

Türkiye ve Yakın Çevresinin Aktif Fayları Veri Bankası ve Deprem Tehlikesinin Araştırılması

Active Fault Data Base and Assessment of Earthquake Hazard for Turkey and Surrounding Regions

HİLAL YALÇIN¹, LEVENT GÜLEN¹, MURAT UTKUCU¹

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 54187, Serdivan-Sakarya

Geliş (received) : 10 Temmuz (July) 2013

Kabul (accepted) : 02 Aralık (December) 2013

ÖZ

Bu çalışmada Türkiye ve yakın çevresinin aktif fayları Uluslararası Ortadoğu'nun Depremsellik Modeli (EMME) projesinin bir alt çalışması olarak sayısallaştırılmış, coğrafi bilgi sistemi tabanlı ArcGIS yazılımı kullanılarak en güncel verilerden oluşan bir veri bankası hazırlanmıştır. Çalışmada aktif faylar segmentlere, segmentler de magnitüdü $M_w \geq 5.5$ olan depremleri üretme potansiyeline sahip olduğu bilinen fay kesmelerine bölünmüştür. Aktif faylar veri tabanı her bir segment için 36 veri girdisi içermekte olup önemli fiziksel parametreler (fayın uzunluğu, doğrultusu, eğimi, sapma açısı, eğim yönü, kayma hızı vs.) tanımlanmıştır. Türkiye için aktif faylar veri tabanında 1070 adet "fay kesmesi"nin fiziksel parametreleri tanımlanarak, 23356 km uzunluğunda "fay kesme"lerinin parametre girişi yapılmıştır. Her fay kesmesi için elde edilen fiziksel parametrelerin kaynakları (makale, rapor, harita vb.) belirlenmiş bir formatta bir araya getirilerek, pdf dosyalarından dijital bir kütüphane hazırlanmıştır.

İkinci aşamada ise Türkiye ve çevresi için çalışılan alan 54 adet deprem kaynak zonuna bölünmüş ve deprem tehlike haritaları oluşturulmuştur. Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen 1900-2010 yılları arası homojen deprem kataloğu (Kalafat ve diğ., 2011) kullanılarak, her bir zon için depremsellik parametreleri hesaplanmış elde edilen b değerlerinin genellikle 0.6-1.4 arasında değiştiği görülmüştür. En çok enerji açığa çıkaran bölgeler Türkiye'de Kuzey Anadolu Fay Zonu, Doğu Anadolu Fay Zonu, Ege yayının doğusu, Güney Marmara ve Kıbrıs yayının batısında tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aktif faylar, Depremsellik, b değeri, Deprem tehlikesi, Türkiye ve çevresi.

ABSTRACT

In this study, an active fault database in ArcGIS format is prepared as part of an international project, namely Earthquake Model of Middle East (EMME) Project for Turkey and surrounding regions. The active fault database is prepared for fault segments that may generate earthquakes with moment magnitude greater than 5.5. Fault sections are defined as part of a fault segment where at least one fault parameter (strike, dip, rake, seismogenic depth) is changed. The active fault database consists of 36 columns of entries such as fault length, strike, dip, rake, dip direction, slip rates, slip type etc. for each individual fault section. The entries also include the reference codes from which the parameters have been retrieved and compiled. Separately full references were given in a relational database. Additionally a digital library containing electronic files of the references is also compiled. In total, 1070 fault sections have been defined, having a total fault length of 23.356 km.

In the second part of the study, the study area has been divided into 54 earthquake source zones. Using a seismicity catalogue (Kalafat et al., 2011) covering the time period 1900-2010 seismicity parameters have been computed

for each source zone. The b values of Gutenberg-Richter equation vary between 0.6 and 1.4 in Turkey. The computations have suggested that the North Anatolian and East Anatolian Fault Zones, the Aegean subduction zone, the western Cyprean subduction zone are the areas with the most notable seismic energy release.

Keywords: Active faults, Seismicity, b value, Earthquake hazard, Turkey and surrounding regions.

GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca çok büyük can ve mal kayıplarına yol açan doğal felaketlerle karşı karşıya kalındığı göz ardı edilemeyecek bir gerçektir. Bu doğal felaketlerin başında, ekonomik ve sosyal açıdan çok büyük kayıplara yol açan depremlerin oluşturduğu felaketler yer almaktadır. Türkiye ve yakın çevresi aktif tektoniği ile önemli deprem felaketlerinin yaşandığı bir bölgedir. Bu açıdan, bölgede depremselliğin izlenmesi, kayıt altına alınması ve bilimsel olarak irdelenmesi büyük önem arz etmektedir.

Son onbeş yılda istatistiklere göre dünyada yarım milyon insan depremler ve oluşturdukları tsunamiler sonucu hayatını kaybetmiştir (Ambraseys ve Jackson, 1998; Nur ve Cline, 2000; Ambraseys, 2009). Kontrolsüzce artan nüfus ve hızlı kentleşme gelecekte bu kayıpları artırma riski taşımaktadır. Türkiye ve yakın çevresi, geçmişte yaşanmış deprem kayıpları ve gelecekte depremlerin oluşturması beklenen risk açısından çarpıcı bir örnek oluşturur. 1992 Erzincan ($M=6.8$) (Barka ve Eyidoğan, 1993), 1995 Dinar ($M=6.2$) (Pınar ve Kalafat, 1998), 1998 Adana ($M=6.4$) (Aktar ve diğ., 2000), 1999 İzmit ($M=7.4$) (Barka ve diğ., 2002; Gülen ve diğ., 2002), 1999 Düzce ($M=7.1$) (Utkucu ve diğ., 2003a), 2000 Orta ($M=6.1$) (Utkucu ve diğ., 2003b), 2000 Sultandağ ($M=6.0$) (Taymaz ve Tan, 2001), 2002 Çay-Eber ($M=6.4$) ve Çobanlar ($M=6.0$) (Özer ve diğ., 2002), 2003 Pülümür ve 2003 Bingöl ($M=6.4$) (Pınar ve diğ., 2003) ve son olarak da 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen Van Depremi (Emre ve diğ., 2011; Gülen ve diğ., 2012; Utkucu, 2013; Koçyiğit, 2013; Elliot ve diğ., 2013). Türkiye ve yakın çevresinde depremlerin oluşturduğu afetlerin örnekleri olarak sıralanabilir. Türkiye'nin Neo-tektoniği ile ilgili temel kaynak MTA tarafından 1987 yılında hazırlanmış "Türkiye'nin Neotektoniği ve Diri Fayları" çalışması ve 1/ 1.000.000 ölçekli diri

fay haritası ve 1992 tarihli ek-çalışmadır (Şaroğlu ve diğ., 1992). Günümüzdeki bilgi birikimi, MTA tarafından üretilmiş olan 1992 tarihli haritanın çok ilerisindedir. Türkiye'de aktif faylarla ilgili çalışmalarda birincil kaynağı MTA'nın "Türkiye Diri Fay" haritası oluşturmaktadır (Şaroğlu ve diğ., 1992). Bu harita, sismotektonik, paleosismolojik vb. çalışmalarda referans olarak kullanılmış ve yerbilimlerine çok büyük katkılar sağlamıştır. Ancak, Türkiye'de günümüzde bilinenden çok daha fazla sayıda diri fay bulunduğu, üzerinde durulması gereken bir gerçektir. Bu durumun en güncel örneği, 2011 Van depremini üreten Van fayının Türkiye diri fay haritasında yer almıyor olmasıdır. Bu örnek, Türkiye'de günümüze kadar yapılmış olan aktif fay haritalarının yeni elde edilen veriler kullanılarak sıklıkla güncellenmesi gerektiğini göstermektedir.

"Deprem tehlikesi, hasar ve can kaybı yaratabilecek büyüklükte bir depremden kaynaklanan yer hareketinin belli bir yerde ve belli bir zaman periyodu içerisinde belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır ve deprem riski kavramının önemli bir ögesi; deprem nedeni ile hasar, mal ve can kaybı ihtimali oluşturur" (Erdik ve diğ., 2006). Gelecek depremlerin konumu, oluş zamanı, büyüklüğü ve diğer özellikleri belirsizlik arzettiği için deprem tehlikesi analizlerinde olasılık hesaplarına dayalı tahminler önemli parametrelerdir. Ülkemiz ve yakın çevresi için Türkiye'de deprem tehlikesi ve riskinin belirlenmesi ve deprem zararlarının azaltılması konusunda ileri gelen deprem tehlikesi çalışmaları ise; Egeran ve Lahn, 1944; Pamir, 1948; Lahn, 1949; İlhan, 1961; İpek ve diğ., 1965; Tabban, 1969; Ergin ve Güçlü, 1971; Alsan, 1972; Bath, 1979; Yarar ve diğ., 1980; Hattori, 1980; Ketin, 1982; Erdik ve Öner, 1982; Erdik ve diğ., 1982; 1985; Başöz, 1992; Eyidoğan ve Güçlü, 1993; Gülkan ve diğ., 1993; Yılmaztürk ve Burton, 1999; Erdik ve diğ., 1999; Ulusay ve diğ., 2004; Erdik ve diğ., 2006,

Kayabalı, 2002; Kayabalı ve Akın, 2003; Demircioğlu ve diğ., 2007; Bayrak ve diğ., 2005; 2009 tarafından gerçekleştirilmiştir ve bu çalışmalar günümüzde de devam etmektedir.

İlk resmi deprem tehlikesi bölgeleme haritası, 1940 tarihli birinci deprem şartnamesini takiben 1945 yılında hazırlanmış ve küçük değişikliklerle 1947 yılında ikinci deprem şartnamesi ile "Yer Sarsıntısı Bölgeleri Haritası" Bakanlar Kurulu'nun 20.12.1947 gün ve 3/6739 sayılı kararıyla yürürlüğe girmiştir (Pampal ve Özmen, 2007; Özmen, 2012). "Bununla birlikte tehlikesiz olarak belirlenmiş bölgelerde meydana gelen depremler ve Avrupa Sismoloji Komisyonu'nun 1968 yılındaki tavsiyeleri üzerine üçüncü resmi deprem tehlikesi bölgeleme haritası hazırlanmış ve 1972 yılında yayınlanmıştır" (Pampal ve Özmen, 2007; Özmen, 2012). Harita sırasıyla IX ve daha büyük, VIII, VII, VI ve V şiddetlerine karşılık gelen beş tehlike bölgesini kapsamaktadır. Zamanla bu hazırlanan deterministik deprem tehlikesi haritalarının, depremlerin tekrarlanma frekansları (veya dönüş periyotları) ile ilgili bilgileri sağlayamamalarının eksikliği hissedilmiş ve böylelikle probabilistik deprem tehlike haritası oluşturma çalışmaları başlamıştır. İlk başlarda sadece deprem istatistiklerine dayalı probabilistik deprem tehlike haritaları oluşturulmuştur (Hattori, 1979; Burton ve diğ., 1984).

Olasılık yöntemleri esas alınarak 1996 yılında Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nce Orta Doğu Teknik Üniversitesi tarafından Türkiye Deprem Bölgeleri haritası hazırlanmıştır (Gülkan ve diğ., 1993). 1996 yılında yürürlüğe konmuş bulunan ve halen geçerli olan bu deprem tehlikesi bölgeleme haritası tarafından hazırlanmış probabilistik tehlike haritasını baz alarak 5 adet deprem tehlike bölgesi belirlenmiştir. Bu bölgeler sırasıyla VIII ve daha büyük, VII, VI ve V MSK (Medvedev-Sponeuer-Karnik) deprem şiddeti değerlerine karşı gelmektedir. Bu haritaya göre, Türkiye topraklarının %66'sı 1.inci ve 2.inci derece deprem bölgesi olarak gösterilmektedir (Okay, 2000; Ergünay, 2007).

Deprem tehlike haritalarının hazırlanmasında diri fay haritaları ve bu haritalarda yansıtılan diri fayların deprem etkinlik düzeylerinin belirlenmesi bu haritaların temel veri tabanını oluştururken deprem kaynak bölgelendirmesi de en önemli

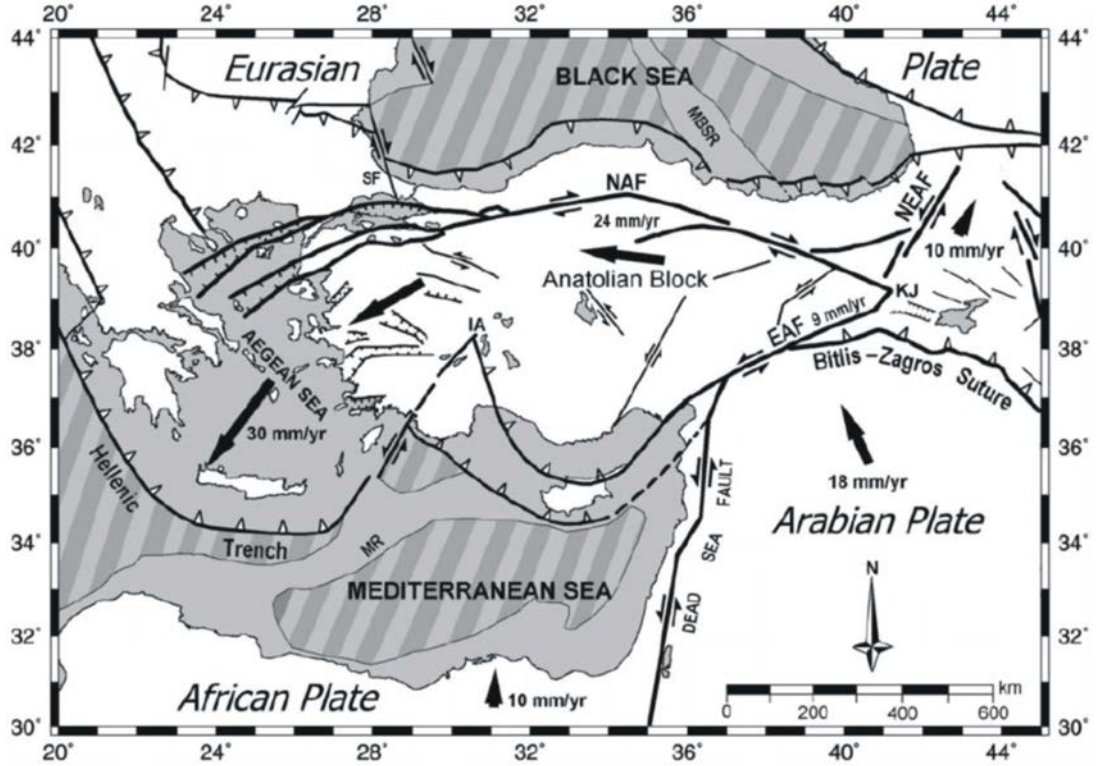
unsurlarından biridir. Diri fayların segmentasyon modellerinin, kayma hızlarının, karakteristik deprem tarihçelerinin ve en büyük deprem potansiyellerinin belirlenmesi gerekir.

"Deprem kaynak bölgeleri, deprem oluşumları ve kaynak mekanizmalarının homojenliklerine göre ayrılır. Genel kabuk ve tektonik yapı; tarihi ve aletsel dönem deprenselliği, makrosismik gözlemler, bölgesel deformasyon model ve hızları, GPS ve diğer jeodezik veriler; bölgesel deformasyonu kontrol eden ana fayların özellikleri; bu faylardaki büyük depremlerle ilgili paleosismik veriler ve yinelenme periyotları deprem kaynak bölgelemesi için kullanılan veriler olarak sıralanabilir" (Erdik ve diğ., 2006).

