
Kıta-ölçekli Faylar ve İlişkili Depremler: Gözlemler, Yeni Yaklaşımlar ve Modelleme

Continental Faults and Related Large Earthquakes: Observations, New Approaches and Modeling

Oturum Yürütücüleri / Conveners: Erhan Altunel & Mustapha Meghraoui

Aktif Faylar ve Sismik Tehlike Tahmini

Vladimir G. Trifonov

*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moskova, Rusya
(E-posta: trifonov@ginras.ru)*

Sismik tehlike değerlendirmesi (veya sismik bölgeleme), bir bölgede depremlerin neden olduğu şiddetli yer sarsıntısı ve diğer sismik etkilerinin insanlar ve yapılar üzerindeki olası tahminidir. Yapılacak ilk iş deprem üretebilecek sismik kuşakları belirlemek ve bu alanların sismik potansiyelini kestirmektir (örneğin belirli zaman aralıkları ile meydana gelebilecek en şiddetli depremler gibi). Bu çalışmanın yolları aktif fayların sismik kuşaklarını ve kabukta meydana gelen depremlerin hiposentir demetlerini ortaya koyma temeline dayanmaktadır. Bu nedenle, bölge ve yakın çevresinin deprenselliği ve aktif tektoniği çalışmanın temelini oluşturur.

Aktif tektonik (son birkaç on bin yılda meydana gelen tektonik aktivite) çalışmaları şunları içermektedir: aktif fayların belirlenmesi; fay segmentlerinin haritalanması; tektonik konumlarının belirlenmesi; içsel yapı ve hareketin yön ve şiddeti. Aynı zamanda, güncel tektonik aktivitenin diğer işaretleri ve bazı kaya birimlerindeki jeokimyasal değişimlerin jeodinamik etkilerinin tanımlanması da oldukça önemlidir. Örneğin son birkaç milyon yıldaki tektonik aktiviteyi ortaya koymak gibi, aktif fayların tektonik konumlarının belirlenmesi ve diğer aktif yapısal unsurlar neotektonik çalışmaları gerektirirler. Aktif faylardaki hareketin yönelim ve şiddet tahminleri tekrarlanan jeodezik gözlemler, fay düzlemi çözümlemeleri, doğal ve insan yapımı yapılarıdaki ötelenme ve deformasyon gözlemleri ile yapılmaktadır. Bu çalışmalar bölgedeki güncel jeodinamik modelin dizaynına olanak sağlamaktadır. Dahası tektonik konumları ve hareketin niteliğini doğrularak aktif fay segmentlerinin uzunluklarını ve depremlerin maksimum momentlerini karşılaştırarak aktif zonların sismik potansiyelini hesaplamaya olanak sağlamaktadır.

Deprensellik çalışmalarında, esas olan sadece deprem merkez üslerinin kümelenmesi değildir, bununla birlikte deprem kümelerinde maksimum moment belirlemek ve bunların tekrarlanma aralıklarını hesaplamakta vardır. Aletsel dönem deprem kayıtları bu hesaplamalar için tam anlamıyla yeterli değildir. Bu yüzden tarihsel dönem deprem aktivitesi, arkeosismisite ve paleosismisiteyi de hesaba katmak gerekmektedir. Türkiye gibi uzun dönem tarihsel kayda sahip olan bölgelerde, tarihsel deprem aktivitesi ve arkeosismisite aynı zaman aralığı ile ilişkilidir ve birbirini desteklemektedir. Arkeosismisite ve paleosismisite çalışmaları genel olarak aktif fay zonlarında yoğunlaşır. Şiddetli depremler farklı türde yıkımlar oluştururlar ve arkeosismolojik çalışmalar için bunların depremler tarafından oluşturulanlarını ayırt etmek oldukça önemlidir. Yapılar üzerindeki en belirgin deprem kanıtları yanal veya düşey olarak ötelenmiş duvarlar, rotasyona uğramış duvar taşları ve aynı yöne yıkılmış duvarlar veya sütunlardır. Hendek açma paleosismolojik çalışmaların en etkin yöntemidir ve kazılan fay kaması eskiden meydana gelmiş şiddetli depremlerin doğrudan kanıtlarını sunar. Fakat fay kamasının sismik olaydan daha eski ve yaşıt malzeme içerdiği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle kamanın yaşlandırılması deprem tarihinin alt sınırını verecektir. Tarihsel, arkeosismolojik ve paleosismolojik verilerin beraber değerlendirilmesi merkez üssü belirlenmesinde, tarihsel ve tarih öncesi depremlerin yaşı ve büyüklüğü ve son olarak yıkıcı depremlerin tekrarlanma aralıklarının hesaplanmasında önemli veriler sağlamaktadır.

Aktif tektonik ve deprensellik çalışmaları ile elde edilen veriler sismik kuşak parametrelerinin belirlenmesinde ve muhtemel yıkıcı depremlerin insanlar ve insan yapıları üzerindeki etkilerini ortaya koymakta kullanılmaktadır. Detaylı sismik tehlike değerlendirmeleri sismik kuşak içerisindeki somut sismik kaynakların belirlenmesi ve toplam tektonik hareket içerisinde kripin katkısını da içermektedir. Yıkıcı depremlerin toplam etkisini tespit edebilmek için tsunamiler, toprak kaymaları ve diğer ikincil etkilerde hesaba katılmalıdır. Sonuç olarak bu sunum Türkiye, Orta ve Yakın Doğu ülkeleri, Kafkaslar ve Orta Asya'dan örnekler içermektedir.

Anahtar Sözcükler: fay, sismik, aktif tektonik

Active Faults and Seismic Hazard Assessment

Vladimir G. Trifonov

Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, (E-mail: trifonov@ginras.ru)

Seismic hazard assessment (or seismic zonation) is estimation of strong motion and other seismic influence of possible earthquakes on constructions and people in some territory. Principal moment is identification of seismic zones producing earthquakes and estimation of seismic potential of the zones, i.e. the strongest crustal earthquakes, which can occur there for some time interval. Ways of these studies are based on manifestation of seismic zones by active faults and clusters of hypocentres of crustal earthquakes. So, the ways are studies of active tectonics and seismicity of the territory and its surrounding.

