar Akyüz² & C. Çağlar Yalçiner¹

¹ *Eskişehir Osmangazi University, Department of Geological Engineering,
Meşelik, TR–26480 Eskişehir, Turkey (E-mail: oyonlu@ogu.edu.tr)*

² *İstanbul Technical University, Department of Geological Engineering, Maslak,
TR–34469 İstanbul, Turkey*

Büyük Menderes Graben is one of the most significant active tectonic structures of Western Anatolia. The graben lies between Denizli Basin in east and Aegean Sea in west. General trend of the graben is E–W but it changes to NE–SW between Germencik and Aegean Sea. The major boundary faults are located on the northwestern side of the graben and they are reactivated in historical and instrumental periods involved surface faulting. Detailed investigations on the NE–SW-trending part of the Büyük Menderes Graben shows that, archeological relics are affected and offset by large earthquakes during the historical period.

Büyük Menderes Graben is rich on well exposed archeological relics where historical earthquakes should have left some evidences. The ruins of the ancient city of Priene and an Ottoman bridge near Sazlıköy are located on the northwestern side of the graben and they are displaced by large historical earthquakes. LIDAR studies in the city center of the Priene and Ottoman bridge shows that the motion on the fault is vertical with considerably amount of dextral component. The 1846 earthquake probably occurred between Söke and Germencik and involved surface faulting which offsets the Ottoman bridge by 76 cm vertically and 43 cm dextrally.

Key Words: Büyük Menderes Graben, active fault, archeoseismology, historical earthquake, LIDAR, Priene

Pınara Antik Kentindeki (GB Türkiye) Sismik Kaynaklı Hasarların (Yarı) Nicel Değerlendirilmesi

Barış Yerli¹, Johan ten Veen², Manuel Sintubin³, Volkan Karabacak⁴,
C. Çağlar Yalçın⁴ ve Erhan Altunel⁴

¹ *Institute for Geology, Mineralogy and Geophysics, Ruhr University, Universitätsstrasse 150,
D-44801, Bochum, Germany (E-posta: baris.yerli@ruhr-uni-bochum.de)*

² *TNO Built Environment and Geosciences, P.O. Box 80015, 3508 TA, Netherlands*

³ *Geodynamics & Geofluids Research Group, K.U. Leuven, Celestijnenlaan 200E,
3001 Leuven, Belgium*

⁴ *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 26040 Meşelik, Eskişehir*

Arkeolojik sitelerdeki sismik kaynaklı hasarlar tarihsel depremler hakkındaki bilgimizi arttırmak açısından çok önemli ipuçları vermektir. (Yarı) Nicel yöntemler (yönel-çizgisel ölçümler, sayısal tarama teknikleri vs.) antik yapılardaki depreme bağlı hasarların insani veya diğer doğal sebeplerle ortaya çıkmış hasarlardan ayırd edilmesi konusunda güvenilir veriler sunmaktadır. Bu yöntemler ayrıca depreme bağlı hasarların sayısal olarak değerlendirilmesinde mümkün kılmaktadır. Üstünde duracağımız bu tarz yöntemlerin arkeolojik araştırmalarda sıkça kullanılması elde edilen sonuçların daha güvenilir ve belirleyici olmasını sağlayacaktır.

Likya dönemine ait Pınara antik kentinde bulunan yapılardaki sismik kaynaklı hasarların detaylı olarak incelenebilmesi için yarı-nicel yöntemler uygulanmıştır. Pınara antik kenti (MÖ 500 – MS 900) Eşen havzasının (GB Türkiye) batı sınırını oluşturan fay zonu üzerine kurulmuştur. Arkeolojik ve tarihsel veriler kentin en az üç büyük depreme (MS 141, 240 ve 1851) hasar gördüğünü göstermektedir, fakat bu depremlere ait fiziksel veriler (merkez üssü, büyüklüğü, sebep olan fay vs.) hakkında çok az şey bilinmektedir. Çalışma yapılacak bölgenin arkeosismolojik potansiyelinin değerlendirilmesi için yöntemsel bir yaklaşımla, paleosismolojiden arkeosismolojiye uyarlanmış olan mantık ağacı yöntemi Pınara’da uygulanmıştır. Pınara için hesaplanan bölge potansiyel faktörü arkeolojik kalıntıların eski depremlere ait kayıtları barındırabileceklerini göstermektedir.