Bunlardan dolayı, Türkiye'de deprem kaynak bölgelemesi yapılmasında ve deprem tehlike haritalarının oluşturulmasında aktif faylarla ilgili yapılmış tüm çalışmaların biraraya getirilmesi, bu çalışmalarda haritalanmış tüm fayların derlenerek paleosismolojik çalışmalarının sonuçları ile biraraya getirileceği bir veri tabanının oluşturulmasının önemi açıktır. Bu çalışmada bütün bu gereksinimlerden yola çıkılarak, deprem tehlike analiz çalışmalarının birinci ve en önemli basamağı olan diri fayların sayısal verilerinin yanısıra mevcut paleosismolojik, tarihsel ve aletsel dönem deprensellik ve GPS gibi jeodezik çalışmaların verilerini içeren sayısal ve dinamik özellikte bir veri tabanının ArcGIS ortamında oluşturulması gerçekleştirilmiştir. Söz konusu sayısal veri tabanı en güncel referanslardan derleme yoluyla oluşturulmuş olup içinde yararlanılan referansların yer aldığı ayrı bir sayısal kütüphane dosyası da içermektedir. Uluslararası bir projenin (Earthquake Model of Middle East-EMME) Türkiye kısmındaki çalışmalarla hazırlanan bu veri tabanının, güncel deprem tehlike hesaplamaları için önemli bir temel oluşturmasının yanı sıra dinamik yapısının sağladığı güncelleme özelliği ile gelecekteki benzer çalışmalar için de bir başvuru kaynağı olacağı düşünülmektedir.

TÜRKİYE ve ÇEVRESİNİN AKTİF TEKTONİĞİ

Türkiye ve yakın çevresinin sismotektoniği, Afrika ve Arabistan plakalarının Avrasya plakasına göre kabaca kuzey yönlü göreceli hareketinin bir sonucudur (Şekil 1). Bu kuzey yönlü göreceli



Şekil 1. Türkiye'nin sadeleştirilmiş tektonik haritası (Gülen ve diğ., 2002) Siyah kalın oklar plakaların Avrasya plakasına göre kuzey yönlü göreceli hareket yönlerini göstermektedir ve GPS verilerinden elde edilen kayma hızı değerleri verilmiştir (McClusky ve diğ., 2000). Afrika plakasının hareketinin ölçüm değerleri NUVEL-1A'ya göre tespit edilmiştir (DeMets ve diğ., 1990). Karadeniz (Finetti ve diğ., 1988) ve Akdeniz okyanusal kabuğu (Bogdanov ve diğ., 1994) çizgili desenler ile gösterilmiştir. NAF: Kuzey Anadolu Fayı, EAF: Doğu Anadolu Fayı, NEAF: Kuzeydoğu Anadolu Fayı, SF: Istanca Fayı, KJ: Karloiva Üçlü Eklemleri, IA: Isparta Bölümü, MBSR: Orta-Karadeniz Sırtı; MR: Akdeniz Sırtı.

Figure 1. Simplified tectonic map of the eastern Mediterranean region (from Gülen et al., 2002). The plate /block motions relative to Eurasia are shown with thick arrows and GPS determined slip rates are also given (from McClusky et al., 2000). African Plate's motion is the NUVEL-1A estimate (DeMets et al., 1994). The oceanic crusts of the Black Sea (from Finetti et al., 1988), and the Mediterranean Sea (from Bogdanov et al., 1994) are indicated with striped pattern. NAF, North Anatolian Fault; EAF, East Anatolian Fault; NEAF, North East Anatolian Fault; SF, Strandja Fault; KJ, Karloiva Junction; IA, Isparta Angle; MBSR, Mid-Black Sea Ridge; MR, Mediterranean Ridge.

hareket Anadolu levhasının, sırasıyla sağ ve sol yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay (DAFZ) zonları boyunca batıya doğru yaklaşık 24 mm/yıl bir hızla ve saat yönünün tersinde dönerek hareket etmesine neden olur. Sol yanal hareketli Ölü Deniz Fay Zonu, Afrika ve Arabistan levhaları arasındaki göreceli hareket farkını karşılar (McKenzie, 1972; Alptekin, 1973; Şengör ve diğ., 1985; McClusky ve diğ., 2000; Gülen ve

diğ., 2002; Reilinger ve diğ., 2006; Yalçın ve diğ., 2012; Şekil 1).

Batıda aktif Ege ve Kıbrıs dalma/batma zonları, doğuda ise aktif kıtasal çarpışma ve yakınsama zonu boyunca Bitlis-Zagros Bindirme fay kuşağı yer almaktadır. Arap levhasının en kuzeyinde 18 mm/yıl olan GPS vektör hızı, Anadolu levhasının en doğusunda ve orta kesiminde yaklaşık 21 mm/yıl'a, Orta Ege Denizi üzerinde ve Ege yayı civarında 31 mm/yıla yükselmektedir (Reilinger

ve diğ., 2006). Bu bilgi Anadolu levhasını sürükleyen esas kuvvetin Ege ve Kıbrıs yayları boyunca Afrika levhasının aktif yitimine ve Anadolu levhasının doğuda itilmekten çok batıdan çekildiğine işaret etmektedir. Bunun yanısıra son yıllarda KAFZ (Kuzey Anadolu Fay Zonu)'nun doğu bölümünde yürütülen GPS çalışmaları KAFZ boyunca kayma hızının doğudan batıya doğru 16 ± 2.3 mm/yıl' dan 24.0 ± 2.9 mm/yıla kadar arttığını ortaya koymaktadır ve bu sonuç Anadolu bloğunun doğudaki kıtasal çarpışmaya bağlı olarak Arap plakası tarafından itildiğini değil, batıda Helen hendeği tarafından çekildiği şeklinde yorumlanmıştır (Tatar ve diğ., 2012). Bunun sonucu olarak Batı Anadolu'da çeşitli doğrultularda gelişmiş normal faylarla çalışan genişleme şeklinde bir tektonik rejim hakimdir (Şengör ve diğ., 1985; Flerit ve diğ., 2004; Nyst ve Thatcher, 2004; Reilinger ve diğ., 2009; Aktuğ ve diğ., 2009). Doğu Anadolu'da Arap levhası, Bitlis Bindirme Zonu (BBZ) olarak adlandırılan bir deformasyon zonu boyunca Anadolu levhası ile çarpışmaktadır (Dewey ve diğ., 1986; Şekil 1). BBZ ile Kafkasya bindirme/sıkışma zonları arasında kalan bölge Doğu Anadolu Bloğu olarak adlandırılmaktadır. Önceleri Arap levhasının KB yönündeki hareketinin Bitlis Bindirme Kuşağı boyunca bindirme ve sıkışma hareketleri ve Doğu Anadolu Bloğu içindeki kabuksal kalınlaşma/kısalma ile Tibetteki gibi karşılaştığı öne sürülmüştür (Şengör ve diğ., 1985; Dewey ve diğ., 1986). Doğu Anadolu Bloğu içinde ortalama ~2000 m olan topografik yükseltinin de bu kabuksal kalınlaşmanın sonucu olduğu belirtilmiştir (Dewey ve diğ., 1986). Ancak yakın geçmişteki GPS (McClusky ve diğ., 2000; Vernant ve diğ., 2004; Reilinger ve diğ., 2006) sismik ve diğer jeodinamik çalışmaları (Sandvol ve diğ., 2003; Dhont and Chorowicz, 2006) Doğu Anadolu Bloğunda esas olarak sıkışma hakim ise de, aşırı bir kabuksal kalınlaşmanın mevcut olmadığını ve yüksek topoğrafyanın manto kökenli olduğu kanıtlamıştır. Arap levhasının kabaca kuzey yönünde hareketinden kaynaklanan deformasyonun Doğu Anadolu Bloğu içindeki yaygın doğrultu atımlı faylarla Kafkas bindirme/sıkışma zonlarına iletilindiğini göstermiştir (Barka ve Kadinsky-Cade 1988; Koçyiğit ve diğ. 2001; Djamo-ur ve diğ. 2011). Ancak, ters faylanma mekanizmalı 23 Ekim 2011 Van depremi ($M_w=7.1$) (Gülen ve diğ., 2012; Utkucu, 2013; Koçyiğit, 2013; Elliot

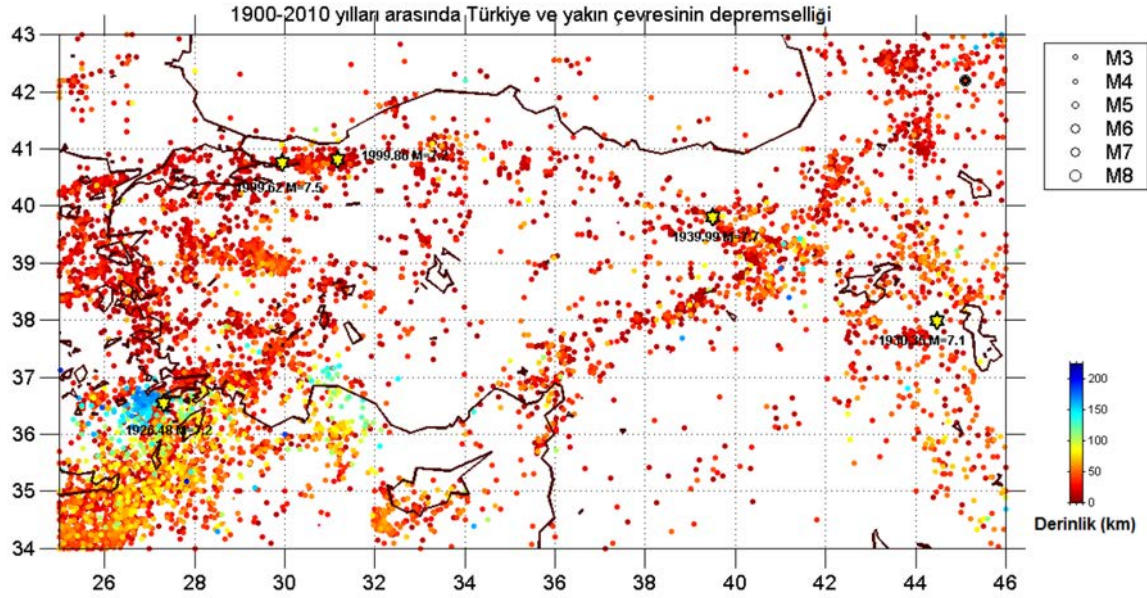
ve diğ., 2013) ve GPS çalışmaları (Karakhanyan ve diğ., 2013) Doğu Anadolu Bloğu içinde sıkışmanın halen aktif olduğunu göstermiştir. Türkiye ve yakın civarının anlatılan bu tektonik özellikleri yoğun bir deprenselliğe neden olmakta (Şekil 2) ve deprem odak mekanizma çözümlerince de desteklenmektedir (Şekil 3).

YÖNTEM

Çalışmada, aktif fay veri tabanı oluşturulması işlemi, aktif tektonik ile ilgili geçmişteki makale, rapor, harita vb. gibi çalışmalardan derlenen bilgilerin sayısal ortamda bir araya getirilmesi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 9). Fay veri tabanı, yine benzer şekilde oluşturulan paleosismoloji sayısal veri tabanı ile de desteklenmiştir. Veri tabanında aktif faylar segmentlere, segmentler de "kesme" lere (sections) ayrıldığından fay kesmesi veri tabanı (fault section database) olarak adlandırılan veri tabanı magnitudü $M_w \geq 5.5$ olan depremleri üretme potansiyeline sahip olduğu bilinen, ya da düşünülen fayların geometrileri (doğrultu, eğim, kayma (yan yatım) açısı, eğim yönü, sismojenik kabuk kalınlığı), türleri ve kayma hızları gibi bilgileri içermektedir (Şekil 6). Bu veri tabanı esnek ve dinamik bir karaktere sahip olup yeni verilerle güncellenebilir ve geliştirilebilir bir özelliğe sahiptir.

Fay Kesmeleri

Fay zonu süreksizliklerinin deprem kırılmalarında önemli rol oynadığı birçok bilim adamı tarafından kabul edilen bir gerçektir (Barka ve diğ., 1987; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988). Fay zonu süreksizlikleri geometrik, yapısal ve davranışsal süreksizlikler olarak sınıflandırılmışlardır (Yeats ve Huftile., 1995). Geometrik süreksizlikler terimi fayın basamak şeklindeki sıçramalarını (steppovers), ani doğrultu değiştirmelerini (bends) veya bu ikisinin bir arada olduğu fay uzanım geometrisindeki değişimleri kapsamaktadır. Bir fayın uzanımı boyunca geometrik süreksizliklerin belirlenmesi ile karakteristik deprem üreten fay segmentleri belirlenebilir (Barka ve diğ., 1987). Fay segmentleri, uzun bir fayda tek bir deprem sırasında defalarca kırılmış bir deprem kırığını temsil edebilir ve onlarca veya yüzlerce kilometre uzunluklarda olabilirler. Tek bir faylanma

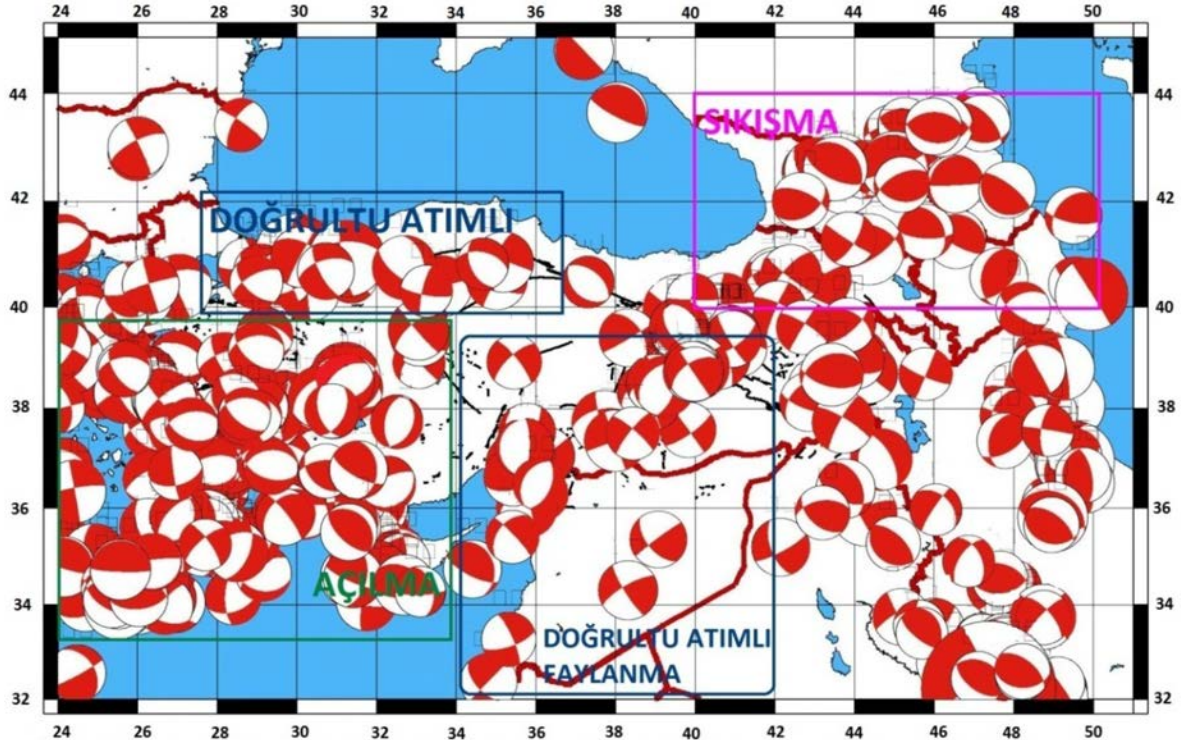


Şekil 2. Türkiye ve yakın çevresinin depremselliğini gösteren harita. Depremsellik verisi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen 1900 ve 2010 (Kalafat ve diğ., 2011) yılları arasındaki dönemi kapsamakta olup büyüklüğü $M_w \geq 4.0$ olan depremleri içermektedir. Büyüklüğü $M_w \geq 7$ olan depremler sarı yıldızlarla gösterilmiştir.