Studies of active tectonics (tectonic activity for the last several ten thousand years) include: identification of active faults; mapping of the fault segments; estimation of their tectonic position, inner structure, and sense and intensity of motion. Recognition of other signs of recent tectonic activity and geodynamic effects of geochemical changes within some rock units is important also. Identification and estimation of tectonic position of active faults and other living structural forms require studies of neotectonics, i.e. manifestations of tectonic activity for the last several million years. Estimation of sense and intensity of motion on active faults is grounded on repeated geodetic observations, earthquake focal mechanism definition, and more often on offsets and deformation of young natural objects (geological bodies and geomorphic features) and contemporary and ancient constructions. The studies give a possibility to design the recent geodynamic model of the region under studies and to estimate the seismic potentials of active zones by using a correlation between M_{max} of earthquakes and lengths of segments of active fault zones with corrections to their tectonic position and sense of motion.

In studies of seismicity, principal moments are not only clustering of epicenters, but also definition of the observed M_{max} of earthquakes in the clusters and estimation of their recurrence interval. The instrumental period of earthquake registration is not usually enough for these estimates. It is necessary to take into account also historical seismicity, archaeoseismicity, and paleoseismicity. In the regions with long registered history like Turkey, the historical seismicity and archaeoseismicity are related to the same time interval and supplement each other. Studies of archaeoseismicity and paleoseismicity are concentrated usually in active fault zones. Strong earthquakes produce different kinds of destruction and it is necessary for archaeoseismological studies to extract those that can be produced by earthquakes only. The most evident manifestations of seismic influence on the constructions are lateral and/or vertical bend of walls, rotation of wall blocks, and one way fall of walls and columns. Trenching is the most effective method of paleoseismological studies and excavated collivium wedge is considered to be by direct manifestation of past strong earthquake. It is true, but it is necessary to take into account that the wedge contains material that is synchronous to the seismic event and is older. So, dating of the wedge material as well as the pre-wedge layer gives the lower limit of the earthquake age. Its upper limit can be obtained by dating of the covering layer. The combined analysis of historical, archaeoseismological and paleoseismological data give a possibility to define epicentral areas, age and intensity of historical and prehistorical earthquakes and finally the recurrence interval of the strongest ones in the seismic zone under studies.

The combined data on active tectonics and seismicity are used to define parameters of seismic zones and influence of their possible strongest earthquakes on constructions and people. The detailed seismic hazard assessment includes also definition of concrete seismic sources within the seismic zone and contribution of creep into total tectonic motion. To estimate total influence of strong earthquakes, it is necessary to take into account also tsunamis, landslides and other secondary effects. All conclusions of the present paper are illustrated by examples from Turkey and adjacent countries of the Near and Middle East, Caucasus and Central Asia.

Key Words: fault, seismic, active tectonic

Doğu Anadolu Fayı Boyunca Deprem Kırıkları: Fay Segmentasyonu ve Olabilecek Büyük Depremlerin Potansiyel Yerleri

Mustapha Meghraoui¹ ve Erhan Altunel²

¹ *Institut Physique du Globe, 5 rue René Descartes, UMR7516 Strasbourg, France*
(E-posta: mustapha@eost.u-strasbg.fr)

³ *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 26040 Meşelik, Eskişehir*

Bu çalışmada, KD–GB uzanımlı Doğu Anadolu Fayı (DAF) boyunca meydana gelen büyük depremleri çalışmak, fay segmentasyonunu belirlemek ve büyük depremlerin tekrarlanma aralığını ortaya koymak amacıyla tarihsel deprem kayıtları, paleosismoloji ve arazide ölçülen ötelenme miktarları birlikte değerlendirilmiştir. Yüzey kırıklarının ayrıntılı haritalanması ve doğrultu boyunca atım dağılımları, fay zonunun kompleks geometriye sahip olduğunu göstermektedir. Tarihsel deprem kayıtları, 1820’den 1905’e kadar 7 den büyük ($M > 7$) depremlerin meydana geldiğini ancak 1871’den sonra fay zonunun kuzeydoğu kısmında bir yığılma olduğunu ortaya koymaktadır. Fay zonunun güneybatı kesiminde, Holosen dönemi aktivitesine ait belirtiler olmasına rağmen, Maraş segmentinde¹¹¹⁴, Osmaniye-Karataş segmentinde 1534 yılından bu yana büyük deprem kayıt edilmemiştir. Fay segmentlerinin uzun dönem davranışı, sismik tekrarlanmanın oluşunu ve sismik boşlukların lokasyonunu belirlemektedir. Anadolu ve Arap blokları arasında DAF boyunca elde edilen maksimum 9.7 ± 1.5 mm/yr GPS hızları, ötelenme miktarlarından elde edilen 8–10 mm/yr sol yönlü kayma hızı ile uyumludur. Geçici deprem kümelenmeleri ve geçmiş depremlerde birden fazla segmentin kırılması, Doğu Anadolu Fayı boyunca gelecekte olacak depremlerin büyüklüğü ve deprem aralıkları hakkında bilgiler sunmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Doğu Anadolu Fay Zonu, büyük deprem, sismik çevrim, fay segmentasyonu, atım dağılımı

Earthquake Ruptures Along the East Anatolian Fault: Fault Segmentation and Potential Locations for Future Large Seismic Events

Mustapha Meghraoui¹ & Erhan Altunel²

¹ *Institut Physique du Globe, 5 rue René Descartes, UMR7516 Strasbourg, France
(E-mail: mustapha@east.u-strasbg.fr)*