Pınara’da yapılan arkeosismolojik gözlemler ve yıkılmış kolonlar, gerilme çatlakları, eğimlenmiş veya yıkılmış duvarlar ve pozisyonları değişmiş yapılardan elde edilen ölçümler varolan hasarın sismik kaynaklı olduğunu işaret etmektedir. Yapılan ölçümler ayrıca sistematik bir yönelme ortaya koymaktadır. Yıkılmış kolonlara ve ayrılmış yapısal eklemlerden elde edilen veriler DGD–BKB ve KKB–GGD yönlerini göstermektedir. Bu yönler genel olarak Pınara yakınındaki havza sınırı faylarının gidişatına paralellik veya diklik teşkil etmektedir. Oldukça yeni ve güvenilir bir tarama teknolojisi olan yersel-LIDAR (Light Detection and Ranging) cisimlerin veya yüzeylerin uzamsal özelliklerini yüksek çözünürlükte 3 boyutlu sayısal veri olarak aktarmaktadır. Bu teknik Pınara antik kentinde bulunan Roma dönemine ait tiyatroya uygulanarak mevcut deformasyonların sayısal haritalanmasında kullanılmıştır. Tiyatroya ait basamakların yatay yüzeylerine ait ölçümler basamakların sistematik olarak KB yönünde 0.65 ile 0.95 derece arasında eğimlendiğini göstermektedir. Daha önce pusula ile yapılan ölçümlerden hata payının 2 dereceden büyük olması nedeniyle bu hassasiyette sonuç alınamamıştır. Eğimlenmenin KD gidişatlı havza sınırını oluşturan faya dik olması, tiyatronun ve üzerine inşaa edildiği pleistosen terasın, faylanmış bloğun rotasyonu ile deforme olmuş olabileceğini işaret etmektedir. Tiyatronun eğimlenmesinin bu faya bağlı olduğu kabul edildiğinde geometrik olarak hesaplanan, fay üzerinde gelişen hareketin düşey bileşeni roma döneminden bu yana yaklaşık 4 m civarındadır. Hesaplanan yerdeğiştirme değeri, fayın özellikleri ve Pınara’da gözlemlenen şiddet değerinin en fazla VIII-IX (MSK) civarında olması bölgede gerçekleşmiş depremlerin büyüklüklerinin Mw ~6.5 değerini geçmediğini göstermektedir. Özetle, gözlemlenen ve hesaplanan bulguların ışığında Pınara antik kentindeki yıkımlarda ve tiyatronun eğimlenmesinde birden fazla depremin rol oynadığı ortaya çıkmaktadır.

Anahtar Sözcükler: arkeosismoloji, deprem kaynaklı hasarlar, nicel değerlendirme, aktif normal fay, lidar, güneybatı Türkiye

(Semi)Quantitative Assessment of Seismically Induced Damage at the Archaeological Site of Pinara (SW Turkey)

Barış Yerli¹, Johan ten Veen², Manuel Sintubin³, Volkan Karabacak⁴,
C. Çağlar Yalçiner⁴ & Erhan Altunel⁴

¹ *Institute for Geology, Mineralogy and Geophysics, Ruhr University, Universitätsstrasse 150,
D-44801, Bochum, Germany (E-mail: baris.yerli@ruhr-uni-bochum.de)*

² *TNO Built Environment and Geosciences, P.O. Box 80015, 3508 TA, Netherlands*

³ *Geodynamics & Geofluids Research Group, K.U. Leuven, Celestijnenlaan 200E,
3001 Leuven, Belgium*

⁴ *Eskişehir Osmangazi University, Engineering Faculty, Department of Geological Engineering,
Meşelik, TR–26040 Eskişehir, Turkey*

Seismically induced damage at the archaeological sites gives very important clues to increase our knowledge on historical earthquakes. The (semi)quantitative methods (e.g. directional measurements, digital scanning techniques) provide reliable data to distinguish seismic related damage from anthropogenic and other natural damages. These methods make also possible the numerical assessment of earthquake-related damage on archaeological structures. Archaeological research will benefit from a more frequent application of the discussed methods by gaining more significant and reliable results.