Figure 2. Map showing seismicity of Turkey and surrounding regions. The KOERI seismicity data covers the time period between 1900 and 2010 (Kalafat et al., 2011) and it includes $M_w \geq 4$ earthquakes. Note that the earthquakes with magnitude $M_w \geq 7$ are indicated with yellow stars.

olayı ile ilgili deprem kırığının bir kısmını da teşkil edebilirler ve yalnızca birkaç km uzunlukta olabilirler. Ancak, fay segmentlerinin belirlenmesi çok disiplinli çalışmalarla elde edilmiş verilerin modellenmesini ve yorumlanmasını gerektirir (Barka ve Kadinsky-Cade 1988). Bir fay boyunca orta ve büyük magnitudlü depremlerin tekrarlı oluşmaları, bireysel segmentlerin uzunlukları hakkında ipuçları vermektedir. Birbirini izleyen depremlerde fayın aynı yerlerindeki kayma miktarlarının dağılımları, benzer veya farklı şekilde gelişebilmektedir. Komşu segmentler, aynı zamanda birlikte kırılabilirler. Yüzeşte görünen geometrik ya da yapısal bariyerlerde deprem kırılmaları durdurulmakta veya engellenmektedir. Ya da alt segmentler, beklenen maksimum veya karakteristik depremden daha küçük depremler üretmektedirler. Bu yüzden, bir fay uzunluğu boyunca geçmiş depremlerin tarih ve uzanımları, her bir deprem esnasındaki kayma miktarları, bu kayma miktarlarının fay boyunca dağılımları ve faylar boyunca kayma hızları gibi sismolojik, jeolojik, paleosismolojik

ve jeodezik çalışmalarla elde edilecek verilerin fay segmentlerinin ayırt edilmesinde ve deprem tekrarlanmaları ile ilgili modellemelerin yapılmasında oldukça önemlidirler (Schwartz ve Copersmith, 1989; Schwartz, 1990). Bu çalışmada oluşturulan veri tabanı, magnitudü $M_w \geq 5.5$ olan depremleri üretme potansiyeline sahip olduğu bilinen ya da düşünülen fayların segment uzunluğundan daha küçük bir uzunluk ölçeğinde "fay kesmesi" olarak isimlendirilen parçalar ölçeğinde parametrisasyonunu içermektedir (WGCEP, 2007; Şekil 4). Veri tabanı fay kesmesi ölçeğinde, fayların doğrultu, eğim ve kayma (rake) açıları yanı sıra eğim yönü, sahip oldukları kayma hızları ve sismojenik zon kalınlıkları gibi parametrelerini kapsamaktadır (Şekil 7). Bir fay segmenti boyunca, fayın yukarıda sıralanan parametrelerinden herhangi biri değiştiğinde söz konusu segment fay kesmelerine ayrılmıştır. Eğer tanımlanan bir fay segmenti boyunca parametrelerde herhangi bir değişiklik olmadığı belirlenmişse o segmentin tek bir fay kesmesinden oluştuğu kabul edilmiştir. "Fay kesmesi" fay segmentinden



Şekil 3. Türkiye ve Çevresi Faylanma-Kaynak Parametreleri (Mt) Kataloğu (Kalafat ve diğ., 2009) ve GCMT-Harvard verileri derlenerek 1976-2010 yılları arasında kapsayan $M_w \geq 4.0$ ten büyük depremlerin fay düzlemi çözümleri.

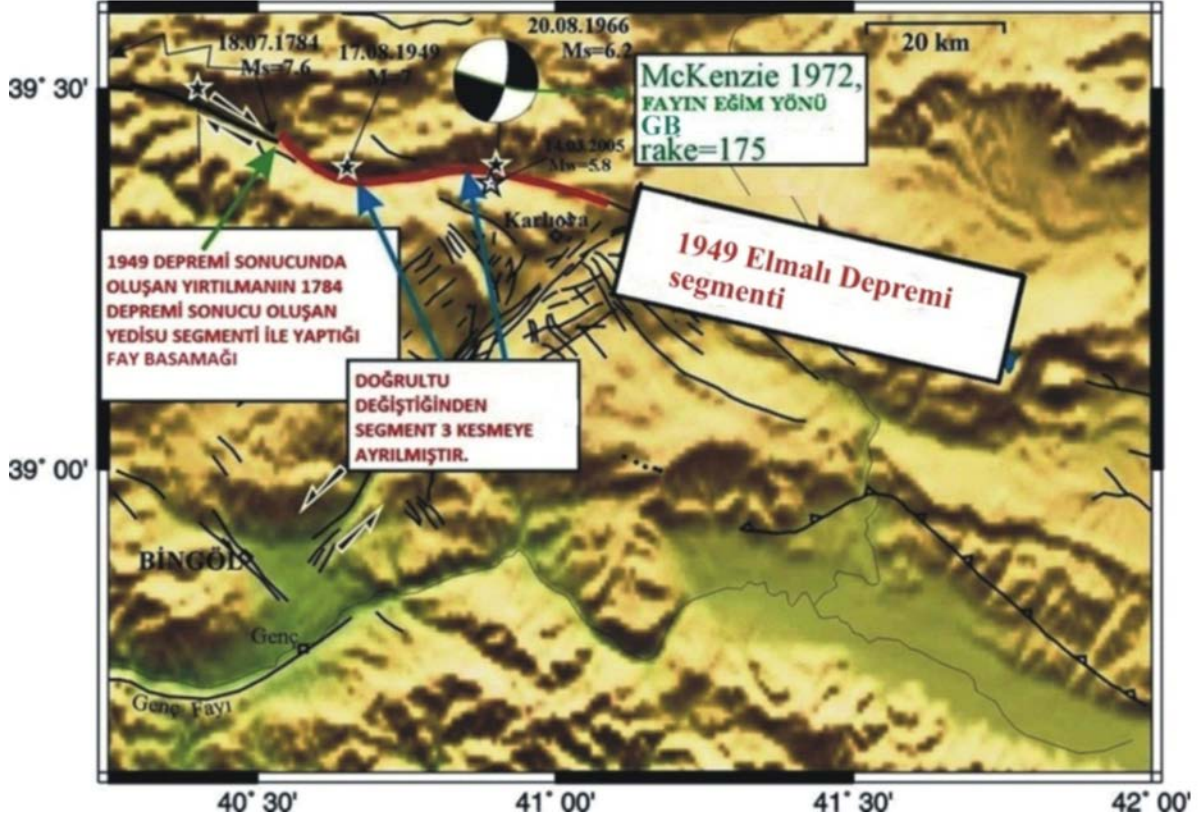
Figure 3. Available fault plane solutions of the combined earthquakes which are bigger than $M_w \geq 4.0$ in the GCMT and KOERI MT catalogues (Kalafat ve diğ., 2009) that covers the time period between 1976 – 2010 and 1938-2008, for the study area, respectively.

farklıdır. Çünkü segment sözcüğü uçlarında karakteristik deprem kırılmalarının sınırlandırıldığı fay uzunluğu ya da parçası olarak ele alınır. Yerbilimciler fay segmentini tekrarlanan deprem modellerinin keşişiminde kullanırlar. Fay Kesmesi fay hakkında daha temel ve fiziksel anlamı olan bir tanım içerir. Fay segmenti birden fazla fay kesmesi içerebilir. Bir fay segmenti boyunca fay geometrisinde, kayma hızlarında ya da kayma türlerinde (sismik, asismik kayma) gözlenen değişimlere bağlı olarak o fay segmenti gerekli sayıda fay kesmelerine ayrılır.

Veri tabanı formatı

Uluslararası kullanılabilirliğinin sağlanması için İngilizce olarak hazırlanan veri tabanının ilk sütununda, parametrisasyonun hangi ülkenin hangi ana fay zonuna, ana fay zonunun hangi

segmentine ve segmentin hangi fay kesmesine ait olduğuna dair bir kodlama kullanılmıştır (Şekil 4 ve 5b). Örneğin, Kuzey Anadolu Fay Zonu (NAF) TR1 (TR Türkiye kodu) olarak kodlanmıştır, 1949 Elmalı depremi kırılma uzunluğu bu fayın ilk segmenti (T1_1) olup kırılma uzunluğu boyunca doğrultuda meydana gelen iki önemli değişime bağlı olarak 3 kesmeye ayrılmıştır (Şekil 8); Karlıova (TR1_1_1), Kaynarçınar (TR1_1_2) ve Yedisu Doğu (TR1_1_3) fay kesmeleri. Kesme isimleri kesmelerin geçtiği köy ya da kasabaların isimleri dikkate alınarak verilmiştir Bu bilgilerin aktif fay veri tabanının ilk 7 sütununun girdilerini oluşturmaktadır (Şekil 6a). Veri tabanının 8-17 sütunları arası 10 sütunu tanımlanan fay kesmelerinin başlangıç ve bitiş enlem-boylamları, faylanma tipi ve uzunluğu, doğrultu, eğim ve rake (kayma vektör) açıları, eğim yönü, (Şekil 6b). Yatay ve düşey kayma



Şekil 4. Bölgesel bir fayın nasıl bir segment ya da (section) kesmelere ayrıldığına gösterilmesi (Karlıova Üçlü Ekleminde gerçekleşen 1949 Elmali depremi kırılması bir segment olarak ele alınmış ve bu segment boyunca fayın doğrultusu 2 yerde önemli ölçüde değiştiği için segment 3 'kesme 'ye (section) ayrılmıştır).

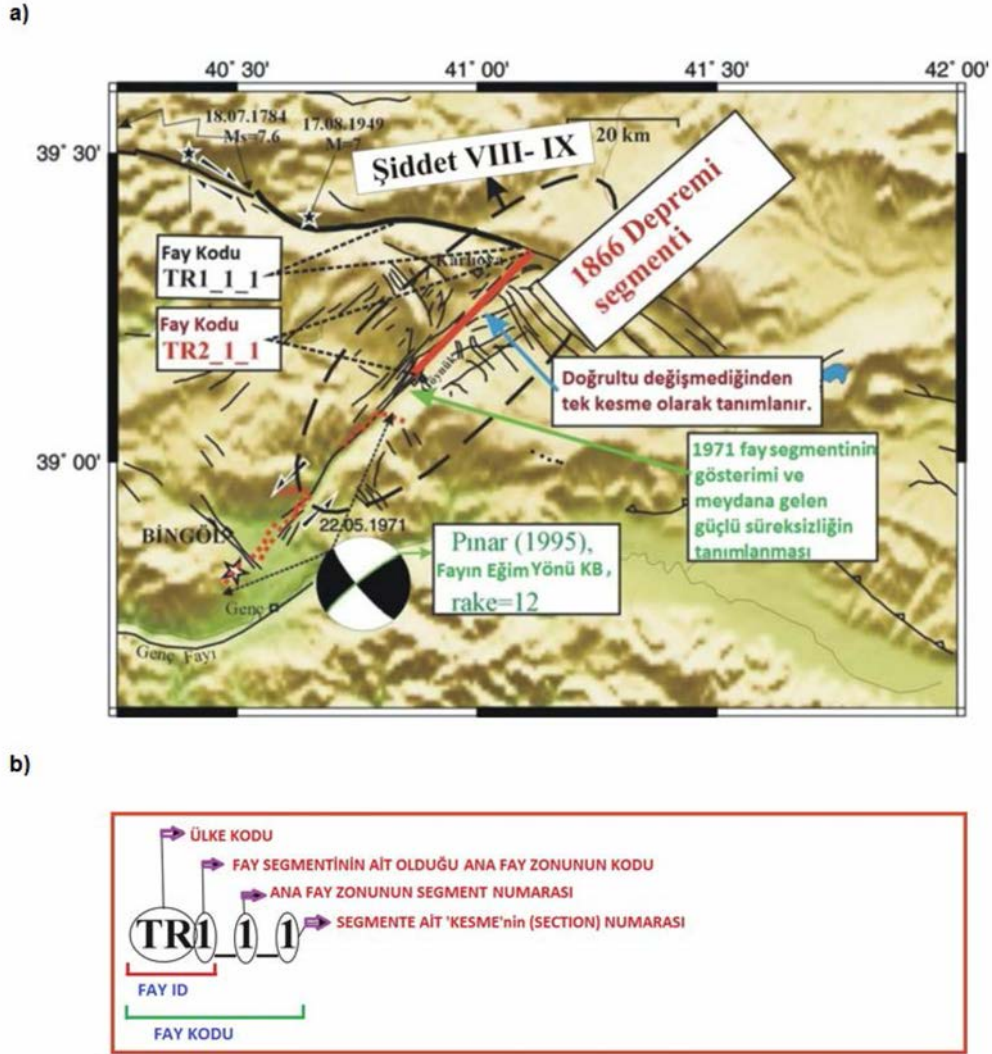
Figure 4. Explanatory map showing how a fault segment (the 1949 Elmali earthquake rupture segment in this case) is divided into fault sections and how some of the parameters of the active fault database is defined for this segment.

hızları ve hata miktarları bilgilerini, asismik kayma hızı, üst ve alt sismojenik zon derinlikleri en büyük yatay ve düşey yer değiştirmeler, (Şekil 6c). Önceki sütunlardaki bilgilerin alındığı kaynakların kodları bilgilerini ise 27-36 numaralı kolonlar içermektedir (Şekil 6d).

Aktif fay veri tabanındaki girdilerinden herhangi biri hakkında bilgi mevcut olmadığında ilgili girdiye ait hücreye -9999,9 sayısı yazılmıştır. Bir sonraki aşamada Mmax ve b değerlerini hesaplamada kullanılacak olan bilgisayar yazılımı veri tabanında ilgili bilginin mevcut olmadığı bu format sayesinde anlaşılmaktadır. Ayrıca, bazı girdiler tecrübeli uzman değerlendirmeleri yapılarak girilmiş ve ilgili girdinin referans kod bölümüne "EJ" (Expert Judgement - uzman değerlendirmesi) kodu yazılmıştır. Referans kodları

referans veri tabanında kullanılan referans kodlarına gönderme yapmaktadır. Referans kodu ülke kodu ve referansın aktif fay veri tabanında kullanım sırasına göre verilen bir referans numarasından oluşmaktadır (TR16 gibi). Şekil 9'da görüldüğü üzere referans veri tabanı, yazar adı, yayınlanma yılı, yayınlandığı dergi/kitap adı, cilt/sayı/sayfa bilgilerini, doi numarasını ve yayın başlığı bilgilerini içermektedir. Ayrıca bu referansların tam metinlerinin pdf dosyalarını içeren bir elektronik kütüphane de aktif fay veri tabanına destek olarak hazırlanmıştır.

Aktif fay veri tabanı CBS'ne (Coğrafik Bilgi Sistemleri) uygun formatta hazırlandığından, CBS'nin sağladığı görsellik ve verilere ulaşma ve kullanımda kolaylık sağlamaktadır (Şekil 10b). CBS ortamında aktif fay veri tabanı haritalanıp



Şekil 5. a) Bölgesel bir fayın nasıl bir segment ya da (section) kesmelere ayrıldığıнын görsel olarak ifade edilmesi ve fay kesmelerinin nasıl kodlandığıнын belirtilmesi (1866 Depremi sonucu kırılan fayın doğrultusu hiçbir yerde değişmediği için tek bir segment olarak isimlendirilmiş ve kodlanmıştır b) Aktif fay veritabanında fayların kodlanma biçimi.

Figure 5. a) Explanatory map showing how a fault segment is divided into fault sections (the 1866 earthquake rupture segment is given as an example. It consists of only one fault section and it shows how some of the parameters of the active fault database is defined for this segment. b) Coding format used in the active fault data base prepared in this study.

bir fay kesmesi üzerine tıklandığında ilgili fay sekmesine ait aktif fay veri tabanındaki mevcut parametreler ekranda açılan bir pencerede gösterilmektedir (Şekil 10a).