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

We combine field measurements of fault offsets, paleoseismology and historical seismology to study large earthquakes and constrain the fault segmentation and seismic cycle along the NE–SW-trending East Anatolian Fault (EAF). The detailed mapping of rupture zones showing structural restraining bends, releasing step-overs, patch and segment boundaries, and slip distribution along strike illustrate their geometrical complexities. The historical catalogue reports the occurrence of large earthquakes with $M > 7$ from 1820 to 1905 but with clustering beginning from 1871 along the north-eastern section of the EAF. Although evidence of late Holocene fault movements exists along the south-western section of the EAF, the Maras and Osmaniye-Karatas fault segments did not experience earthquake ruptures since 1114 and 1534, respectively. We observe that the long-term behaviour of fault segments and/or patches determines the occurrence of seismic sequences and the location of seismic gaps. The GPS velocities between Anatolia and Arabia provide an upper bound of 9.7 ± 1.5 mm/yr of left-lateral slip along the EAF are comparable to the 8–10 m/yr obtained from long term fault offsets. The temporal clustering and multi-segment earthquakes ruptures in the past with coupling between step-overs and stress change suggest the size and probable length of future large earthquakes along the EAF.

Key Words: East Anatolian Fault Zone, large earthquake, seismic cycle, fault segmentation, slip distribution

Ölü Deniz Fayının Kuzeyi'nde (Suriye) Meydana Gelen Büyük Deprem Serilerinin Etkileri

Reda Mohamed Sbeinati^{1,2} ve Mustapha Meghraoui²

¹ *Department of Geology, Atomic Energy Commission, Damascus, Syria
(E-posta: sbeinati@scs-net.org)*

² *Institut Physique du Globe, 5 rue René Descartes, UMR7516 Strasbourg, France*

Orta Doğu'da Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) boyunca birçok alanda güncel olarak yürütülen detaylı arkeo-paleosismolojik çalışmalarda deprem ile ilişkili faylanma ve hasarlar belirlenmiştir. ÖDFZ, tarihsel dönemde üzerinde büyük depremler meydana getiren ve iyi bilinen bir plaka sınırır. Depremlerle ilişkili ötelenmeler ve arkeolojik alanlardaki hasarlar hasarlar ilk olarak Missyaf yakınlarında bulunan ötelenmiş Roma dönemi Al Harif su kemerinde, Apamea antik kentinde, Krak des Chevaliers, Deir Dashed ve Kherbet Maez'de gözlenmiştir. Kuzey Suriye'deki "Kayıp Şehir" in kalıntılarında kilise ve özel yapılarda bulunan ciddi hasarlar depremin etkilerini ortaya koymaktadır. Fay zonu üzerinde yer alan haçlı kalesi, yollar ve su kanalları sismik hasarların izlerini taşımaktadır. Zengin tarihsel deprem kataloglarını kullanarak, arkeosismolojik ve paleosismolojik çalışmalardan elde edilen sonuçlar, tek ve toplam ötelenme ölçümleri ile fay segmentlerinin uzun dönem aktivitesi, sismik olayların tekrarlanma periyodunu ve sismik boşluğun lokasyonu ortaya konulmuştur. ÖDFZ'nin kuzey kesiminde 1139 ile 1209 tarihleri arasında güneye doğru göç eden 5 farklı ana depremin varlığı belirlenmiştir. Jeolojik ve jeodezik kayma hızı (4–7 mm/yıl) hesaba katıldığında, 800 yıldır suskun olan ve yakın gelecekte büyük bir depremin merkezi olabilecek ÖDFZ'nin Missyaf segmenti boyunca bir kayma eksikliği ortaya konulmuştur. ÖDFZ boyunca depremsellik açısından aktif alanlar üzerinde yapılan bu çok disiplinli çalışmada, depremlerin insan yapımı yapılar üzerindeki etkileri ortaya konulmuş ve olası sismik tehlike ve risk analizleri yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Ölü Deniz fayı, Suriye, tarihi depremler, paleosismoloji, arkeosismoloji, sismik tehlike, Krak des Chevaliers, Missyaf, Kherbet Maez, Deir Dahess, Apame

The Impact of Large Earthquake Sequences Along the Northern Dead Sea Fault in Syria

Reda Mohamed Sbeinati^{1,2} & Mustapha Meghraoui²

¹*Department of Geology, Atomic Energy Commission, Damascus, Syria*

(E-mail: sbeinati@scs-net.org)

²*Institut Physique du Globe, 5 rue René Descartes, UMR7516 Strasbourg, France*

Extensive studies in archeo-paleoseismology were recently conducted along the Dead Sea Fault (DSF) in the Middle East and several sites with evidence of earthquake-related faulting and damage were identified. The Dead Sea fault is a plate boundary well known for its large historical seismic events and surface faulting. Coseismic offsets and damage of archeological sites are identified primarily near Missyaf with the faulted Roman Al Harif aqueduct, at Apamea ancient city, Krak des Chevaliers, Deir Dahess and Kherbet Maez. The remains of ‘lost villages’ in northern Syria reveal the effect of earthquake with severe damage on churches and private buildings. Several crusader castles, roads and aqueducts located along the fault are described with evidence of seismic damage. Using the rich historical seismicity catalogue, the archeoseismic and paleoseismic results of individual and cumulative fault offsets we observe that the long-term behaviour of fault segments and/or patches determines the occurrence of seismic sequences and the location of a seismic gap. A predominant clustering of 5 earthquakes with southward migration from 1139 to 1202 along the northern Dead Sea Fault is determined. Taking into account the geologic and geodetic slip rate (4–7 mm/yr), a slip deficit is inferred along Missyaf segment of the DSF that shows a seismic quiescence since nearly 800 years and may be the location of a near future large earthquake. This multidisciplinary study of a seismically active region along the DSF is part of an assessment of the earthquake impact on man-made buildings, and an integrated analysis of their consequent seismic hazard and risk.