The semi-quantitative methods have been applied in Lycian ancient city of Pinara to get reliable data for the assessment of seismically induced damage. The ancient city of Pinara (500 BC – 900 AD) is located in the western margin fault zone of Eşen basin (SW Turkey). Archaeological and historical data suggest that the city has been struck by at least three major earthquakes (141, 240, and 1851 AD). To date, little is known about the physical parameters of these earthquakes (e.g. epicenter, magnitude, causative fault). To use a methodological approach which provides reliable evaluation of archaeoseismological site potential is needed for a dependable archaeoseismological work. The logic-tree methodology for archaeoseismology applied to Pinara. The evaluation of site potential factor for Pinara indicates that the palaeoearthquakes may have been recorded in the archaeological relicts.

The observations and measurements from fallen columns, tensile cracks, tilted or collapsed walls and disoriented structures in Pinara indicates that the damage are seismic related. These measurements reveal also a systematic of directions. The measured fall direction of columns show ESE–WNW and NNW–SSE directions and the measurements of opened joint directions indicate also ESE–WNW directions which are about perpendicular or parallel to the basin margin fault close to the Pinara. Ground-based LIDAR (Light Detection and Ranging) is a promising, rather new, scanning technology that determines spatial position of an object or surface and provides high-resolution 3-D digital data. This technique has been used to map the damage and overall attitude of a Roman Theatre in the ancient Lycian city of Pinara. The measured seating rows of the theatre show a systematic NW-trending tilt ranging between 0.65° and 0.95°, a resolution that could not be attained by previous manual compass readings because errors involved with compass are usually >2°. This tilt appears perpendicular to the NE-trending basin margin fault, suggesting that fault-block rotation may have been responsible for the tilt of Pleistocene terrace and the theatre which is build on. The estimated total normal-fault displacement on basin margin fault with the tilt of roman theatre is about 4 m since roman period. This displacement value, characteristics of fault and the damage pattern at Pinara which is indicating a maximum intensity of VIII-IX (MSK), earthquake magnitude for each event would not have exceeded Mw ~6.5. To sum up, the evidence suggests that several earthquakes are responsible for the damages and total tilt of the theatre in Pinara ancient city.

Key Words: archaeoseismology, earthquake damage, quantitative assessment, active normal fault, lidar, southwest Turkey

Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nde Karakteristik ve Karakteristik Olmayan Tekrarlanma Davranışı

Hisao Kondo¹, Akın Kürçer², Selim Özalp² ve Ömer Emre²

¹ *Geological Survey of Japan, AIST, Site 7, 1-1-1, Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567 Japan (E-posta: kondo-h@aist.go.jp)*

² *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, 06520 Balgat, Ankara*

Deprem döngüleri arasındaki kayma (atım) dağılımının tekrarlanabilirliği, diri fayların gelecekte üretebileceği depremlerin büyüklüğü ve zamanlamasının değerlendirilmesinde temel teşkil eder. Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS)'nde gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı karakteristik atım varsayımını araştırmaktır. KAFS'nin 1942 Erbaa-Niksar ve 1944 Bolu-Gerede deprem kırıkları üzerinde gerçekleştirilmiş olan üç boyutlu hendek çalışmalarındaki amaç eski depremlere ilişkin tarihlendirme ve kayma dağılımını eşzamanlı olarak ortaya koymaktır. Tarihsel kayıtlardan bu iki deprem segmentindeki eski depremlerin oluş zamanı ve kırık uzanımları görece olarak iyi bilinmektedir. Araştırmadaki sonuçlar; (1) KAFS'nin birkaç on km uzunluğundaki segmentlerden oluştuğunu, (2) geçmişteki büyük depremlerin çok segmentli faylanmalar tarafından üretildiğini, (3) her bir fay segmentinin kendine has tekrarlanma davranışı sergilediğini öngörmektedir. 1944 depreminde (M7.4) en büyük yerdeğiştirmenin meydana geldiği Gerede segmenti üzerindeki Demir Tepe lokalitesinde açılan hendeklerde 330 yıllık yarı-periyodik bir deprem tekrarlanma aralığı ve yaklaşık 5 metrelik atım tekrarlanması olduğu ortaya çıkarılmıştır. Uzunlukları birkaç on km ile yüzlerce km arasında değişen yüzey kırığı oluşturmuş farklı büyüklükteki eski depremlerde kırılmış olmasına karşın bu segmentteki her depreme ilişkin kayma miktarları karakteristik atım davranışını destekler. Diğer taraftan, 1942 depreminde 2.5 m atım gelişmiş Niksar segmenti üzerinde Ayvaz lokalitesinde açılan üç boyutlu hendek çalışmalarından elde edilen ön sonuçlar 1942 öncesindeki depremde 6 metrelik atım geliştiğini ve bunun olasılıkla 1668 Anadolu depremine karşılık geldiğini göstermektedir. Devasa büyüklükteki (~M 8) bu depremde 1942 ve 1944 deprem segmentlerini de kapsayacak şekilde neredeyse KAFS'nin yarısı kırılmıştır. Bu nedenle 1942 depremi karakteristik bir deprem özelliği göstermemektedir. Karakteristik olmayan bu davranış KAFS'inde farklı büyüklükte birçok depremin oluştuğuna işaret eder. Faydaki çok segmentli faylanmaları anlamının yolu 1942 deprem segmenti gibi makroskobik bariyer segmentlerini tanımaktan geçer.