Deprem kaynak bölgeleri

Çalışma bölgesindeki deprem kaynak bölgeleri, kabuk yapısı; faylanma özellikleri (faylanma tipi, uzanım geometrisi vb.) depremsellik ve deprem tekrarlanmaları ve deformasyon dağılımları gözetilerek ayrılmış ve daha sonra her bir kaynak

a)

FAULTCODE	FAULTID	SEGMENTID	SECTIONID	FAULTNAME	SEGNAME	SECTNAME
TR1_1_1	TR1	TR1_1	TR1_1_1	NAF	1949_ELMALI_EARTHQUAKE	KARLIOVA
TR1_1_2	TR1	TR1_1	TR1_1_2	NAF	1949_ELMALI_EARTHQUAKE	KAYNARPINAR
TR1_1_3	TR1	TR1_1	TR1_1_3	NAF	1949_ELMALI_EARTHQUAKE	YEDISU_EAST

b)

LON1	LAT1	LON2	LAT2	FAULTTYPE	LENGTH	STRIKE	DIP	RAKE	DIPDIRECT
41.13012	39.31780	40.87830	39.39247	RL	23.30	111	85	175	201
40.88003	39.39450	40.67934	39.37540	RL	17.40	83	85	175	173
40.54807	39.41405	40.70120	39.35339	RL	14.80	117	85	175	207

c)

HORSLIPRAT	VERSLIPRAT	HORSLPRERR	VERSLPRERR	ASEISSLPRT	TOPDEPTH	BOTDEPTH	MAXHORDISP	MAXVERDISP
-25.3	5.8	0.20	0.30	0.00	0.00	18.000	-9999.9	-9999.900
-25.3	5.8	0.20	0.30	0.00	0.00	18.000	-9999.9	-9999.900
-25.3	5.8	0.20	0.30	0.00	0.00	18.000	-9999.9	-9999.900

d)

REFLENGTH	REFSTRIKE	REFDIP	REFRAKE	REFHORSLPR	REFVERSLPR	REFTOPD	REFBOTD	REFMAXHORD	REFMAXVERD
TR1_TR2	TR1_TR2	TR3	TR3_TR4	TR5	TR5	TR6	TR6		
TR1_TR2	TR1_TR2	TR3	TR3_TR4	TR5	TR5	TR6	TR6		
TR1_TR2	TR1_TR2	TR3	TR3_TR4	TR5	TR5	TR6	TR6		

Şekil 6. Aktif fay veri tabanının ilk 7 sütunu. Bu sütunlar fay kodu, ana fay, segment ve fay kesmesi tanımlamaları ve isimlerini içermektedir. b) Aktif fay veri tabanının 8-17 sütunları arası fay kesmelerinin başlangıç ve bitiş enlem-boylamları, faylanma tipi ve uzunluğu, doğrultu, eğim ve rake (kayma vektör) açıları, eğim yönü bilgilerini, c) Aktif fay veri tabanının 18-26 sütunları arası yatay-düşey kayma hızları ve hata miktarları bilgilerini, asismik kayma, sismojenik zonun üst ve alt derinliklerini, en büyük yatay ve düşey yerdeğiştirme miktarlarını, d) 27-36 numaralı kolonlar ise yararlanılan referans kodları bilgilerini içermektedir.

Figure 6. a) First 7 columns of the "active fault database". These columns contain fault code, main fault, segment and fault section labels and names. b) Columns between 8 and 17 of the active fault database. These columns are entries for latitude-longitude for both ends of fault sections, faulting type, length, strike, dip and rake angle, dip direction informations, c) Columns between 18-26 of the active fault database. These columns contain information about horizontal-vertical slip rates and their errors, aseismic slip, top and bottom depth of the seismogenic zone, maximum horizontal and vertical displacements d) Columns between 27 and 36 of the active fault database. These columns indicate utilised reference codes of the fault parameters.

bölgesi içindeki Gutenberg-Richter dağılımı hesaplanmıştır. Depremlerin sayıları ile büyüklükleri arasındaki ilişki Gutenberg-Richter (1954) tarafından tanımlanan;

$$\text{Log}N = a - bM \quad (1.1)$$

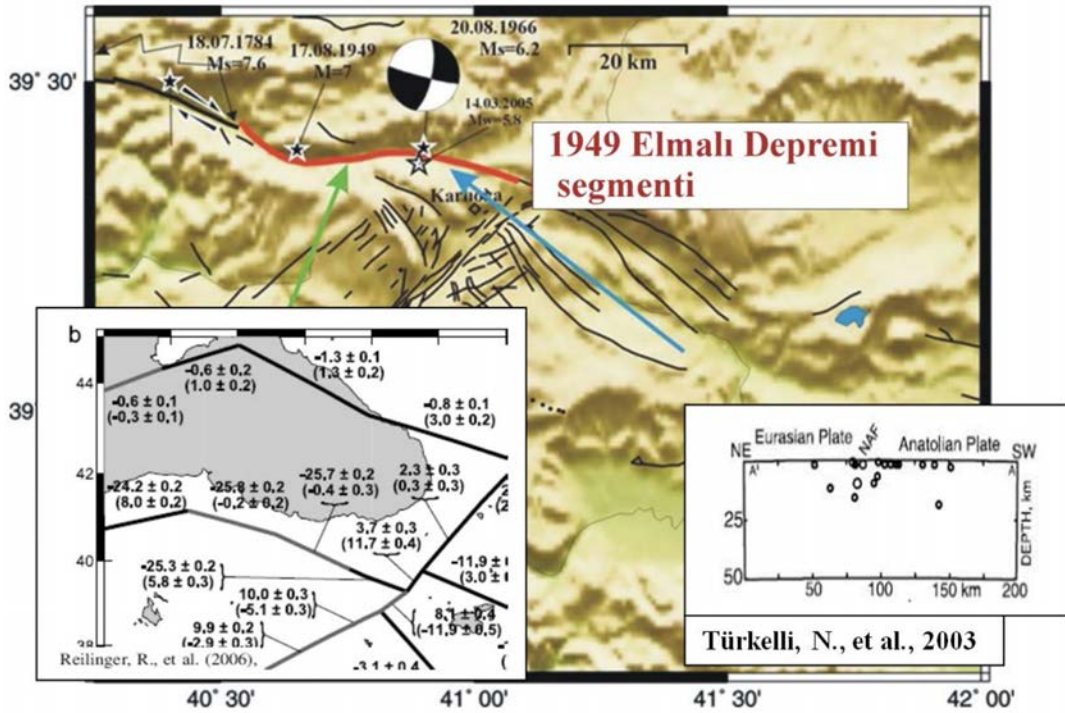
bağıntısı ile ifade edilmektedir. Bu bağıntıda a sabiti incelenen bölgedeki depremsellik

düzeyini verirken, deprem sayılarının logaritmaları ile büyüklükleri arasındaki doğrusal ilişkinin eğimini ifade eden b değerinin ise depremin oluşum fiziği ile doğrudan ilişkili olduğu ve kabuktaki gerilme ile ters ilişkili olduğu öne sürülmüştür (Mogi, 1962; Scholz, 1968). Dolayısı ile depremlerin istatistiksel analizleri ile elde edilen b değeri gelecekteki deprem tehlikesi hakkında



Şekil 7. Fay kesmelerinin başlangıç ve bitiş enlem-boylamları, faylanma tipi ve uzunluğu, doğrultu, eğim ve rake açılarının tanımlanmasına bir örnek. Enlem-boylam çiftleri ve faylanma uzunluğu diri fay haritalarından belirlenirken geri kalan parametreler mevcut odak mekanizmalarından belirlenmektedir.

Figure 7. An example for definition of latitude-longitude for both ends of fault sections, faulting type, length, strike, dip and rake angles and dip direction. Latitude-longitude pairs and faulting length were determined from active fault maps while the rest were retrieved from available focal mechanisms.



Şekil 8. 1949 Elmalı depremi fay segmenti için kayma hızı ve sismojenik zon üst ve alt derinliklerinin belirlenmesi. Kayma hızı ve sismojenik zon kalınlığı sırasıyla Reilinger ve diğerleri (2006) ve Türkelli ve diğerleri (2003)'den belirlenmiştir.

Figure 8. Definition of slip rate and top and bottom depths of seismogenic zone for the 1949 Elmalı earthquake fault segment of North Anatolian Fault Zone. Slip rate and seismogenic thickness were determined from Reilinger et al., (2006) and Türkelli et al., (2003), respectively.

	AUTHORS			JOURNAL,BOOK ETC.					
REFERENCE_CODE	LAST NAME	ET_AL.	YEAR	NAME	VOLUME	NUMBER	PAGE	doi	TITLE

	AUTHORS			JOURNAL,BOOK ETC.					
REFERENCE_CODE	LAST NAME	ET_AL.	YEAR	NAME	VOLUME	NUMBER	PAGE	doi	TITLE
TR1	Saroglu	yes	1992	Phys.Earth Planet.Interior	37		227_264		
TR2	Barka Cadinsky Cade	yes	1988	Tectonics	7	3	663-684.		
TR3	McKenzie	yes	1972	Geophys. J.R. astr. Soc	30		109-185		

TITLE
Active fault map of Turkey. Publ. Miner. Res. Explor. ins. Turk., Ankara, Turkey.
Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity
Active tectonics of the Mediterranean region

Şekil 9. Aktif fay veri tabanında yararlanılan referansların yazar adı, yayınlanma yılı, yayınlandığı dergi/kitap adı, cilt, sayı, sayfa, doi numarası ve yayın başlığı bilgilerini içeren 10 sütunlu referans veri tabanı.

Figure 9. Reference database with 10 columns include entries for first author's last name, publication year, journal/ book name, volume, number, page, doi number and title of the references used in the active database.

fikir vermesi açısından önemli bir parametredir (Alptekin, 1978; Wiemer ve Wyss, 1997; Kalafat ve diğ., 2010; Utkucu ve diğ., 2011).

Bu çalışmada b değerinin belirlenmesinde en büyük olasılık yöntemi kullanılmıştır (Aki, 1965).

$$b = \frac{\log_{10} e}{(M_{mean} - M_{min})} \quad (1.2)$$

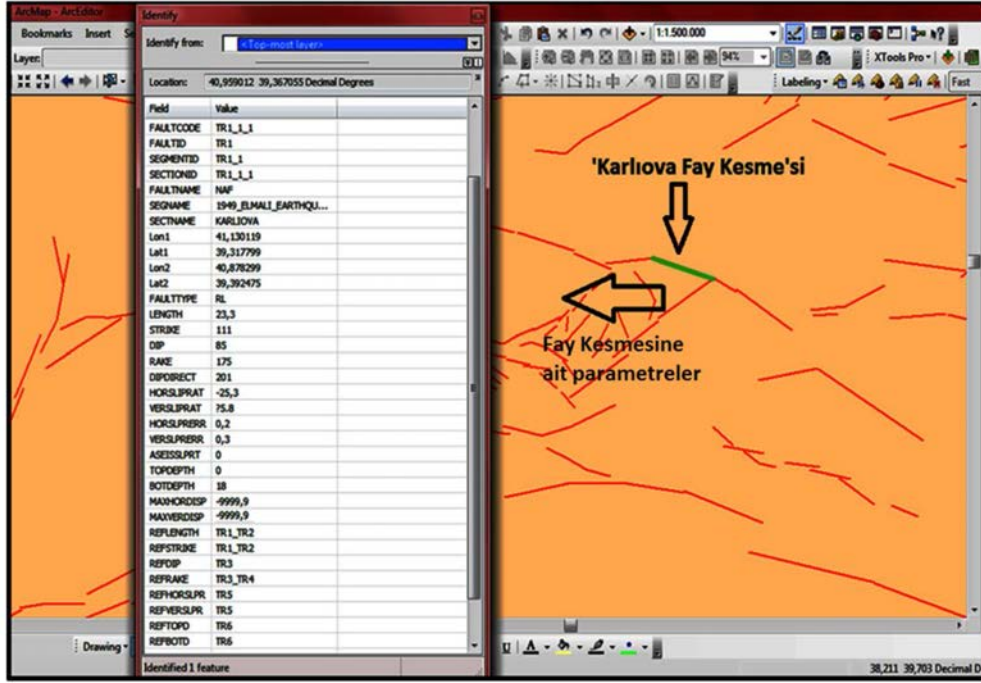
Burada M_{mean} ortalama magnitüd ve M_{min} ise incelenen zaman aralığında deprem kataloğunun tamamlılık düzeyini gösteren minimum magnitüd veya kesme magnitüdüdür. Minimum magnitüd değeri M_{min} , tamamlılık magnitüdü M_c 'ye eşit ya da ondan büyük olarak alınır. En büyük olasılık yöntemi, yapay (suni) olarak düşük b değerlerine neden olabilen algılama eşiğindeki artışlara karşı daha fazla hassas olabilir (Wiemer, 2001; Çetin, 2004). Bu çalışmada Gutenberg- Richter (G-R) ilişkilerinin belirlenmesinde ZMAP paket bilgisayar programı kullanılmıştır (Wiemer, 2001) Gutenberg-Richter ilişkilerinin hesaplanması için Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü Ulusal Deprem İzleme Merkezi'nden temin edilen, 1900-2010 yılları arasında Türkiye ve yakın çevresinde (34-43°K Enlemleri / 25-46°D Boylamları arası) meydana gelmiş (Kalafat ve diğ., 2011), büyüklükleri $M_w \geq 4.0$ olan 9200 adet depremi kapsayan bir

deprensellik verisi kullanılmıştır (Şekil 2). Kullanılan bu deprensellik verisinde kümülatif deprem sayılarının magnitüd ve zamanla ve kümülatif momentin zamanla değişimi gibi bazı istatistik özellikleri Şekil 11'de verilmiştir. Kaynak zonları, 0.02° aralıklarla karelejanmış ve karelej içindeki her bir düğüm noktası merkezli çizilen 100 km çaplı daire içinde düşen depremlerden Gutenberg-Richter ilişkileri belirlenmiştir. Her bir veri hacmi içinde hesaplama yapılacak en küçük deprem sayısı 50 alınmıştır.