Key Words: Dead Sea Fault, Syria, historical earthquakes, palaeoseismology, archaeoseismology, seismic hazards, Krak des Chevaliers, Missyaf, Kherbet Maez, Deir Dahess, Apame

Deprem Kaynak Parametrelerinin Yapay Açıklık Radar Interferometrisi Tekniği İle Elde Edilmesi: Türkiye ve Civar Ülkelerden Örnekler

Ziyadin Çakır¹, Ahmet M. Akoğlu² ve Mustapha Meghraoui³

¹ *İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
34469 Maslak İstanbul (E-posta: cakirz@itu.edu.tr)*

² *TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü, 41470 Gebze, İzmit*

³ *Institut Physique du Globe, 5 rue René Descartes, UMR7516 Strasbourg, France*

Alp-Himalaya çarpışma kuşağında bulunan Türkiye ve civarında yakın geçmişte orta büyüklükte bir çok deprem meydana gelmiştir. Bunların başlıcaları Mw 6.0, 2000 Orta-Çankırı, Mw 6.1, 2002 Sultandağı-Afyon; Mw 6.3, 2003 Bam-İran; Mw 5.9, 2007 Sivrice-Elazığ depremleridir. Bu ve benzeri diğer depremlerin büyük bir kısmında yüzey kırığı oluşmamış veya deprem denizel ortamda meydana geldiği için doğrudan gözlenememiştir (örn. Mw 6.8, 2003 Boumerdes-Cezayir ve Mw 5.9, 2005 Seferihisar-Izmir depremleri). Depremlerin meydana geldiği bölgelerde sismik gözlem ağlarının da genelde yetersiz olması nedeniyle bu depremleri oluşturan fayların yeri, derinliği, boyutu, geometrisi ve hatta bazen kinematiki bile tam bilinmemektedir (örn. Mw 6.5, 2004 El Hüseyma-Fas). Geleneksel jeodezik yöntemlerle sık ölçüm alınamayan durumlarda fay kırığı yüzeye ulaşmış olsa dahi fay parametrelerinin tamamı tayin edilememektedir. Yapılan ölçümler genelde yüzey kırığı boyunca ve nadiren GPS istasyonları ve/veya üçgen ağlarının olması durumunda noktasal olarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu nedenle yüzey deformasyonunun en az 100km²'lik bir alanda yüksek çözünürlük ve santimetre altı hassasiyet ile ölçülebildiği Yapay Açıklık Radar (Synthetic Aperture Radar) interferometrisi (InSAR) tekniği yer bilimcilere benzersiz avantajlar sunmaktadır. Yakın zamanda yapılan çalışmalar deprem karakteristiklerinin, aktif deformasyon paternlerinin ortaya çıkartılmasında ve dolayısıyla deprem tehlikesinin doğru bir şekilde anlaşılabilmesi için InSAR tekniğine mutlaka başvurulması gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: yapay açıklık radarı interferometrisi, deprem kaynak parametreleri

Earthquake Source Parameters From Synthetic Aperture Radar Interferometry: Example from Turkey and Surrounding Regions

Ziyadin Çakır¹, Ahmet M. Akoğlu² & Mustapha Meghraoui³

¹ *İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
Maslak, TR–34469 İstanbul, Türkiye (E-mail: cakirz@itu.edu.tr)*

² *TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü, 41470 Gebze, İzmit*

³ *Institut Physique du Globe, 5 rue René Descartes, UMR7516 Strasbourg, France*

Recently there have been numerous earthquakes of medium to moderate size in Turkey and surrounding regions located within the Alp-Himalayan belt. Some of these are the Mw 6.0, 2000 Orta-Çankırı, Mw 6.1, 2002 Sultandağı-Afyon; Mw 6.3, 2003 Bam-Iran; Mw 5.9, 2007 Sivrice-Elazığ. These earthquakes like most other events of similar size do not produce clear coseismic surface ruptures. Some times they are located offshore (e.g., Mw 6.8, 2003 Boumerdes-Algeria and Mw 5.9, 2005 Seferihisar-Izmir). As result of this and general lack of adequate seismic networks, their source parameters like location, depth, dimension, geometry and even the kinematics of faults remains unknown. Even if the fault rupture reaches to the Earth's surface, some of these parameters may still not be determined because surface deformation field cannot be practically measured at an adequate density by conventional geodetic techniques. Measurements are generally taken along leveling lines or rarely at scattered GPS benchmarks if they exist. Thus, allowing high precision measurements at an unprecedented level of density (i.e. several measurements at every 100 m for tens of kilometers, typically 100x100 km), Synthetic Aperture Radar Interferometry (InSAR) provide a powerful tool for earthquake scientists. Recent studies of these earthquakes have clearly shown that (if possible) the InSAR techniques must be used to reveal the characteristics of these earthquakes, deduce patterns of active deformation, and thus to better asses seismic hazard.

Key Words: synthetic aperture radar interferometry, earthquake source parameters

29 Kasım 1795 Kahramanmaraş Depremi

Mahmut Palutođlu

*Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
23119 Elazığ (E-posta: mpalutoglu@firat.edu.tr)*

Bu çalışmada Konya Büyükşehir Belediyesi Koyunođlu Kütüphanesinin de bulunan Divan-ı Hasmi adlı eserin içinde Hafız Ahmet Nuri b. Hafız Halil'in derleyip yazdığı 'Tarih-i Zelzele-i Mar'aş' adlı hicri 1210 tarihinde Kahramanmaraş da meydana gelmiş olan deprem anlatılmaktadır. Bu yazma eserden depremin 29 Kasım 1795 cumartesi günü meydana geldiği anlaşılmaktadır. Manzum tarihlerden elde edilen bilgilerden depremin şiddeti VIII olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu şiddet değerinden depremin büyüklüğü 6,9 olarak hesaplanmıştır. Meydana gelen depremin artçılarının kırk gün devam ettiği, depremden önce suların kesildiği de eserde belirtilmiştir. Bu kaydın önemi yazma eserde belirtilen depremin yerli yabancı hiçbir deprem katalogunda yer almamasıdır.