Anahtar Sözcükler: diri fay, paleosismoloji, Kuzey Anadolu Fay Sistemi, 1944 Bolu-Gerede depremi, 1942 Erbaa-Niksar depremi

Characteristic and Non-characteristic Recurrence Behaviour on the North Anatolian Fault System

Hisao Kondo¹, Akın Kürçer², Selim Özalp² & Ömer Emre²

¹ *Geological Survey of Japan, AIST, Site 7, 1-1-1, Higashi, Tsukuba, Ibaraki,
305-8567 Japan (E-mail: kondo-h@aist.go.jp)*

² *General Directorate of Mineral Research and Exploration of Turkey (MTA),
Geological Research Department, Balgat, TR–06520 Ankara, Turkey*

Repeatability of surface slip distribution through earthquake cycles is basis to evaluate size and timing of future large earthquakes generated by active faults. In order to examine characteristic slip hypothesis on the North Anatolian fault system (NAFS), we have systematically performed 3D trenching survey on the 1944 Bolu-Gerede and the 1942 Erbaa-Niksar earthquake ruptures, to simultaneously reconstruct timing and slip associated with palaeoearthquakes. These two earthquake segments are relatively well-known on historical earthquake records indicating the timing and the rupture extent. The results suggest that (1) the NAFS is highly segmented in several tens km long, (2) past large earthquakes have been produced by the multi-segment faulting, and (3) each fault segment seems to have their own characteristics of recurrence behavior. At Demir Tepe site on the Gerede segment which recorded the maximum slip during the 1944 earthquake (M7.4), we revealed the repetition of ~5-m-slips and quasi-periodic repeat time of ~330 year. The reconstructed slip history gives us to support characteristic slip behaviour on the segment, although the segment had ruptured during the historical earthquakes with greatly varied rupture length from tens to hundreds km for each. On the other hands, at Ayvaz site on the Niksar segment which recorded 2.5-m-slip during the 1942 earthquake (M 7.0), the preliminary results of 3D trenching exhibit 6.0-m-slip during the penultimate event, probably corresponding to the 1668 Anatolian earthquake. Since this gigantic ~M8 earthquake ruptured through almost half of the entire NAFS, including both the 1944 and the 1942 earthquake segments, the 1942 type earthquake is not characteristic earthquake. This non-characteristic behavior implies various sizes of large earthquakes have occurred on the NAFS. The key for understanding multi-segment ruptures may be recognition of such macroscopic barrier segment like the 1942 earthquake segment.

Key Words: active fault, palaeoseismology, North Anatolian fault system, 1944 Bolu-Gerede earthquake, 1942 Erbaa-Niksar earthquake

Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Batı Kesiminde Karadere Segmentinin (Akyazı-Gölyaka Arası) Paleosismolojisi

Aynur Dikbaş¹, H. Serdar Akyüz², Pınar Gutsuz¹, Cengiz Zabcı²,
Taylan Sancar¹ ve Volkan Karabacak³

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü,
34469 Maslak, İstanbul (E-posta: adikbas@itu.edu.tr)

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
34469 Maslak, İstanbul

³ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 26480 Meşelik, Eskişehir
⁶ Işık Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 34980 Şile, İstanbul