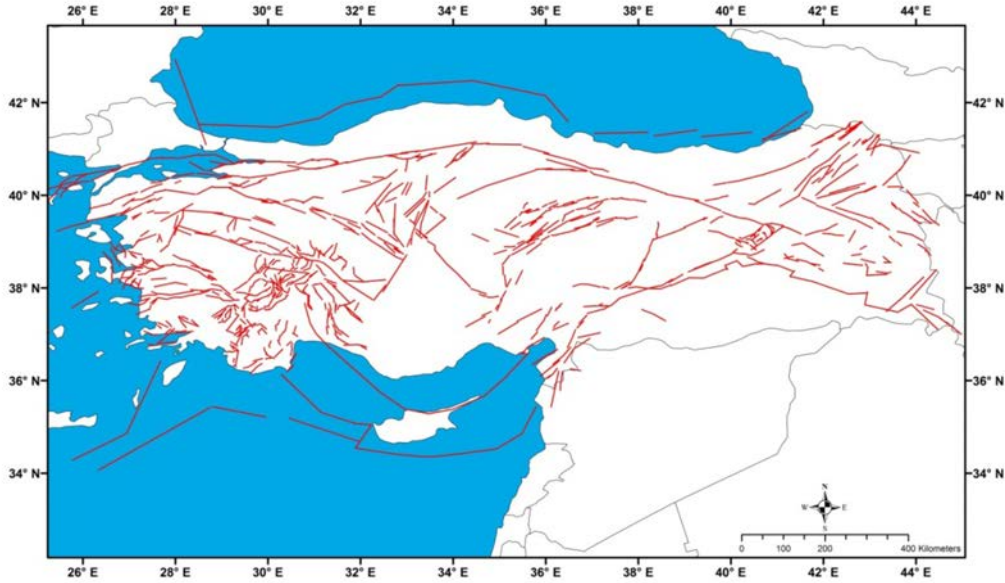
BULGULAR

Fay kesmelerini temel alan aktif fay veri tabanı Şekil 10b'de haritalanmıştır. Veri tabanı toplam 1070 adet fay kesmesini ve 23.356 km fay uzunluğunu kapsamaktadır. Çalışma bölgesi içinde tanımlanan kaynak bölgeleri ise Şekil 12a'da gösterilmiştir. Bölgenin genel sismik aktivitesi göz önünde bulundurularak depremlerin yoğun olarak kümelenildiği bölgeler ve faylanmaların yönü ve türlerine göre çalışılan bölge 54 adet alan kaynağa bölünmüş ve her bir sismik zon için tamamlılık magnitüdü belirlenerek, depremlerin episantr dağılımları analiz edilerek deprensellik sabitleri (a ve b değerleri) hesaplanmıştır (Şekil 13). Her bir kaynak zonu için hesaplamada kullanılan deprem sayıları, gözlenmiş en büyük

a

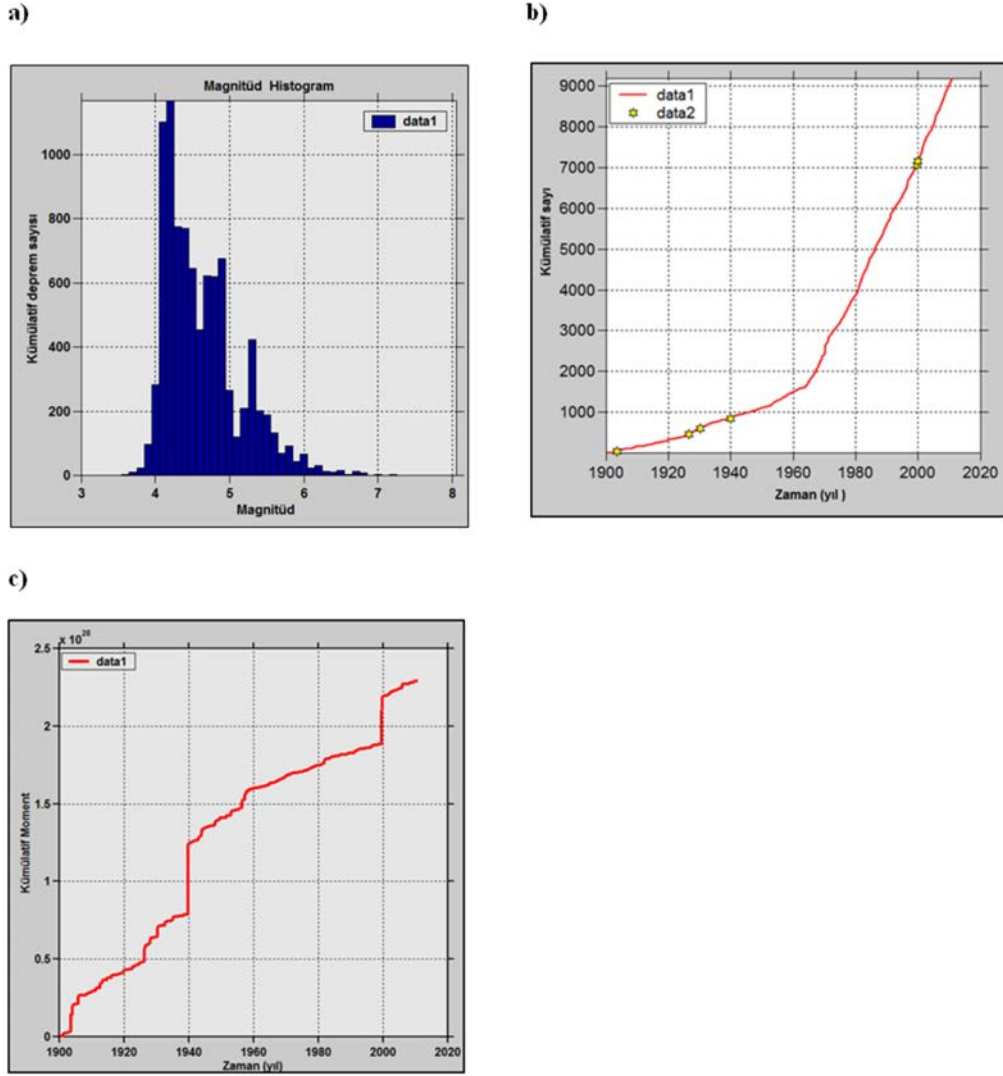


b



Şekil 10. a) Aktif fay veri tabanı CBS'de (Coğrafik Bilgi Sistemleri) kullanılacak formatta hazırlanmıştır. CBS ortamında aktif fay veri tabanı haritalanıp bir fay kesmesi üzerine tıkladığında ilgili fay sekmesine ait aktif fay veri tabanındaki mevcut parametreler ekrana gelmektedir. Bu görsellik özelliği, aktif veri tabanındaki verilere ulaşmak kolaylaşırken büyük bir kullanım kolaylığı da sağlanmaktadır. b) Çalışmada Arc-GIS ortamında oluşturulan fay kesmesi temelli aktif fay veri tabanının harita görüntüsü. Veri tabanı toplam 1070 adet fay kesmesini ve 23.356 km fay uzunluğunu kapsamaktadır

Figure 10. a) The active fault database has been prepared in a proper format to be used in GIS. When the database is mapped in GIS domain and clicked on a fault section, all available parameters of the relevant fault section are displayed on the screen. This visual display makes it easy to access the data and it provides quick access to relevant data. b) Map view of the active fault database prepared in Arc-GIS format. The database contains a total number of 1070 fault sections having a total fault length of 23.356 km.



Şekil 11. Çalışmada kullanılan, Türkiye ve yakın çevresinde 1900-2010 yılları arasında meydana gelmiş $M_w \geq 4.0$ depremleri içeren katalog için (a) magnitüd-kümülatif deprem sayıları histogramı ve (b) kümülatif deprem sayılarının ve (c) kümülatif sismik momentin zamanla değişim grafikleri.

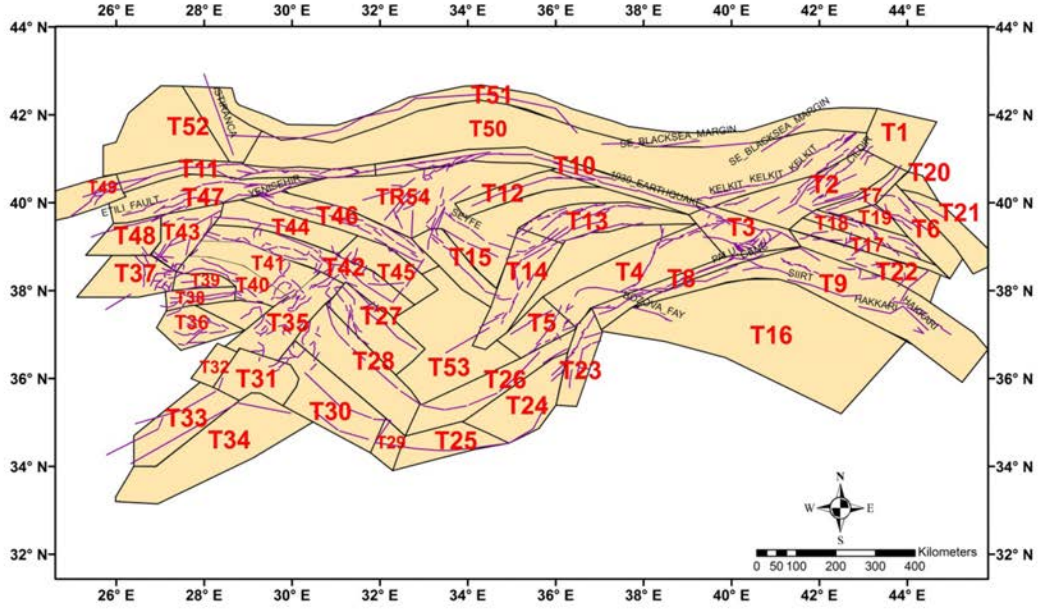
Figure 11. (a) Magnitude-frequency histogram and (b) cumulative numbers and (c) cumulative seismic moment of earthquakes with time graphics for the catalogue, which comprises the earthquakes for Turkey and near vicinity and it covers time period 1900-2010.

depremler ve hesaplanan tamamlılık magnitüdüleri, a ve b değerleri ve hata miktarları Çizelge 1'de listelenmiştir. Kaynak bölgeleri için hesaplanan b değerlerinin değişimi Şekil 12b'de gösterilmiştir.

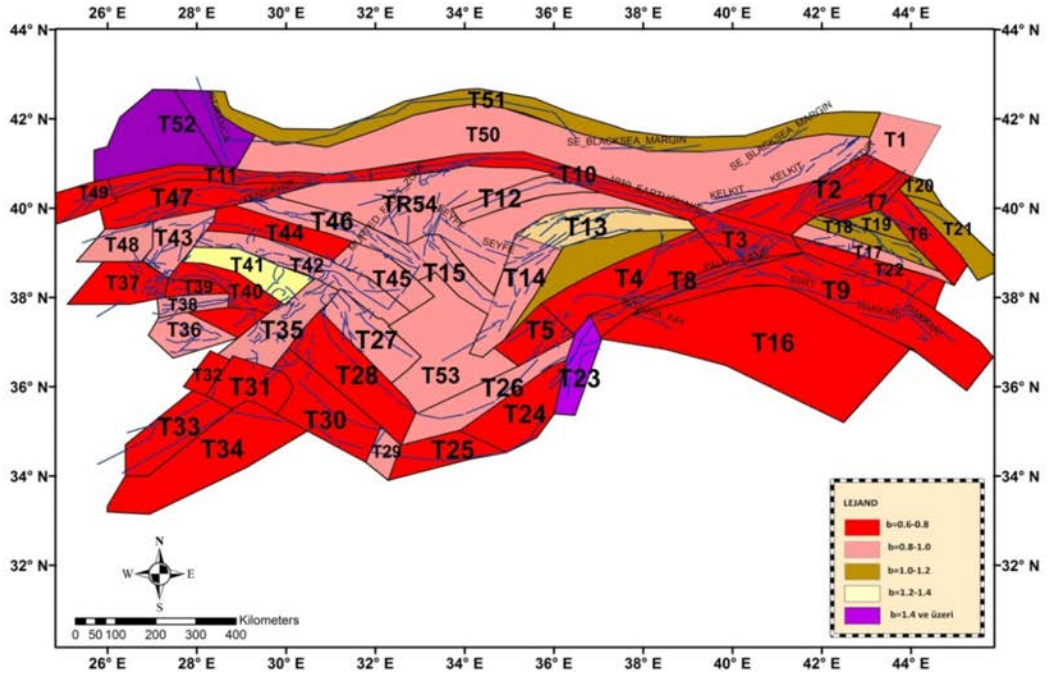
TARTIŞMA

b değerleri en büyük olasılık yöntemi yanında en küçük kareler yöntemi kullanılarak da hesaplanmıştır (Çizelge 1). Çizelge 1'den her iki yöntem için hesaplanan değerlerin birbirine yakın olduğu görülebilir. Ayrıca, b değerinin uzaysal dağılımlarının hesaplanmalarında kullanılan

a)

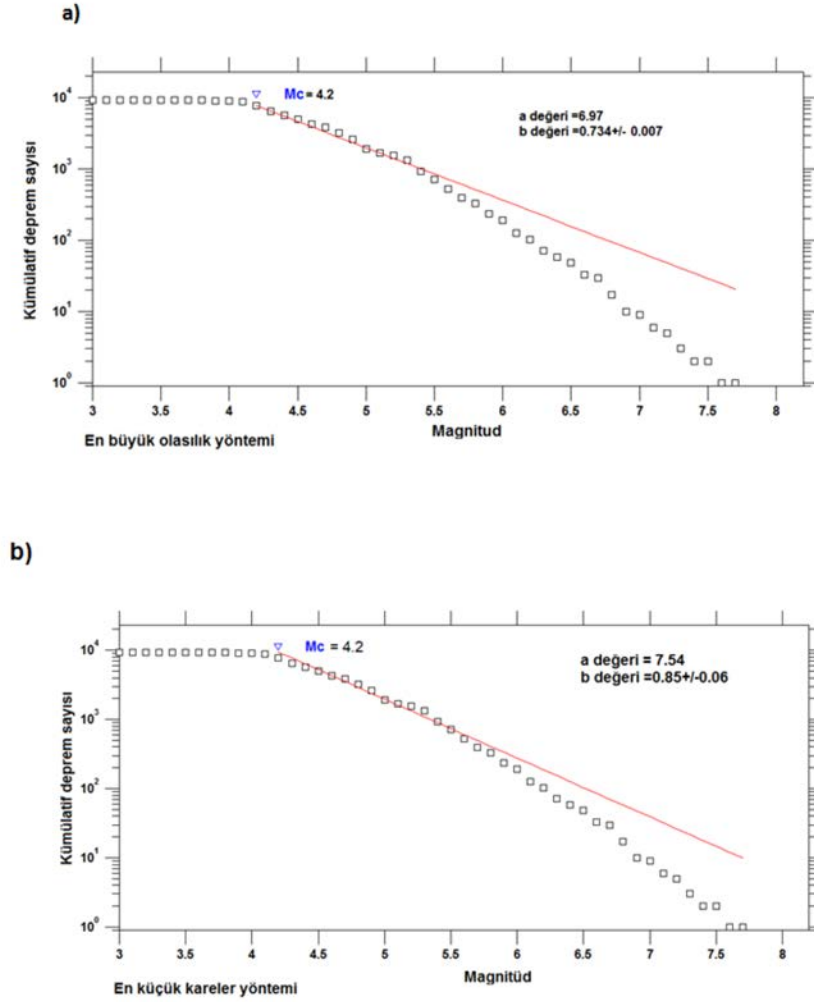


b)



Şekil 12. (a) Aktif fay veri tabanının harita görüntüsü üzerinde tanımlanan deprem kaynak zonları. Toplamda 54 kaynak zonu tanımlanmıştır. (b) Aktif fay veri tabanındaki fayların uzanımını gösteren harita üzerinde tanımlanan deprem kaynak bölgeleri için hesaplanan b değerlerinin değişimi.

Figure 12. (a) Earthquake source zones defined over the map view of the active fault database. In total, 54 source zones are defined. (b) Variation of b values calculated for the earthquake source zones defined over the map view of the active fault database.



Şekil 13. Çalışmada kullanılan depremsellik verisinin (a) EBO ve (b) EKK yöntemleri kullanılarak çıkarılmış Gutenberg-Richter ilişkileri. Depremsellik verisinin dış merkez dağılımı için Şekil 2'ye bakınız.

Fig. 13. Gutenberg-Richter relations of the seismicity data used in the study derived by utilising (a) ML and (b) LS methods. See Fig. 2 for the epicentral distribution of the seismicity data.

karelajlama aralıklarının ve veri dairesi yarıçaplarının değişmesinin sonuçlara etki etmesi kaçınılmazdır (Kalafat, ve diğ., 2010). Farklı veri hacimleri ile yapılan hesaplamalar kontrol edilmiş ve yapılacak yorumların değiştirilmesine yol açacak önemde farklar görülmemiştir.