Anahtar Sözcükler: Kahramanmaraş, deprem, büyüklük, şiddet, hicri takvim, miladi takvim

29 November 1795 Kahramanmaraş Earthquake

Mahmut Palutođlu

*Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
TR–23119 Elazığ, Türkiye (E-mail: mpalutoglu@firat.edu.tr)*

The present paper describes an earthquake, known as ‘*Tarih-i Zelzele-i Mar’as*’; the information is compiled from a book entitled *Divan-ı Hasmi* by Hafız Ahmet Nuri b. hafız Halil in *Divan- Hasmi*. The book is available in the Konya Metropolis City Hall Library. The event occurred in 29 November 1795 on Saturday. Based on the information given in the book, the estimated intensity of earthquake is VIII, while the magnitude, 6.9. The book also reports that the after shocks continued for about 40 days. There were also reports of interruptions in fresh water spring flows. It is important to note that this earthquake is not listed in any of the earthquake catalogues.

Key Words: Kahramanmaraş, earthquake, magnitude, intensity, muslim calendar, gregorian calendar

Kuzey Anadolu Fayı Üzerinde Kozmojenik Yaşlandırma Metodları Kullanarak Jeolojik Kayma Hızlarının Belirlenmesi: Avantajlar ve Dezavantajlar

Özgür Kozacı¹, Robert Finkel² ve James Dolan³

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

² *University of California, Department of Earth and Planetary Sciences,
307 McCone Hall, Berkeley, CA 94720-4767, USA*

³ *University of Southern California, Department of Earth Sciences, CA 90089, USA*

Kozmojenik çekirdek yaşlandırma yöntemlerinin gelişmesi ile yerbilimciler daha önce yaşlandırılması mümkün olmayan yeryüzü şekillerini yaşlandırma imkanı buldular. Kozmojenik yaşlandırma yöntemini kullanarak Kuzey Anadolu Fayı üzerinde ilk jeolojik kayma hızı verilerini tespit ettik. Kuzey Anadolu Fayı'nın orta kesiminde yürüttüğümüz çalışmalar bu yöntemin fay davranış özelliklerinin çeşitli zamansal ve mekansal boyutlarda sayısal olarak belirlenmesinde oldukça etkili olabileceğini gösterdi. Ancak, herhangi bir yeryüzü şeklinin örnekleme yapılmadan önce, örnekleme sırasında ve sonrasında hata paylarının belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Atım anahtar noktasının tespiti, yüzey seçimi, örnekleme stratejisi, kalıtsal yaş, erozyon, yükseklik, kar örtüsü, gökyüzü açıklığı, enlem, numune hazırlama yöntemi, ve tercih edilen izotop üretim modeli sonuçları ciddi oranlarda etkileyebilmektedir. Bu özelliklerin ve gerçekçi hata paylarının hassasiyetle kaydedilmesi, güvenilir ve güncellenebilir bir veri tabanı oluşturulmasında son derece büyük öneme sahiptir. Mümkün olan durumlarda ve çalışma alanlarında farklı yaşlandırma yöntemlerinin karşılaştırması hata oranlarının azaltılmasında etkili olduğu gibi yaşlandırma tekniklerinin geliştirilmesinde de etkin yaklaşımlardır.

Anahtar Sözcükler: kozmojenik çekirdek yaşlandırma yöntemleri, jeolojik kayma hızları, Kuzey Anadolu Fayı

Terrestrial Cosmogenic Nuclide Dating in Determining Geologic Slip Rates Along the North Anatolian Fault: Advantages and Caveats

Özgür Kozacı¹, Robert Finkel² & James Dolan³

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

² *University of California, Department of Earth and Planetary Sciences,
307 McCone Hall, Berkeley, CA 94720-4767, USA*

³ *University of Southern California, Department of Earth Sciences, CA 90089, USA*

With the application of terrestrial cosmogenic nuclide (TCN) dating methods earthscientists are now able to place quantitative age constraints on a variety of landforms that was not possible to date before. We have conducted the first geological slip rate study on the North Anatolian fault that used TCN. Our results from the central section of the NAF showed that this technique can be highly efficient in quantitatively characterizing the fault behavior in various temporal and spatial scales. However, special attention should be given to determining uncertainties before, during, and after sampling a specific geomorphic feature. Factors such as determining the offset piercing point, surface selection, sampling strategy, inheritance, erosion, elevation, snow cover, shielding, latitude, sample preparation, and production rate used in age calculation significantly affects the end results. Detailed documenting of these factors and associated uncertainties realistically is extremely important for building a reliable and updateable database that can be used by other researchers in the future. Cross-correlation of dating results using different methods at individual sites where possible usually helps to reduce the uncertainties and improve dating techniques.

Key Words: terrestrial cosmogenic nuclide dating, geologic slip rates, North Anatolian Fault

Marmara Denizi'nde Olabilecek Büyük Depremler Hakkında: İstanbul'daki Deprem Tehlikesinin Yeniden Değerlendirilmesi

Kuvvet Atakan¹ ve Mathilde B. Sørensen²

¹ *Department of Earth Science, University of Bergen, Allegaten 41, N-5007 Bergen, Norway
(E-posta: atakan@geo.uib.no)*

² *GFZ German Research Centre for Geosciences, Postfach 601553, Potsdam 14415, Germany*