17 Ağustos 1999 İzmit depreminde kırılan 5 segmentin en doğusunda yer alan Karadere Segmenti Akyazı (Adapazarı)-Gölyaka (Düzce) arasında uzanır. Segmentin gidişi K60–70°D, uzunluğu yaklaşık 25 km dir. Segment üzerinde 1999 İzmit depremine bağlı maksimum sağ yanal yerdeğiştirme bir yol ötelenmesinden 1.55 m. olarak ölçülmüştür. Depremde kırılan diğer segmentler çoğunlukla engebesiz bir morfolojiyi keserken Karadere segmenti dağlık bir bölgede yer alır. Gerek konumu, gerekse ötelenme dağılımıyla kırılan diğer segmentlerden farklılık gösteren Karadere segmenti, Kuzey Anadolu Fayı'nın çatallandığı kollardan biri üzerinde olması nedeniyle de özel bir öneme sahiptir. Segmentin dağlık bir bölgeyi kesmesi morfolojik ve jeolojik açıdan önemli veriler sağlar. Morfolojik veriler Karadere segmenti üzerindeki toplam sağ-yanal yerdeğiştirmenin yaklaşık 10 km olduğunu göstermektedir. Karadere segmenti üzerindeki tarihsel depremleri belirlemek amacıyla segmentin merkezi kesimlerinde iki adet hendek açılmıştır. Açılan her iki hendekdeki stratigrafik ve yapısal ilişkilerin değerlendirilmesi sonucunda 1999 öncesi 5 eski deprem belirlenmiştir. Her iki hendekte belirlenen deprem seviyelerine ait yaş aralıklarının birbiriyle korelasyonu mümkündür. Bu korelasyon ve tarihsel kayıtlarla denestirme sonucunda Karadere segmentinin 358, 554 ve 1419 depremlerinde faylandığı belirlenmiştir. Tarihsel depremlerden belirlenemeyen fakat 554–1000 yılları arasında ve 1000 yılları civarında meydana gelen diğer iki depremin izleri de tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: KAF, deprem, 17 Ağustos 1999, paleosismoloji, Karadere segmenti.

**Palaeoseismology of Karadere Segment (Between Akyazı-Gölyaka)
on the Western Part of the North Anatolian Fault**

Aynur Dikbaş¹, H. Serdar Akyüz², Pınar Gutsuz¹, Cengiz Zabcı²,
Taylan Sancar¹ & Volkan Karabacak³

¹ *İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Maslak,
TR–34469 İstanbul, Türkiye (E-mail: adikbas@itu.edu.tr)*

² *İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
Maslak, TR–34469 İstanbul, Türkiye*

³ *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Meşelik,
TR–26480 Eskişehir, Türkiye*

⁶ *Işık Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Şile, TR–34980 İstanbul, Türkiye*

Karadere segment is the easternmost segment that ruptured on 17 August 1999 İzmit earthquake. The segment trends N60–70°E between towns Akyazı (Adapazarı) and Gölyaka (Düzce) with a length of approximately 25 km. The maximum right-lateral displacement on the segment is measured as 1.55 m on a offset road during the August 1999 earthquake. The ruptured segments of the earthquake mainly trend along a plain morphology whether the Karadere segment cuts a mountainous area, that it prevents important morphological and geological data. Morphological data reveals a 10 km. of cumulative right-lateral displacement on Karadere segment. The segment has an importance in being an area where North Anatolian Fault splits into two branches, and it is different from the other seismic segments in means of the fewer amounts of slip and different strike. Two trench locations were chosen in the mid-part of Karadere segment in order to determine the past earthquakes. The analysis of structural and stratigraphical relations in the trenches revealed 5 past earthquakes except 1999 earthquake. Correlating the date of event horizons in the trenches with each other and with historical earthquakes, it is determined that 358, 554 and 1419 earthquakes may have ruptured the segment. Two past earthquakes, which could not be correlated directly with historical earthquakes, one on the second half of the first millennium, and the other around year 1000 are also determined in the trenches.

Key Words: NAF, earthquake, 17 August 1999, palaeoseismology, Karadere segment

Kuzey Anadolu Fayı'nın Orta Kesiminde Meyda Gelmiş Tarihsel Depremlerin Ağaç Halkası Yaşlandırma Yöntemiyle Tespiti

Özgür Kozacı¹, Ziyadin Çakır² ve Murat Körlü³

¹ *William Lettis & Associates, Inc., Walnut Creek, CA 94596, USA*
(E-posta: kozaci@lettis.com)