Tamamlılık magnitüdü (M_c) 54 sismojenik zon için 4.0 ile 4.9 aralığında değişmiştir. En küçük tamamlılık magnitüdüleri T5 Göksun-Kozan, T17 Patnos, T18 Karayazı-Tutak-Çaldıran, T19 Balıkgölü Fay zonu, T20 Türkiye-Ermenistan sınırı,

T21 Aralık sismojenik zonları üzerinde $M_c=4.0$ olarak, en büyük tamamlılık magnitüdü (kesme magnitüdü) ise T41 Sivaslı-Banaz Horst ve T50 Kelkit-Çoruh zonu üzerinde $M_c=4.9$ olarak belirlenmiştir. Her bir zon için ayrı hesaplanan M_c değerlerinden büyük olan depremlerin dağılımı ve kümülatif sayısı listede gösterilmiştir (bknz. Çizelge 1). Deprem tehlike seviyeleri ve deprem aktiviteleri Gutenberg-Richter (1944) parametrelerine göre belirlenmiştir. Maksimum magnitüd değerleri her bir sismik kaynak zona düşen

Çizelge 1. Her bir zon için hesaplanan deprem tehlike parametreleri aşağıdaki gibi listelenmiştir ($M_w \geq M_c$ için M_{max} , M_{obs} , a değeri, b değeri)

Table 1. The calculated seismic hazard parameters ($M_w \geq M_c$, M_{max} , $M_{observed}$, a value) for each zone are as follows:

Deprem kaynak kodu	Deprem kaynak zonu	$N(\geq M_c)$	M_c (Mmin)	M (obs max)	M_{max}	$b \pm \sigma_b$ değeri (ML)	$b \pm \sigma_b$ value (WLS)	a değeri (ML)	a değeri (WLS)
T1	Türkiye-Gürcistan sınırı	89	4.8	6.2	6.7	0.987 ± 0.1	0.89 ± 0.07	6.44	5.96
T2	Erzurum	167	4.8	6.5	7.2	0.52 ± 0.02	1.06 ± 0.03	4.25	6.92
T3	Bingöl-Karakoçan	182	4.1	7.7	7.0	0.618 ± 0.04	0.66 ± 0.06	4.78	5
T4	Malatya-Elbistan	65	4.1	6.5	6.9	0.695 ± 0.07	0.75 ± 0.04	4.68	4.88
T5	Göksun-Kozan	73	4.0	6.2	7.0	0.68 ± 0.07	0.71 ± 0.05	4.57	4.77
T6	İğdır	79	4.1	5.8	6.8	0.743 ± 0.07	0.79 ± 0.04	4.92	5.2
T7	Kağızman	15	4.1	6.1	6.9	0.648 ± 0.1	0.67 ± 0.06	3.83	3.98
T8	Türkoğlu-Çelikhan	146	4.1	6.1	7.0	0.784 ± 0.05	0.789 ± 0.04	5.54	5.81
T9	Siirt-Hakkari	192	4.1	6.2	7.2	0.719 ± 0.04	0.87 ± 0.08	5.19	5.92
T10	KAF-Doğu Kesimi	84	4.2	6.8	7.4	0.565 ± 0.06	0.65 ± 0.07	4.16	4.68
T11	KAF-Batı Kesimi	269	4.1	7.5	7.1	0.742 ± 0.04	0.76 ± 0.03	5.47	5.57
T12	Ezine Fayı	17	4.3	5.4	7.1	0.979 ± 0.2	0.74 ± 0.06	5.41	4.35
T13	Kızılırmak	69	4.4	5.5	7.0	1.32 ± 0.1	1.68 ± 0.1	7.44	9.21
T14	Ecemiş Fayı	62	4.5	5.7	7.0	0.945 ± 0.08	1.24 ± 0.09	5.67	7.076
T15	Tuz Gölü Fayı	73	4.1	5.7	6.9	0.956 ± 0.1	1.06 ± 0.07	5.75	6.25
T16	Mardin- Şırnak	61	4.2	5.9	7.0	0.713 ± 0.07	0.82 ± 0.1	4.66	5.22
T17	Patnos	327	4.0	6.2	6.8	0.949 ± 0.04	1.09 ± 0.06	6.31	6.96
T18	Karayazı-Tutak-Çaldıran	601	4.0	7.0	6.9	1.02 ± 0.2	1.18 ± 0.06	7.39	7.56
T19	Balıkgözü Fayı	110	4.0	5.9	7.0	1.08 ± 0.1	1.11 ± 0.04	6.36	6.5
T20	Türkiye-Ermenistan sınırı	243	4.0	5.9	7.0	1.06 ± 0.06	1.18 ± 0.07	6.6	7.18
T21	Aralık Fayı	195	4.0	5.2	7.0	1.31 ± 0.1	1.15 ± 0.07	7.43	6.8
T22	Van Fayı	308	4.3	7.1	7.2	0.787 ± 0.03	0.98 ± 0.08	5.68	6.6
T23	Doğu Hatay Fayı	42	4.8	5.3	7.2	2.26 ± 0.6	1.07 ± 0.2	12.1	6.04
T24	Kıbrıs Yayı-Doğu	45	4.2	6.3	7.2	0.749 ± 0.1	0.64 ± 0.05	4.71	4.24
T25	Kıbrıs Yayı Doğu-2	63	4.1	6.0	7.2	0.708 ± 0.07	0.74 ± 0.06	4.68	4.68
T26	Girne Misis-Doğu	48	4.2	6.0	7.2	0.885 ± 0.1	0.78 ± 0.06	5.29	4.82
T27	Seydişehir Fayı	18	4.3	5.9	7.0	0.889 ± 0.3	0.63 ± 0.08	4.94	3.71
T28	Girne-Misis-Batı	121	4.0	6.0	7.3	0.753 ± 0.06	0.81 ± 0.02	5.1	5.4
T29	Paphos fayı	124	4.2	6.5	7.1	0.855 ± 0.07	0.9 ± 0.07	5.51	5.73
T30	Kıbrıs Yayı-Batı	77	4.2	5.9	7.5	0.639 ± 0.05	0.84 ± 0.06	4.38	5.32

Çizelge 1. Devamı.

Deprem kaynak kodu	Deprem kaynak zonu	N(\geq Mc)	Mc (Mmin)	M (obs max)	Mmax	b \pm σ_b değeri (ML)	b \pm σ_b value (WLS)	a değeri (ML)	a değeri (WLS)
T31	Pliny Trench-Kuzey_1	124	4.2	6.7	6.8	0.633 \pm 0.05	0.67 \pm 0.08	4.67	4.89
T32	Pliny Trench Kuzey_2	87	4.1	6.2	6.8	0.79 \pm 0.07	0.83 \pm 0.05	5.17	5.37
T33	Pliny Trench	432	4.1	6.6	7.8	0.773 \pm 0.03	0.86 \pm 0.07	5.77	6.22
T34	Strabo Trench	428	4.1	6.6	7.4	0.773 \pm 0.03	0.86 \pm 0.07	5.77	6.2
T35	Burdur Graben	257	4.5	6.6	6.8	1 \pm 0.06	1.22 \pm 0.05	6.72	7.82
T36	Gökova Transfer Fayı	96	4.1	6.3	6.9	0.851 \pm 0.08	0.82 \pm 0.06	5.46	5.36
T37	Seferihisar Fayı	172	4.0	6.4	7.1	0.72 \pm 0.05	0.740 \pm 0.04	5.12	5.27
T38	Büyük Menderes Graben	41	4.8	6.5	7.0	0.911 \pm 0.2	0.79 \pm 0.06	5.55	4.96
T39	Küçük Menderes Graben	24	4.2	6.3	6.9	0.668 \pm 0.2	0.50 \pm 0.1	3.89	3.44
T40	Gediz Graben	86	4.2	6.1	6.7	0.68 \pm 0.06	0.79 \pm 0.08	4.72	5.32
T41	Sivaslı-Banaz Horst	74	4.9	6.0	6.5	1.23 \pm 0.2	0.81 \pm 0.05	7.48	5.3
T42	Akşehir	323	4.4	6.5	7.2	0.936 \pm 0.06	0.97 \pm 0.04	6.46	6.67
T43	Balıkesir	90	4.1	6.0	7.4	1 \pm 0.1	0.94 \pm 0.05	6.06	5.83
T44	Kütahya	110	4.2	6.2	7.3	0.59 \pm 0.07	0.51 \pm 0.09	4.13	3.81
T45	Konya	22	4.2	5.8	6.9	0.954 \pm 0.2	0.86 \pm 0.06	5.31	4.9
T46	Sivrihisar	34	4.0	6.2	7.2	0.928 \pm 0.06	991 \pm 0.05	6.41	6.83
T47	Geyve-Gemlik	79	4.0	6.8	7.0	0.658 \pm 0.06	0.74 \pm 0.04	4.53	4.93
T48	Edremit	111	4.1	6.7	7.0	0.912 \pm 0.1	0.68 \pm 0.06	5.76	4.68
T49	Saros-Limnos	184	4.1	6.2	7.1	0.684 \pm 0.04	0.83 \pm 0.05	4.93	5.64
T50	Kelkit-Çoruh	104	4.9	6.8	7.2	0.938 \pm 0.1	1.02 \pm 0.08	6.17	6.68
T51	Karadeniz Marjin	12	4.7	5.4	7.6	1.10 \pm 0.09	1.17 \pm 0.05	6.46	6.14
T52	Istranca	19	4.7	5.4	7.7	1.53 \pm 0.4	0.8 \pm 0.1	8.28	4.68
T53	Mut-Pozantı	19	4.2	5.7	7.4	0.911 \pm 0.2	0.75 \pm 0.06	5	4.3
T54	Çeltikçi-Seyfe	240	4.1	6.2	7.3	0.843 \pm 0.06	0.71 \pm 0.06	5.82	4.1

fayların faylanma türü ve uzunluklarına göre Wells and Coppersmith (1994) bağıntılarından faydalanarak hesaplanmıştır. Buna göre kaynak zona düşen gözlenen maksimum magnitüd değerleri ile beklenen magnitüd değerleri Çizelge 1' de karşılaştırılmıştır. 1900-2010 yılları arasındaki derlenmiş homojen kataloğa göre genel olarak gözlenen magnitüd değerleri T21 Aralık Fayı zonu üzerinde Mw 5.2 ile T3 Bingöl-Karakoçan zonu üzerinde Mw 7.7 (1939 Erzincan Depremi) arasında değişmektedir. Gözlenen diğer büyük depremler T10 ve T11 Kuzey Anadolu Fayı'nın

doğu ve batı zonlarında sırasıyla Mw 7.5 (1999 Kocaeli depremi) ve Mw 7.2 (12 Kasım Düzce depremi)'dir. Aynı zamanda sismojenik zonlar için faylanma türü ve uzunluklarına göre yapılan analizlere bakıldığında beklenen maksimum magnitüd değerleri en düşük T41 Sivaslı-Banaz Horst graben üzerinde Mw 6.5 ile; T33 Pliny Trench üzerinde Mw 7.8 arasında değişmektedir. Pliny Trench ve çevresi dalma batma zonu içerisinde kalan bir yay olduğundan burada derin deprem aktivitesi oldukça fazla görülmektedir. Beklenen ikinci büyük deprem aktivitesi

Istranca zonu üzerinde Mw 7.7 olarak hesaplanmıştır. Ancak bu zon üzerinde son yüzyılda Mw=5.4 ten büyük deprem gözlenmemiştir. Hesaplamalarda gözlenen ile hesaplanan en geniş magnitüd aralığı T23 zonunda Hatay'ın doğu kısmında; gözlenen deprem magnitüdü Mw 5.3 ile beklenen deprem magnitüdü Mw 7.2 olarak belirlenmiştir. Özellikle beklenen maksimum magnitüd değerleri Güney Marmara, Kıbrıs ve Ege yayı ve çevresi, Karlıova Üçlü eklemi ve çevre zonları ve Kuzey Anadolu fayı boyunca hesaplanmıştır. Hesaplamalarda veri setinin tamamlılığı ve kalitesi çok önemlidir (Kalafat ve diğ., 2010). Kataloğun tamamlılığı, deprem sayısı, gözlem süresi ve oluşturulan sismojenik zonun genişliği ve hâkim faylanma türüne bağlı olarak bu değerlerde hassas değişimler olacaktır. Gutenberg-Richter ilişkisindeki b değerinin sismik değerlendirmelerdeki önemi ve deprem tahmininde öncü anomali olarak kullanılabilirliğinin yanında, gerilme birikimi, çatlak yoğunluğu ve heterojenite derecesi gibi sismojenik malzemedeki mekanik karakterlerin bir tamamlayıcısıdır (Voidomatis ve diğ., 1990; Ogata ve diğ., 1991). Düşük b değerleri kabuktaki yüksek gerilme birikimini ve homojen malzeme özelliğini göstermektedir (Yadav et al., 2011). Yüksek malzeme heterojenitesi veya yüksek çatlak yoğunluğu yüksek b değerlerine sebep olur ve ısı dağılımındaki yükselim yüksek b değerine neden olabilir (Mogi, 1962). Malzeme heterojenliği incelenen bölgeyi oluşturan kayaların malzeme özelliklerinin çok fazla değişken olmasından kaynaklanır. Bu malzeme özellikleri kayaların içerdiği kırık yoğunluğu, kırılma direnci ve gözenek sıvı basıncı gibi parametreler olabilirler. Örneğin, çok kırıklı bir yapı içeren kayalar küçük depremleri oldukça fazla sayıda üretebileceklerinden, büyük bir b değeri gözlenir. Artçı sarsıntı verilerinden bulunan b değeri, malzeme heterojenliğini karakterize etmez. Bu nedenle, tarihsel dönem verileri ile bulunacak b değerinden farklıdır. Dolayısıyla malzeme heterojenliğine bağlı olarak b değerlerinde değişim gözlenir (Wiemer ve Katsumata, 1999). Bu çalışmada en büyük olasılık yöntemine göre en düşük b değerleri T2 Erzurum ve T44 Kütahya kaynak zonu üzerinde sırasıyla $b=0.52\pm 0.02$, $b=0.59\pm 0.07$ olarak, en büyük b değerleri T23 Doğu Hatay Fayı kaynak zonu ve T52 Istranca kaynak zonla-

rı üzerinde sırasıyla $b=2.26\pm 0.6$ ve $b=1.53\pm 0.4$ olarak hesaplanmıştır. En küçük kareler yöntemine göre yapılan hesaplamalarda ise en küçük b değerleri T3 Bingöl-Karakoçan ve T39 Küçük Menderes Graben kaynak zonu üzerinde sırasıyla; $b=0.66\pm 0.06$ ve $b=0.50\pm 0.1$ olarak, en büyük b değerleri ise T13 Kızılırmak ve T35 Burdur Graben zonu üzerinde sırasıyla $b=1.68\pm 0.1$ ve $b=1.22\pm 0.05$ olarak hesaplanmıştır. Düşük b değerleri ($b<0.80$) özellikle Kıbrıs ve Ege yayı boyunca, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay zonu, Kütahya Fayı, Yenice-Gönen, Geyve-Gemlik, Küçük Menderes Graben fay zonları üzerinde tespit edilmiştir ki; bu zonlarda kabukta stres değerinin yüksek olduğunu ve gelecekte büyük bir depremin olma olasılığının arttığı söylenebilir. Yüksek b değerleri ($b>1.10$) ise özellikle T23 Hatay, T52 Tekirdağ, T41 Uşak, T13 Sivas ve civarındaki zonlarda hesaplanmıştır. Bu zonlarda gözlenen yüksek b değerleri ise kabuktaki stres birikiminin daha düşük olduğunu göstermektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye için CBS ortamında aktif faylar veri tabanı oluşturulmuş ve toplam 1070 fay kesmesinin fiziksel parametreleri tanımlanmıştır. Toplam 23.356 km uzunluğunda fayların veri girdisi tam olarak yapılmıştır (Şekil 10b). Bu çalışma ile Türkiye'de standart formatta ilk kez bu kadar ayrıntılı bir aktif fay veri tabanı oluşturulmuş, sismik tehlike çalışmaları için başarılı bir adım atılmıştır. EMME projesi kapsamında hazırlanan veri tabanları projenin bitiminde, 2014 yılında kullanıcıların hizmetine sunulacaktır. Tanımlanan her fay kesmesi için girilen fiziksel parametrelerin referanslarının (makale, rapor, harita vb.) standart bir formatta bir araya getirilerek pdf formatında dosyaların saklanması da bize zengin dijital bir kütüphane sunmuştur. Bu literatür çalışmaları ve verilerin kaynağının belirlenmesi ve güvenilirliği açısından önemlidir. Ayrıca bu çalışma için derlenen homojen kataloğlardan yararlanılarak ayrıntılı bir şekilde deprem analizleri yapılmış ve bulunan b değerleri açısından da çoğu sismik kaynak zonlarda kataloğlarda tutarlılık görülmüştür. Aşağıda gösterilen deprem tehlike haritasına göre; Türkiye jeo-tektonik elemanlarının özellikleri ile deprem