Marmara Denizindeki deprem potansiyeli uzun süredir, özellikle 1999 İzmit ve Düzce depremleri sonrası ilgi çeken bir konu olmaktadır. Bu bölgenin deprem tehlikesi geleneksel olarak tarihsel ve aletsel dönemlerdeki deprem verilerine bağlı istatistik hesaplarla elde edilmiştir. Bu tür yöntemler genellikle fay kırılması esnasındaki kompleks hareketi ve bunun fiziksel altyapısını göz ardı eder. Buna karşılık olarak, son senelerde fay kırığının kinematik ve dinamik olarak değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkan hibrid yer hareketi simülasyon yöntemleri güncellik kazanmıştır. Bu tür simülasyonlarda kullanılan kritik parametreler ancak paleosismik yöntemlerle elde edilebildiği için, paleosismoloji konusu deprem tehlikesi hesaplarından ortaya çıkan sonuçların geliştirilmesi açısından çok önemli bir potansiyele sahip olmaktadır. Marmara Denizinde olabilecek depremler esnasındaki fay kırılmasındaki kompleks yapı (örneğin; fay odak çözümü, pürüzlerin yeri ve büyüklüğü, kırılmanın başlangıç noktası, gerilim düşme miktarı, kırılma hızı, enerjinin yükseliş süresi gibi parametreler) hibrid yer hareketi simülasyonları yöntemi ile uygulamaya konulmuştur. Değişik paleosismolojik verilerin önemi İstanbul'daki deprem tehlikesi göz önüne alınarak analiz edilmiştir. Buna ek olarak, kritik parametrelerin gerçekçi olarak elde edilmesi konusu tartışılmış olup bunların deprem tehlikesi açısından duyarlılıkları göz önüne alınmıştır.

Anahtar Sözcükler: sismik tehlike, aktif tektonik, Kuzey Anadolu Fayı, paleosismoloji, Marmara Denizi

On the Occurrence of Future Large Earthquakes in the Marmara Sea: Seismic Hazard in İstanbul Revisited

Kuvvet Atakan¹ & Mathilde B. Sørensen²

¹ *Department of Earth Science, University of Bergen, Allegaten 41, N-5007 Bergen, Norway
(E-mail: atakan@geo.uib.no)*

² *GFZ German Research Centre for Geosciences, Postfach 601553, Potsdam 14415, Germany*

Earthquake potential in the Marmara Sea has been a subject of interest for many years, especially following the two destructive earthquakes in 1999 in İzmit and Düzce. Seismic hazard assessment in this region has traditionally been treated probabilistically based on the statistical analysis of the historical and instrumental earthquake catalogues. Such an approach usually ignores the fault rupture complexity and its physical basis. In recent years, however, ground motion simulation techniques based on either kinematic or dynamic treatment of the fault rupture have gained popularity due to their capacity to account for the physical processes that underlie the earthquake occurrence. Most of the crucial input parameters in these simulations can be assessed by palaeoseismology and hence have tremendous potential to improve the resulting earthquake hazard assessment. Hybrid ground motion simulation techniques taking into account the fault rupture complexity through a number of kinematic and dynamic parameters (e.g., focal mechanism, location and size of the asperities, rupture initiation point, stress drop, rupture velocity, rise time) are applied for scenario earthquakes in the Marmara Sea. Significance of various palaeoseismological data are analyzed with special emphasis on the assessment of seismic hazard in İstanbul. In addition, challenges in establishing the critical parameters reliably are discussed and the sensitivity of the results to these critical parameters are quantified.

Key Words: seismic hazard, active tectonics, North Anatolian Fault, palaeoseismology, Marmara Sea

Kuzey Anadolu Fayı (Türkiye) 1943 Segmentinin Sismik Davranışı

Aurelia Hubert-Ferrari^{1,2}, Jeff Fraser¹, Kriss Vanneste¹, Sevgi Altınok³,
Laureen Drab², Ulaş Avşar¹ ve Erhan Altunel³

¹ *Royal Observatory of Belgium Seismology Section, Avenue Circulaire 3, 1180 Brussels, Belgium*

² *Ecole Normale Supérieure de Paris, Laboratoire de Geologie, 24 rue Lhomond,
75231 Paris cedex 5, France*

³ *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 26040 Meşelik, Eskişehir
(E-posta: ealtunel@ogu.edu.tr)*

Kuzey Anadolu Fayı'nın 1939 ve 1999 yılları arasında batıya göç eden 7'den büyük deprem aktivitesi iyi bilinmektedir. Avrupa Komisyonu tarafından desteklenen 'Sismik Çevrim' Marie Curie projesi fay zonunun bu sismik davranışını incelemeyi amaçlamıştır. Bu sunum, Kuzey Anadolu Fayı'nın orta kesimlerinde 1943 depreminin yaklaşık 280 km'lik yüzey kırığı boyunca elde edilen paleosismolojik ve jeomorfolojik sonuçları içermektedir.

Ladik Gölü yakınlarında Destek'te ve Kamil-Kargı yakınlarında Elmacık'ta iki yeni paleosismik çalışma alanından elde edilen veriler; Ilgaz, Havza ve Alayurt'ta daha önceleri ortaya konulanlarla birlikte değerlendirilmiştir. Bütünleştirilmiş veriler 240 km mesafede yayılmış bu hendeklerde son derece benzer deprem kayıtları ortaya koymuştur. Bu kayıtlar 1943 fay segmenti boyunca önemli bir sismik engel eksikliğini ortaya koymaktadır.

Kamil yakınlarında birkaç alanda elde edilen jeomorfolojik veriler Kuzey Anadolu Fayı 1943 segmenti boyunca tipik kayma özelliklerinin dışında deliller sunmuştur. 1943 depremi ile ilişkili yeni ötelenme ölçümleri, daha önceden belgelenmiş, 1–2 m'lik sağ yanal ötelenmeleri doğrulamaktadır. Bununla birlikte radiokarbon teknikleri ile yaşlandırılan jeomorfolojik ötelenme özellikleri 1668 ve 1050 depremleri sırasında kayma miktarının 8–10 m'ye ulaştığını ortaya koymuştur.