² *İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul*

³ *Orman İşleri Genel Müdürlüğü, 18400 Ilgaz, Çankırı*

Büyük aktif fayların davranış özelliklerinin belirlenmesi ciddi toplumsal sonuçları açısından temel bilimsel sorunlardan biridir. Sözkonusu özelliklerin belirlenmesi aktif faylarda meydana gelen büyük depremlerin zamansal ve mekansal dağılımlarının tespitini gerektirir. Paleosismik hendek kazıları Kuzey Anadolu Fayı üzerinde sözkonusu verilerin elde edilmesinde ciddi katkılar sağlamış olmakla birlikte verimli kazı alanları sınırlı sayıda olup, ¹⁴C yaşlandırması için uygun numune bulmak her zaman mümkün olmamaktadır. Diğer bir alternatif yöntem ağaç yaşlandırma teknikleri kullanarak mevsimsel ağaç büyüme halkalarındaki depremlere bağlı ani değişimlerin incelendiği dendrosismolojidir. Bu yöntem paleosismik çalışmaları desteklemekte ve bazı hallerde tamamlayabilmektedir. Dendrosismolojik yöntemleri Kuzey Anadolu Fayı'nın orta kesimindeki Ilgaz İlçesi yakınlarında bulunan ve paleosismik hendek kazısı yapmanın mümkün olmadığı, en yakın kazı alanı verisine batıda 30 km, doğuda ise 160 km mesafede bulunan 15 km'lik bir kesimde uyguladık. Çalışma alanımızda 1943 depreminin yüzey kırıkları hali hazırda çeşitli yeryüzü şekilleri vasıtası ile kolaylıkla tanımlanabilmektedir. 1943 depremi yüzey kırığı boyunca gelişen ağaçlar faydan uzakta yetişen aynı türden ağaçlara kıyasla oldukça farklı bir şekil sunmaktadırlar. Çalışma alanımızda ön araştırma olarak on adet ağaçtan numune topladık. Sözkonusu ağaçlardan sekiz adedi bariz bir şekilde önceki diğer araştırmalar sırasında da belirlenen şekilde hasar gördüğünü belgeledik. Numune topladığımız ağaçların yaşları >65 to >306 yıl arasındadır. Çalışmalarımız 1943 depremi ile ilgili klasik derecede numune özellikleri sergileyen büyüme halkası göstermiş olup, tarihsel 1668 depremi öncesi ya da sonrasında fayın bu kesimi üzerinde başka büyük bir deprem meydana gelip gelmediğini göstermesi açısından önemlidir.

Anahtar Sözcükler: Kuzey Anadolu Fayı, dendrosismoloji

Documenting Historical Earthquakes by Dendrochronology Along the Central North Anatolian Fault, Turkey

Özgür Kozacı¹, Ziyadin Çakır² & Murat Körlü³

¹ *William Lettis & Associates, Inc., Walnut Creek, CA 94596, USA
(E-mail: kozaci@lettis.com)*

² *İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul*

³ *Orman İşleri Genel Müdürlüğü, TR–18400 Ilgaz, Çankırı*

Understanding the behavior of major active faults is a fundamental scientific challenge of great societal relevance. Such an understanding can be achieved by documenting temporal and spatial distributions of large earthquakes along major faults. Paleoseismologic studies have contributed a significant amount of information about the spatial and temporal distribution of previous major earthquakes along the North Anatolian fault, however, good paleoseismologic trench sites are rare and it can be difficult to find appropriate materials for ¹⁴C dating. An alternative method is dendroseismology, in which perturbations in the annual growth rate of trees resulting from seismic damage can be detected using dendrochronological techniques. This approach can complement or, in some cases, supplant trench studies. We applied the dendro-seismological technique to a 15-km stretch of the central section of the North Anatolian fault (NAF) near the town of Ilgaz in north-central Turkey, where paleoseismic trenching is not applicable and the nearest paleoseismologic sites are located 30 km to the west and 160 km to the east. At our study site the surface rupture of the 1943 earthquake is still readily visible with well-defined mole tracks, scarps, and other geomorphic features. The trees that are situated along the fault trace present a distinct difference in their physical appearance relative to trees of the same species that are growing away from the fault trace. At our study site we cored and documented 10 trees along the fault as part of a preliminary study. Eight of these trees have clearly been disturbed in ways similar to tree disturbance documented at other sites during earlier dendro-seismological studies. The maximum ages of the trees yielded ages from >65 to >306 years. The core from a *Pinus sylvestris* exhibited a classic example of tree ring growth trauma associated with the 1943 earthquake. Our ongoing study should be able to either confirm or refute the possibility that no significant surface ruptures occurred along this stretch of the fault between the major 1668 and 1943 earthquakes.

Key Words: North Anatolian Fault, dendroseismology