oluşumlarının ve kaynak mekanizmalarının homojenliklerine göre 54 adet deprem kaynak zonuna bölünmüştür. Bu zonlarda hesaplanan deprensellik sabitlerine göre hesaplanan b değerlerinin genellikle 0.6-1.4 arasında değiştiği görülmüştür (Şekil 12b). Haritada bölgelerin b değeri değişimi 5 grupta incelenmiştir: 0.6-0.8, 0.8-1.0, 1.0-1.2, 1.2-1.4, 1.4 ve üzeri olanlardır. Düşük b değerleri ($b < 0.80$) özellikle Kıbrıs ve Ege yayı boyunca, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay zonu, Kütahya Fayı, Yenice-Gönen, Geyve-Gemlik, Küçük Menderes Graben fay zonları üzerinde tespit edilmiştir. Bu düşük b değerleri adı geçen zonlarda kabukta stres değerinin yüksek olduğunu ve gelecekte büyük magnitudlü depremlerin olma olasılığının bulunduğunu göstermektedir. Yüksek b değerleri ($b > 1.10$) ise özellikle T23 Hatay, T52 Tekirdağ, T41 Uşak, T13 Sivas ve civarındaki zonlarda hesaplanmıştır. Bu zonlarda ise; kabuktaki stres birikiminin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Yüksek b değerlerinin elde edildiği bu bölgeler yerel tektoniğine ve tarihsel dönem deprem aktivitesine bakıldığında bu değerlerin beklenildiği bölgelerdir. Ancak Hatay ve civarında yüksek b değerlerinin gözlenmesinin (Şekil 12b) tektonik sebebinin, bölgede meydana gelen sığ odaklı depremlerin odak mekanizması çözümlerinin ışığında, bir açılma rejiminin Hatay bölgesinde etkin olmasından kaynaklandığı öne sürülebilir. Bölgedeki tektonik durum doğrultu atımlı rejimden çok açılma rejimi karakterine sahiptir (Över ve diğ., 2011).

Bir diğer açılmalı tektonik rejimin hakim olduğu Ege Bölgesi'nde b değerlerinin 0.6-1.0 arasında değişmesi ise başka bir soru işaretidir. (Sayıl, 2008; Polat ve diğ., 2008). Özellikle bazı kaynak bölgelerindeki baskın b değerlerinin, bölgenin tektonik ve litolojik yapısına göre değişen bir parametre olduğu bilinmektedir (Wiemer ve diğ., 1998). GPS çalışmaları Ege bölgesinin çok çabuk deforme olabilen kıtasal bir bölge olduğunu göstermiştir (Reilinger ve diğ., 2006; Aktuğ ve diğ., 2009; Bradley ve diğ., 2013). Rezistivite çalışmaları Ege bölgesinde üst kabuk ile alt kabuk arasında önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir. Üst kabukta rezistivite değerlerinin yüksek olması burada gerilim biriktirebilecek özellikte bir üst kabuğun

bulunduğunu işaret etmektedir. Özdirenci daha az olan alt kabuk sayesinde Ege Bölgesi çok hızlı bir şekilde deforme olmakta ve genişlemektedir (İlkışık, 1995; Bayrak ve diğ., 2000; Bayrak ve Nalbant, 2001; Bayrak, 2002; Gürer ve Bayrak, 2007; Gürer, 2009). Depremlerin odak mekanizma çözümleri bunu doğrulamakta ve bu bölgede kabuğun 10 km derinliğe kadar yüksek deprenselliğe sahip olduğunu göstermektedir (Zhu ve diğ., 2006a; Zhu ve diğ., 2006b; Sayıl, 2008; Tezel ve diğ., 2010).

b değerlerini önemli ölçüde etkileyecek diğer faktörler: sismik katalogların tamamlılığı, b değerinin odak derinliğine bağlılığı, b değeri hesabında kullanılan değişik teknikler olarak sayılabilir (Wiemer ve diğ., 1998; Kagan ve diğ., 1999). Hesaplamalarda verinin yeterli ve güvenilir olması elbette b değeri hesaplamalarının güvenilirliğini arttıracaktır. Bu nedenle tamamlılık magnitudlerinin belirlenmesi ($M_c=4$ ve civarı) gerekir ve küçük olması tercih edilir. Wiemer ve diğerlerine (1998) göre b değerindeki değişimler; magnitud ölçeğine, derinliğe ve diğer faktörlere bağlı olarak %50 veya daha fazla olabilir. Yapılan b değeri hesaplamalarının bölgenin hakim tektonik rejimine doğrudan bağlı olduğu ve dolayısıyla dünya standartlarında $b=1$ değerinden sapmalar olacağı kaçınılmazdır. Küçük bir artçı şok bölgesi için bile b değeri önemli değişimler gösterebilir. Minimum b değeri, bölgedeki gelecek bir deprem için olası bir yere işaret edebilir (Westerhaus ve diğ., 2002).

Türkiye ve yakın çevresi Arabistan, Avrasya ve Afrika plakaları arasında kavşak bir bölge olması itibarıyla (Gülen ve diğ., 1987) aktif tektoniği ve deprenselliği ile önemle çalışılması, jeolojik ve jeofizik bilgilerin sürekli güncellenmesi gereken bir bölgedir. Bu çalışmayı diğer çalışmalarından ayıran özellikler: güncel verilerle analizlerin yapılması, bölgeyi kontrol eden fay zonlarının tekrar güncellenmesi ve detaylı bir şekilde fay parametrelerinin belirlendiği bir veri tabanının oluşturulmasıdır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmada kullanılan verilerin elde edilmesinde emeği geçen B.Ü. KRDAE Deprem Mühendisliği çalışanları M. Betül Demircioğlu ve Karin

Sesetyan'a, Ulusal Deprem İzleme ve Araştırma Merkezi (UDİM) çalışanlarına, UDİM Müdürü Sayın Dr. Doğan Kalafat'a ve Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Müdürü Sayın Prof. Dr. Mustafa Erdik'e teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

- Aki, K., 1965. Maximum Likelihood Estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits. *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, 43, 237-239.
- Aktar, M., Ergin, M., Özalaybey, S., Tapırdamaz, C., Yörük, A. and Biçmen, F., 2000. A lower-crustal event in the northeastern Mediterranean: the 1998 Adana Earthquake ($M_w = 6.2$) and its aftershocks. *Geophys. Res. Lett.*, 27, 2361-2364.
- Aktuğ, B., Nocquet, J. M., Cingöz, A., Parsons, B., Erkan, Y., England, P., Lenk, O., Gürdal, M. A., Kilicoglu A., Akdeniz, H., Tekgül, A., 2009. Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: Limits to block-like behavior. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 114, 1978-2012, B1, doi: 10.1029/2008JB006000.
- Alsan, E., 1972. Magnitude and time distributions of earthquakes in Turkey. *Bull. Inst. Inst. Seismol. Earthquake Eng.*, 7, 1-10.
- Alptekin, Ö., 1973. Focal Mechanisms of Earthquakes in Western Turkey and Their Tectonic Implications, Ph. D. thesis, Tech, Socorro, New Mexico.
- Alptekin, Ö., 1978. Magnitude-frequency relationships and deformation release for the earthquakes inland around Turkey. Thesis for Promoting to Associate Professor Level, Karadeniz Technical University, 107 p. (in Turkish).
- Ambraseys, N N., Jackson, J. A., 1998. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International- Oxford*, 133, 390-406.
- Ambraseys, N., 2009. Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: a multidisciplinary study of seismicity up to 1900. Cambridge University Press, 947 p.
- Barka, A. A., Toksöz M. N., Gülen, L., and Kadinsky-Cade, K., 1987. Segmentation, seismicity, and earthquake potential of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone. *Yerbilimleri, Bull. Earth Sci. Appl. Res. Center, Hacettepe Univ.* 14, 337-352.
- Barka, A. A., Akyüz, H. S., Altunel, E., Sunal, G., Çakır, Z., Dikbaş, A., Yerli, B., Armijo, R., Meyer, B., De Chabaliere, J. B., Rockwell, T., Dolan, J. R., Hartleb, R., Dawson, T., Christofferson, S., Tucker, A., Fumal, T., Langridge, R., Stenner, H., Lettis, W., Bachhuber, J. & Page, W. 2002. The Surface rupture and slip distribution of the 17 August 1999 İzmit earthquake ($M 7.4$), North Anatolian Fault. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, 43-60.
- Barka, A., and Eyidoğan, H., 1993. The Erzincan Earthquake of 13 March 1992 in Eastern Turkey. *Terra Nova*, 5, 190-194.
- Barka, A., ve Kadinsky-cade, 1988. Strike-slip Fault Geometry in Turkey and its influence on Earthquake Activity. *Tectonics*, 7, 663-684.
- Başöz, N., 1992. Seismic Hazard Assessment in Regions Having Diffused Boundaries and Nonhomogeneous Attenuation. Master Thesis. Middle East Technical University, 161 p.
- Bath, M., 1979. Seismic risk in Turkey, a preliminary approach, *Tectonophysics*, 54, 9-16.
- Bayrak, M., İlkışık, O. M., Kaya, C., Başokur, A. T., 2000. Magneto-telluric data in western Turkey: dimensionality analysis using Mohr circles. *Journal of Geophysical Research*, 105, 23391 -23401.
- Bayrak, M. and Nalbant, S. S., 2001. Conductive crust imaged in western Turkey by MT. *Geophysical Research Letters*, 28, doi: 10.1029/2001GL012894.
- Bayrak, M., 2002. Exploration of chrome in Southwestern Turkey by VLF-EM. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 5, 35-46.

- Bayrak, Y., Yilmaztürk, A., and Öztürk, S., 2005. Relationships between fundamental seismic hazard parameters for the different source regions in Turkey. *Natural Hazards*, 36, 445-462.
- Bayrak, Y., Öztürk, S., Çınar, H., Kalafat, D., Tsaponos, T., Koravas, G. C., Leventakis, G. A., 2009. Estimating earthquake hazard parameters from instrumental data for different regions in and around Turkey. *Engineering Geology*, 105, 200-210.
- Burton, P. W., McGonigle, R. W., Macropoulos and Üçer, S. B., 1984. Seismic Risk in Turkey, the Aegean and the Eastern Mediterranean: the occurrence of large magnitude earthquakes. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 78, 475-506.
- Bogdanov, N. A., Khain, V. E., Koronovsky, N.V., Lomize, M. G., and Chekhovich, V. D., 1994. Tectonic map of the Mediterranean Sea (1:5,000,000). Russian Academy of Sciences, Moscow.
- Bradley, K. E., Vassilakis, E., Hosa, A., Weiss, B., 2013. Segmentation of the Hellenides recorded by Pliocene initiation of clockwise block rotation in Central Greece. *Earth and Planetary Science Letters*, 362, 6-19.
- Çetin, C., 2004. Marmara Bölgesinde Artçı Depremlerin İstatistiksel Analizi-Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 93 s.
- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus D. F., and Stein, S., 1990. Effects of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophys. Res. Lett.*, 21, 2191-2194.
- Demircioğlu, M. B., Sesetyan, K., Durukal, E., and Erdik, M., 2007. Assessment of Earthquake Hazard in Turkey. *Proceedings of the 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Thessaloniki, Greece.
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Şaroğlu, F., Şengör, AMC., 1986. Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia young collision zone. In: Coward, M.P., Riea, A.C. (Eds.). *Collision Tectonics*. Geol. Soc. Lond., Spec. Publ., 19, 3 – 36.
- Dhont, D., and Chorowicz, J., 2006. Review of the neotectonics of the Eastern Turkish-Armenian Plateau by geomorphic analysis of digital elevation model imagery. *International Journal of Earth Science (Geol Rundsch)*, 95, 34-49.
- Djamour, Y., Vernant, P., Nankali, H. R., Tavakoli, F., 2011. NW Iran-eastern Turkey present-day kinematics: Results from the Iranian permanent GPS network. *Earth and Planetary Science Letters*, 307, 27- 34.
- Egeran, N., ve Lahn, E., 1944. 1/2.400.000 Mikyaslı Türkiye Yer Depremleri Haritası Hakkında Muhtıra. *M.T.A. Mec.*, 9 (2/32), 270-289.
- Elliot, J. R. Copley, A. C., Holley, R., Scharer, K., Parsons, B., 2013. The 2011 Mw 7.1 Van (Eastern Turkey) earthquake. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 118, 1-19.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S. ve Elmacı, H., 2011. 23 Ekim 2011 Van depremi saha gözlemleri ve kaynak faya ilişkin ön değerlendirmeler. *MTA Jeoloji Etütler Dairesi*, Ankara, 22 s.
- EMME (Earthquake Model of Middle East Project), 2013. www.emme.org, 21 Kasım 2013.
- Erdik, M. and Öner, S., 1982. A rational approach for the probabilistic assessment of the risk associated with the North Anatolian Fault, in *Multi-disciplinary Approach to Earthquake Prediction*, edited by A. Işıkara and Vogel, Vieweg, Braunschweig-Wiesbaden, 115-127 s.
- Erdik, M., Doyuran, V., Yüçemen, S., Gülkan, P. and Akkaş, N., 1982. A probabilistic assessment of the seismic hazard in Turkey for long return periods. *Proc. 3rd Int. Earthquake Microzonation Conf.*, Seattle, Wash, 1261-1272 p..
- Erdik, M., Doyuran, V., Akkas, N., and Gülkan, P., 1985. A probabilistic assesment of the seismic hazard in Turkey. *Tectonophysics*, 117, 295-344.