Anahtar Sözcükler: Kuzey Anadolu fayı, sismik çevrim, paleosismoloji, sismik bariyer, kayma, deprem

Seismic Behaviour of the 1943 Segment of the North Anatolian Fault, Turkey

Aurelia Hubert-Ferrari^{1,2}, Jeff Fraser¹, Kriss Vanneste¹, Sevgi Altınok³,
Laureen Drab², Ulaş Avşar¹ & Erhan Altunel³

¹ *Royal Observatory of Belgium Seismology Section, Avenue Circulaire 3, 1180 Brussels, Belgium*

² *Ecole Normale Supérieure de Paris, Laboratoire de Géologie, 24 rue Lhomond,
75231 Paris cedex 5, France*

³ *Eskişehir Osmangazi University, Engineering Faculty, Department of Geological Engineering,
Meşelik, TR–26040 Eskişehir, Turkey (E-mail: ealtunel@ogu.edu.tr)*

The North Anatolian Fault is well-known for its remarkable sequence of westward propagating earthquakes of magnitude greater than 7, which occurred between 1939 and 1999. The ‘Seismic Cycle’ Marie Curie project funded by the European Commission focuses on characterizing its seismic behavior. We present here paleoseismological and geomorphological results obtained on the central part of the North Anatolian Fault affected by the 280 km long 1943 earthquake rupture.

Paleoseismic data integrates the two new paleoseismic sites at Destek, near Ladik Lake and at Elmack near Kamil and Kargı with existing palaeoseismic trenches at Ilgaz, Havza and Alayurt. The integrated data shows a very similar earthquake record in all these trenches separated by up to 240 km, clearly highlighting the lack a significant seismic barrier along the 1943 fault segment.

Geomorphological data from several sites near Kamil suggest non-characteristic slip along the 1943 segment of the North Anatolian Fault. New offset measurements linked to 1943 earthquake confirm the small 1 to 2 m dextral slip already documented. However offset geomorphological markers, which ages were constrained using radiocarbon dating, indicate that slip during the 1668 and 1050 earthquakes were very large reaching 8 to 10 m.

Key Words: North Anatolian Fault, seismic cycle, palaeoseismology, seismic barrier, slip, earthquake

Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Meydana Gelen Yüzey Kripinin 'Yersel LİDAR Sistemi' Kullanılarak Takip Edilmesi

Volkan Karabacak¹, Ziyadin Çakır², Erhan Altunel¹ ve Önder Yönlü¹

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

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

Depremsellik bakımından dünyanın önemli aktif yapılarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nu oluşturan fayların bazı kesimleri serbest bir şekilde yani deprem dalgaları üretmeksizin kaymaktadır. Asismik yüzey kripti (creep) ismi verilen bu tektonik hareket bazı durumlarda uzun dönem plaka hızından daha düşük olmaktadır ki, bu durumda böylesi faylar üzerinde deprem olma tehlikesi halen devam etmektedir. Dolayısıyla krip hareketinin hassas şekilde ortaya konulması fay civarındaki bölgelerde deprem tehlikesinin değerlendirilmesinde hayati önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, KAFZ üzerinde İsmetpaşa (Eskipazar-Karabük) ve Destek (Taşova-Amasya) yakınlarında 4 ayrı noktada varlığı bilinen krip hareketine bağlı morfolojik değişimler, literatürde ilk kez 'yersel LİDAR (Light Detection and Ranging) sistemi' kullanılarak dönemsel olarak ölçülmüştür. LİDAR teknolojisinin sunduğu kısa zamanda ve yüksek hassasiyette 3 boyutta koordinatlı ölçüm yapabilme yöntemi sayesinde, daha önceki çalışmalarda KAFZ boyunca belirli alanlarda sınırlı kalmış ve hassas olarak ortaya konulamamış krip hareketleri ortaya çıkartılmıştır.

Elde edilen 18 aylık sonuçlarda, Destek (Taşova-Amasya)'te ölçümü yapılan duvarın tek parça halinde hareket ederek üzerinde kırılma gerçekleşene kadar bükülme eğiliminde olduğu ortaya konulmuş ve yaklaşık 0.7 ± 0.3 cm/yıl civarında sağ yanal bir krip hareketi tespit edilmiştir. İsmetpaşa (Eskipazar-Karabük)'da ölçümü yapılan duvarlarda ise gözlenen kırık boyunca yaklaşık 1.3 ± 0.2 cm/yıl'lık bir sağ yanal yer değiştirme ortaya konulmuştur. Bu lokasyonlardaki deformasyon 'yersel LİDAR' ile 18 ay daha ölçülecek ve elde edilen sonuçlar diğer metotlardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır. Böylece, 'yersel LİDAR' teknolojisinin krip hareketinin belirlenebilmesinde ne derece başarılı olacağı ortaya konulacak ve başarılı sonuçlar elde edilmesi durumunda bu teknoloji diğer aktif alanlarda da kullanılacaktır.

Anahtar Sözcükler: Kuzey Anadolu fay zonu, krip, LİDAR

Determination of Creep with Using ‘Ground-Based LIDAR System’ on North Anatolian Fault Zone

Volkan Karabacak¹, Ziyadin Çakır², Erhan Altunel¹ & Önder Yönlü¹

¹*Eskişehir Osmangazi University, Department of Geological Engineering,
Meşelik, TR–26040 Eskişehir, Turkey (E-mail: karabacak@ogu.edu.tr)*

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

The North Anatolian Fault Zone (NAFZ), one of the most seismically active structures of the Eastern Mediterranean, displays a rare phenomenon of aseismic surface creep along some of its segments. As a result of this, some faults are known to move freely without producing earthquakes. Along some faults, this motion may be much less than the long-term fault slip rate, in which case such faults are still capable of producing large earthquakes. Therefore, measuring and deducing the rate and extent of aseismic creep is important for evaluation of earthquake risk around such faults.