- Erdik, M., Biro, Y.A., Onur, T., Sesetyan, K. ve Birgören, G., 1999. Assessment of Earthquake Hazard in Turkey and Neighboring Regions. *Annali Di Geofisica*, 42 (6), 1125-1138.
- Erdik, M., Demircioğlu M., Şeşetyan K., Durukal E., 2006. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar Ve Hava meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü Kıyı Yapıları, Demiryolları ve Havameydanları İnşaatları Deprem Teknik Yönetmeliği İçin Deprem Tehlikesi Belirlemesi, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul, 45 s.
- Ergin, K. ve Güçlü, U., 1971. Türkiye Depremlerinde Beklenecek Maksimum Şiddeti Gösterir harita.
- Ergünay, O., 2007. "Türkiye'nin afet profili", TMMOB Afet Sempozyumu, Ankara, s 1-14.
- Eyidoğan, H., ve Güçlü, U., 1993. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasının Evrimi ve Yeni Bir Harita İçin Öneri. *Jeofizik*, 7, 95-108.
- Finetti, I., Bricchi, G., Del Ben, A., Pipan, M., and Xuan, Z., 1988. Geophysical study of the Black Sea. *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 30, 197-324.
- Flerit, F., Armijo, R., King, G., Meyer, B., 2004. The mechanical interaction between the propagating North Anatolian Fault and the back-arc extension in the Aegean. *Earth and Planetary Science Letters*, 224 (2004) 347 – 362.
- Gutenberg, R., Richter, C. F., 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 34,185-188.
- Gutenberg, R. and Richter, C. F., 1954. Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 32, 163-191.
- Gülen, L., Barka, A., Toksöz, M. N., 1987. Continental collision and related complex deformation: Maraş Triple Junction and surrounding structures, southeastern Turkey. *Yerbilimleri (Bull. Earth Sci. Applica. and Res. Center, Hacettepe Univ.)*, 14, 319-336.
- Gülen, L., Pınar, A., Kalafat, D., Özel, N., Horasan, G., Yılmaz, M., and Işıkkara, AM., 2002. Surface fault breaks, aftershock distribution, and rupture process of the August 17, 1999 İzmit, Turkey Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, 1, 230-244.
- Gülen, L., Utkucu, M., Budakoğlu, E., Yalçın, H., Güneş, Y., Kalafat, D., 2012. Seismotectonics of the Lake Van Region and the October 23, 2011 Van Earthquake (Mw=7.1). *Seismological Research Letters*, 83(2), 438.
- Gülkan, P., Koçyiğit, A., Yüccemen, M. S., Doğan, V. and Başöz, N. 1993. A Seismic Zones Map of Turkey Derived from Recent Data (in Turkish). Middle East Technical University, Earthquake Engineering Research Center, Report No:93-01, Ankara.
- Gülkan, P., Koçyiğit, A., Yüccemen, M. S., Doğan, V., and Başöz, N., 1993. En son verilere göre hazırlanan Türkiye deprem bölgeleri haritası, Report No: METU/EERC 93-1.
- Gürer, A., Bayrak, M., 2007. Relation between electrical resistivity and earthquake generation in the crust of West Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 445, 49-65.
- Gürer, A., Bayrak, M., Gürer, Ö. F. , 2009. A VLF survey using current gathering phenomena for tracing buried faults of Fethiye-Burdur Fault Zone, Turkey. *Journal of Applied Geophysics*, 68, 3, (437-447).
- Hattori, S., 1979. Seismic risk maps in the world, 11, *Bull. Int. Inst. Seismol. Earthquake Eng.*, 17, 33-96.
- Hattori, S., 1980. Seismic Risk Maps in Turkey, Iran and Mediterranean Areas, Proceedings of the Seventh World Conference on Earthquake Engineering, İstanbul, p 285-292.
- İlhan, E., 1961. Yer Sarsıntıları ve Madencilik. *Madencilik Dergisi*, 3, 156 – 164.
- İlkişik, O. M., 1995. Regional heat flow in western Anatolia using silica temperature estimates from thermal springs.

- Tectonophysics, 244, 1–3, 15, p 175–184.
- İpek, M., Uz, Z. ve Güçlü, U., 1965, Sismolojik Donelere Göre Türkiye Deprem Bölgeleri. Deprem Yönetmeliği Toplantısına Takdim Edilen Rapor, 22 Şubat 1965, Ankara (Yayınlanmamış).
- Kagan, Y. Y., 1999, Universality of the seismic moment-frequency relation, *Pure Appl. Geophys.* 155, 537–577.
- Kalafat, D., Kekovalı, K., Güneş, Y., Yılmaz, M., Kara, M., Deniz, P. and Berberoğlu, M., 2009. Türkiye ve çevresi faylanma-kaynak parametreleri (MT) kataloğu (1938–2008). Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Ocak 2009, İstanbul.
- Kalafat, D., 2010. Türkiye Deprem Kataloğunun İstatistik Açısından Değerlendirilmesi: Örnek Çalışma- Statistical Evaluation of Turkey Earthquake Catalog: Case Study, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 1039, 87s., Bebek-İstanbul,
- Kalafat, D., Güneş, Y., Kekovalı, K., Kara, M., Deniz, P., Yılmaz, M., 2011. Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğu (1900–2010; $M \geq 4.0$) A revised and extended earthquake catalogue for Turkey since 1900 ($M \geq 4.0$).
- Karakhanyan, A., Vernant, P., Doerflinger, E., Avagyan, A., Philip, H., Aslanyan, R., Champollion, C., Arakelyan, S., Collard, P., Baghdasaryan, H., Peyret, M., Davtyan, V., Calais, E., Masson, F., 2013. GPS constraints on continental deformation in the Armenian region and Lesser Caucasus, *Tectonophysics*, 592, 39–45.
- Kayabalı, K., 2002. Modeling of Seismic Hazard for Turkey Using the Recent Neotectonic Data. *Engineering Geology*, 63, 221–232.
- Kayabalı, K., Akın, M., 2003. Seismic hazard map of Turkey using the deterministic approach. *Eng. Geol.*, 69, 127–137.
- Ketin, İ., 1982. Genel Jeoloji Cilt I (II.Baskı). Yerbilimlerine Giriş, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, İstanbul, 597s.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., and Kuloshvili, S., 2001. Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodynamical Acta*, 14, 177–195, doi: 10.1016/S0985-3111(00)01064-0.
- Koçyiğit, A., 2013. New field and seismic data about the intraplate strike-slip deformation in Van region, East Anatolian plateau, E. Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* 62, 586–605.
- Lahn, E., 1949. Seismological Investigations in Turkey. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 39(2), 67–71.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gürkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Nadariya, M., Ouzouni, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N. and Veis, G., 2000. GPS constraints on plate kinematics and dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, 105, 5695–5719.
- McKenzie, D. P., 1972. Active Tectonics of the Mediterranean Region. *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society*, 30, 109–185.
- Mogi, K., 1962. Study of the Elastic Shocks Caused by the Fracture of Heterogeneous Materials and its Relation to the Earthquake Phenomena. *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo*, 40, 125–173.
- Nur, A. and Cline, E. H., 2000. Poseidon's Horses: Plate tectonics and earthquake storms in the Late Bronze Age Aegean and Eastern Mediterranean. *Journal of Archaeological Science*, 27, 43–63.
- Nyst., T., and Thatcher, W., 2004. New constraints on the active tectonic deformation of the Aegean, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978–2012). 109, B11, doi: 10.1029/2003JB002830.
- Ogata, Y., Masajiro, I. Koichi, K., 1991. 3-D spatial Variation of b-values of Magnitude-Frequency Distribution beneath the

- Kanto District, Japan. *Geophys. J. Int.*, 104, 135-146.
- Okay, A. İ., 2000. Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geol. Mag.*, 137, 495-516.
- Över, S., Ünlügenç, U. C., Özden, S., 2001. Hatay bölgesinde etkin gerilme durumları. *Yerbilimleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 23, 1-14.
- Özer, N., Altınok, Y., Utkucu, M., Yalçınkaya, E., Alptekin, Ö., Pınar, A., Kanlı, A. İ. ve Şahin, Ş., 2002. 3 Şubat 2002 Afyon (Çay-Eber) depremi gözlem ve değerlendirmeler. *İ.Ü. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, 15, 2, 11-24.
- Özmen, B., 2012. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritalarının Tarihsel Gelişimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 55, 1.
- Pamir, H.N., 1948. *Dinamik Jeoloji. Cilt II, İstanbul Üniversitesi Yayınları*, 348, 404 s.
- Pampal, S. ve Özmen B., 2007. Türkiye'nin Deprem Gerçeği Deprem Bölgeleri Haritaları ve Yönetmeliklerinin Tarihsel Gelişimi, 1028 s.
- Pınar, A., Kalafat, D., 1998. Source processes and seismotectonic implications of the 1995 and 1996 Cyprus, eastern Mediterranean region earthquakes. *Tectonophysics*, 301, 217-230.
- Pınar, A., Yüksel, A. F., Kanlı, A. İ., Yılmaz, H., Alptekin, Ö., Yıldırım, A., Özçelik, S., Haspolat, Z., 2003. 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi (M=6.4). *Yerbilimleri Önerisi*, 40 s.
- Polat, O., Gök, E., Yılmaz, D., 2008. Earthquake Hazard of the Aegean Extension Region (West Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 593-614.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Çakmak, R., Özener, H., Kadırov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R. and Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *Journal of Geophysical Research*, 111, B05411, doi:10.1029/2005JB004051
- Reilinger, R., McClusky, S., Paradissis, D., Ergintav, S., Vernant, P., 2009. Geodetic constraints on the tectonic evolution of the Aegean region and strain accumulation along the Hellenic subduction zone. *Tectonophysics*, 488, 1-4, p 22-30.
- Sandvol, E., Türkelli, N., Barazangi, M., 2003. The Eastern Turkey Seismic Experiment: The study of a young continent-continent collision, *Geophysical Research Letters*, 30, 24, doi: 10.1029/2003GL018912.
- Sayıl, N., and Osmanşahin, İ., 2008. An investigation of seismicity for western Anatolia. *Nat. Hazards*, 44, 51-64.
- Scholz, C. H., 1968. The Frequency-Magnitude Relation of Micro fracturing in Rock and its Relation to earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am*; 58, 399-415.
- Schwartz, D. P., and Coppersmith, K. J., 1984, Fault Behavior and characteristic earthquakes: Examples from Wasatch and San Andreas Faults, *J. Geophys. Res.* 89, 5681-5698.
- Schwartz, D. P., and Coppersmith, K. J., 1989. Fault segmentation and controls of rupture initiation and termination, *Proceedings of conference XLV, Department of the Interior U.S. Geological Survey, Palm Springs, California, Open-File Report*, s 89-315.
- Schwartz, D. P., 1990. Geologic characterization of seismic sources: Moving into the 1990s. *Earthquake Engineering*, p 1-40.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. and Kuşçu, I., 1992. "Active Fault Map of Turkey", *Mineral Res. Explor. Inst. Turkey*.
- Şengör, A. M. Görür, C., N., and F. Şaroğlu, 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in *Strike-*

- slip Faulting and Basin Formation, K. Biddle and N. Christie-Blick (Editors), Special Publication 37, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Oklahoma.
- Tabban, A., 1969. Türkiye'nin Sismisitesi. İmar ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara, 47s.
- Tatar, O., Poyraz, F., Gürsoy, H., Çakır, Z., Ergintav, S., Akpınar, Z., Koçbulut, F., Sezen, F., Türk, T., Hastaoğlu, K., Ö., Polat, A., Mesci, B., L., Gürsoy, Ö., Ayazlı, E., Çakmak, R., Belgen, A., Yavaşoğlu, H., 2012. Crustal deformation and kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) from GPS measurements. *Tectonophysics*, 518-521 (2012) 55-62.
- Taymaz, T., ve Tan, O., 2001. Source parameters of June 6, 2000 Orta-Çankırı (Mw=6.0) and December 15, 2000 Sultandağ- Akşehir (Mw=6.0) earthquakes obtained inversion of teleseismic P and SH body waveforms. *Symposia on Seismotectonics of the North-Western Anatolia- Aegean and Recent Turkish Earthquakes*. İstanbul Technical University, Extended Abstract book, s 96-107.
- Turkelli, N., Sandvol, E., Zor, Ekrem., Gök, R., Bekler, T., Al-Lazki, A., Karabulut, H., Sadi Kuleli, Eken, T., Gürbüz, C., Bayraktutan, S., Seber, D., Barazangi, M., 2003. Seismogenic zones in Eastern Turkey, *Geophysical Research Letters* 30, 24.
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sönmez, H. ve Gökçeoğlu, C., 2004. An Attenuation Relationship Based on Turkish Strong Motion Data and Iso-Acceleration Map of Turkey. *Engineering Geology*, 74, 265-291.
- Utkucu, M., Nalbant, S., McClusky, J., Steacy, S. and Alptekin, Ö., 2003a. Slip Distribution and Stress Changes Associated with the 1999 November 12, Düzce (Turkey) Earthquake (Mw=7.1). *Geophys. J. Int.*, 153, 229-241.
- Utkucu, M., Alptekin, O., and Pınar, A., 2003b. A Detailed Source Study of The Orta (Çankırı) Earthquake of June 6, 2000 (Ms= 6.1): An Intraplate Earthquake in Central Anatolia. *Journal of Seismology*; 7, 193-202.
- Utkucu, M., Budakoğlu, E. ve Durmuş, H., 2011. Marmara Bölgesinde (KB Türkiye) depremsellik ve deprem tehlikesi üzerine bir tartışma. *Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Dergisi*, 32 (3), 187-212.
- Utkucu, M., 2013. 23 October 2011, Van, Eastern Anatolia, earthquake (Mw=7.1) and seismotectonics of Lake Van area. *J. Seismol.*, 17, 783-805, doi: 10.1007/s10950-012-9354-z.
- Vernant, Ph., Nilforoushan F., Hatzfeld, D., Abbassi, R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli., F., and Chery, J., 2004. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophysical J. Int.*, 157, 381-398.
- Voidomatis, PH. S., Pavlid, S. B. ve Papadopoulos, G. A., 1990. Active Deformation and Seismic Potential in the Serbomacedonian Zone, Northern Greece. *Tectonophysics*, 179, 1-9.
- Wells, D. L., Coppersmith, K. H., 1994. Empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area, and surface displacement. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 84, 974- 1002.
- Westerhaus, M., Wyss, M., Yılmaz, R., and Zschau, J., 2002. Correlating variations of b values and crustal deformations during the 1990s may have pinpointed the rupture initiation of the Mw=7.4 Izmit earthquake of 1999 August 17. *Geophysical Journal International*, 148, 1, 139-152.
- WGCEP, 2007. The Uniform California Earthquake Rupture Forecast, Version 2 (UCERF 2), Working Group on California Earthquake Probabilities-USGS Report.
- Wiemer, S., McNutt, SR., Wyss, M., 1998. Temporal and three-dimensional spatial

- analysis of the frequency-magnitude distribution near Long Valley Caldera. California., *Geophys. J. Int.*, 134, 409-421.
- Wiemer, S., and Katsumata, K., 1999. Spatial Variability of Seismicity Parameters in Aftershock Zones. *J. Geophys. Res.*, 104, 13135-13151.
- Wiemer, S., and Wyss, M., 1997. Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: an improved technique to calculate recurrence times. *J. Geophys. Res.*, 102, 15 115-15, 128.
- Wiemer, S., 2001. A software package to analyze seismicity,: ZMAP. *Seis. Res. Lett.*, 72(2),; 374-383
- Yadav, R. B. S., Bayrak, Y., Tripathi, J. N., Chopra, S., Singh, A. P., and Bayrak, E., 2011. A Probabilistic Assessment of Earthquake Hazard Parameters in NW Himalaya and the Adjoining Regions. *Pure Appl. Geophys.* 169, 1619–1639.
- Yalçın, H., Gülen, L., Çağnan, Z., Kalafat, D., 2012 . Kıbrıs ve Yakın Çevresinin Depremselliği. 65. Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özetleri Kitabı, s 4-5. Ankara.
- Yarar, R., Ergünay, O., Erdik, M. and Gülkan, P., 1980. A preliminary probabilistic assessment of the seismic hazard in Turkey. *Proc. 7th World Conf. Earthquake Eng.*, Istanbul, p 309 316.
- Yeats, R. S., Huftile, G. J., 1995. The Oak Ridge fault system and the 1994 Northridge earthquake. *Nature* , 373, 418 – 420, doi:10.1038/373418a0.
- Yılmaztürk, A. and Burton, P. W., 1999. An evaluation of seismic hazard parameters in southern Turkey. *J. Seismol.*, 3, 61–81.
- Zhu, L., Mitchell, B.J., Akyol, N., Cemen, I., Kekovali, K., 2006a. Crustal Thickness Variation in the Aegean Region and Its Implications for the Extension of Continental Crust. *J. geophys. Res.*, 111, B01301, doi:10.1029/2005JB003770
- Zhu, L., Akyol N., Mitchell, B. J., Sözbilir, H., 2006b. Seismotectonics of western Turkey from high resolution earthquake relocations and moment tensor determinations. *Geophysical Research Letters*, 33, 7, doi: 10.1029/2006GL025842.