In this study, creep movements have been measured using a ground-based LIDAR (Light Detection and Ranging) system, for the first time around İsmetpaşa (Eskipazar-Karabük) and Destek (Taşova-Amasya) sections of the NAFZ. LIDAR provides 3D coordinated measurements in short time and high sensitivity. We have mapped at four different sites some manmade monuments crossed by the NAF during three field campaigns separated by six-month intervals. The results show that the wall in Destek (Taşova-Amasya) tends to bend in one-piece till breaking and a right-lateral creep movement about 0.7 ± 0.3 cm/year was determined on it. The other three walls are located in İsmetpaşa region (Karabük) where a right-lateral creep movement of up to 1.3 ± 0.2 cm/year was determined. Measurements on these locations will be carried out in the next campaign of summer 2009 and will be compared with previous results. We demonstrate that the LIDAR technology can be successfully applied to determination of surface fault creep.

Key Words: North Anatolian fault zone, creep, LIDAR

1953 Yenice-Gönen Depremi Yüzey Kırığının Fay Geometrisi, Segmentasyonu ve Atım Dağılımı, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Güney Kolu, KB Türkiye

Fatma Belindir¹ ve Kadir Dirik²

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

² Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06532 Beytepe, Ankara

18 Mart 1953 Yenice-Gönen depremini (M_s 7.2) üreten Yenice-Gönen fayı (YGF) Güney Marmara bölgesinde Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun güney kolu üzerinde yer alır. 1953 depremi, batıda Sazak köyü güneybatısından doğuda Gönen doğusuna kadar genel olarak KD-GB doğrultusunda ve yaklaşık 60 km uzunluğunda olan sağ yönlü doğrultu atımlı yüzey kırığı oluşturmuştur. Ayrıntılı yüzey kırığı haritalaması YGF'nin geometrik ve yapısal süreksizliklerine göre, uzunlukları 5 km ile 19 km arasında değişen beş ana fay segmentinden oluştuğunu gösterir. Bu segmentler, batıdan doğuya doğru Sazak, Yenice, Seyvan-Karasu, Ortaoba-Kumköy ve Gönen segmentleri olarak adlandırılmış ve sırasıyla fayın önemli miktarda normal bileşen kazanması, doğrultunun değişmesi, sıkıştıran sıçrama ve yüksek açılı sıkıştıran büklüm ile birbirlerinden ayrılmıştır. Ayrıca, Sazak ve Gönen segmentleri de alt bölümlere ayrılıp, bu bölümler YGF'nin batı ucunda serbestleşen sıçramalarla ve doğu ucunda fayın kollara ayrılması ile sınırlandırılır.

1953 depremine ait izler fay boyunca pek çok yerde köstebek izi yapılar, açılma yapıları ve fay sarplıkları şeklinde gözlenir. YGF boyunca, dere yatakları, kuru dereler, fay sarplıkları, sulama kanalları, stabilize yollar, çitler ve tarla sınırları gibi jeomorfolojik ve kültürel özellikteki yapılardan ölçülen sağ yanal atım değerleri ve düşey atım değerleri atım dağılımında değerlendirilmiştir. Sağ yanal atım değerleri 65 cm ile 490 cm arasında değişirken düşey atım değerleri 40 cm ile 175 cm arasındadır. YGF boyunca ölçülen toplam atım değerleri ise 5 m ile 25 m arasında değişmektedir. 1953 depremi atım dağılımı, atım değerlerindeki ani değişimlerin segment sınırları ile uyumlu olduğunu ve ana fay segmentleri arasındaki etkileşimi gösterir. Toplam atım dağılımının 1953 depremindeki kaymanın çarpanları şeklinde gelişmesi ise YGF'nin karakteristik bir deprem segmenti olabileceğini desteklemektedir.

Anahtar Sözcükler: 1953 Yenice-Gönen depremi, Yenice-Gönen fayı, fay segmentasyonu, atım dağılımı, toplam atım dağılımı

Fault Geometry, Segmentation and Slip Distribution of the 1953 Yenice-Gönen Earthquake Surface Rupture, Southern Strand of North Anatolian Fault Zone, NW Turkey

Fatma Belindir¹ & Kadir Dirik²

¹ Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Balgat,
TR–06520 Ankara, Türkiye (E-mail: ftokay@mta.gov.tr)

² Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, TR–06532 Ankara, Türkiye

The Yenice-Gönen fault (YGF) which has produced the March 18, 1953 Yenice-Gönen earthquake (M_s 7.2) is located on the southern strand of the North Anatolian Fault Zone in the southern Marmara region. The 1953 earthquake produced an approximately 60 km long, NE–SW-trending right-lateral strike slip surface rupture extending from southwest of Sazak village in the west to the east of Gönen in the east. Detailed mapping of the surface rupture shows that the YGF consists of five main segments having lengths varying between 5–19 km based on the geometric and structural discontinuities. These segments, from west to east, are named as the Sazak, Yenice, Seyvan-Karasu, Ortaoba-Kumköy and Gönen segments which are separated from each other by gaining significant amount of normal component during faulting, changing fault direction, restraining stepover and high-angle restraining bend, respectively. Furthermore, the Sazak and Gönen segments are also divided into sub-sections and these sections are bounded by releasing stepovers in west end and fault branches in the east end of the YGF.

The traces of 1953 earthquake were observed as mole tracks, open cracks and fault scarps in many locations along the fault. The right lateral and vertical offsets measured from geomorphological and cultural features such as creek beds, dry creeks, fault scarps, irrigation channels, pavement roads, fences and field boundaries along YGF were evaluated in slip distribution. While the right lateral offset values vary between 65 cm to 490 cm, the vertical offset values are between 40 cm to 175 cm. Whereas the measured cumulative offset values vary between 5 m to 25 m along YGF. The 1953 earthquake slip distribution indicates that the abrupt changes in offset values are consistent with segment boundaries and interaction between the main fault segments. The cumulative slip distribution developed as the multiples of the 1953 earthquake slip supports that the YGF is to be a characteristic earthquake segment.

Key Words: 1953 Yenice-Gönen earthquake, Yenice-Gönen fault, fault segmentation, slip distribution, cumulative slip distribution