

## Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Depremselliği ve Deprem Tehlike Analizi

Nazlı Ceyla ANADOLU, Ümit Yalçın KALYONCUOĞLU\*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü / ISPARTA

Alınış tarihi:11.08.2009, Kabul tarihi:22.03.2010

**Özet:** Bu çalışmada Güneydoğu Anadolu Bölgesinin sismik riski ve sismisitesinin uzaysal dağılımı ele alınmıştır. Bu amaç doğrultusunda 1964–2008 yılları arasında bölgede meydana gelen ve magnitudü  $M \geq 4$  olan deprem verileri kullanılmıştır. Depremsellik parametrelerinin belirlenmesi için çalışma alanı 253 alt bölgeye ayrılmıştır. Her bir alt alan için, Gutenberg-Richter magnitud-frekans bağıntısındaki a ve b parametreleri hem En Küçük Kareler yöntemi ile hem de yeni geliştirilen Kaltek metodu kullanılarak hesaplanmış ve her iki yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Alternatif metod olan Kaltek'den elde edilen sonuçlar çalışma alanının tektonik yapısı ve deprem aktivitesi ile çok daha iyi uyum göstermiştir. Bölgede en düşük, en yüksek ve ortalama b değeri sırasıyla  $b_{\min}=0.8$ ,  $b_{\max}=1.26$  and  $b_{\text{avr}}=1$  olarak hesaplanmıştır.

Son olarak Poisson modeli kullanılarak çalışma alanı içerisinde  $M \geq 6.5$  depremin 100 yıllık bir süreçte oluşma riski ve dönüş periyotları hesaplanarak haritalanmıştır. Çalışma alanında  $M \geq 6.5$  bir depremin oluşma riski %70-75 ve dönüş periyodu da 50 yıldan daha az olarak Erzincan-Erzurum-Muş-Elazığ alanında bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** B-Değeri, Depremsellik, Deprem Tehlikesi, Güneydoğu Anadolu

## Seismicity and Seismic Hazard Analysis for the Southeastern Anatolia Region

**Abstract:** In this study, calculation of the spatial distribution of seismicity parameters and seismic hazard is implemented for the Southeastern Anatolia Region of Turkey. For this purpose, the earthquakes of magnitude of  $M \geq 4$  occurred in the time period between 1964–2008 were used in the Southeastern Anatolia Region of Turkey. For the estimation of seismicity parameters and its mapping, the study area is divided into 253 circular subregion. For each area, the parameters a and b in the Gutenberg-Richter magnitude-frequency relation were calculated by the least squares and the newly developed Kaltek method. The results obtained from the both methods were compared with each other. However, the b-value map prepared with the Kaltek method presented a better consistency with the regional tectonics. In the region, minimum, maximum and average b-value were calculated to be equal to  $b_{\min}=0.8$ ,  $b_{\max}=1.26$  and  $b_{\text{avr}}=1$ , respectively.

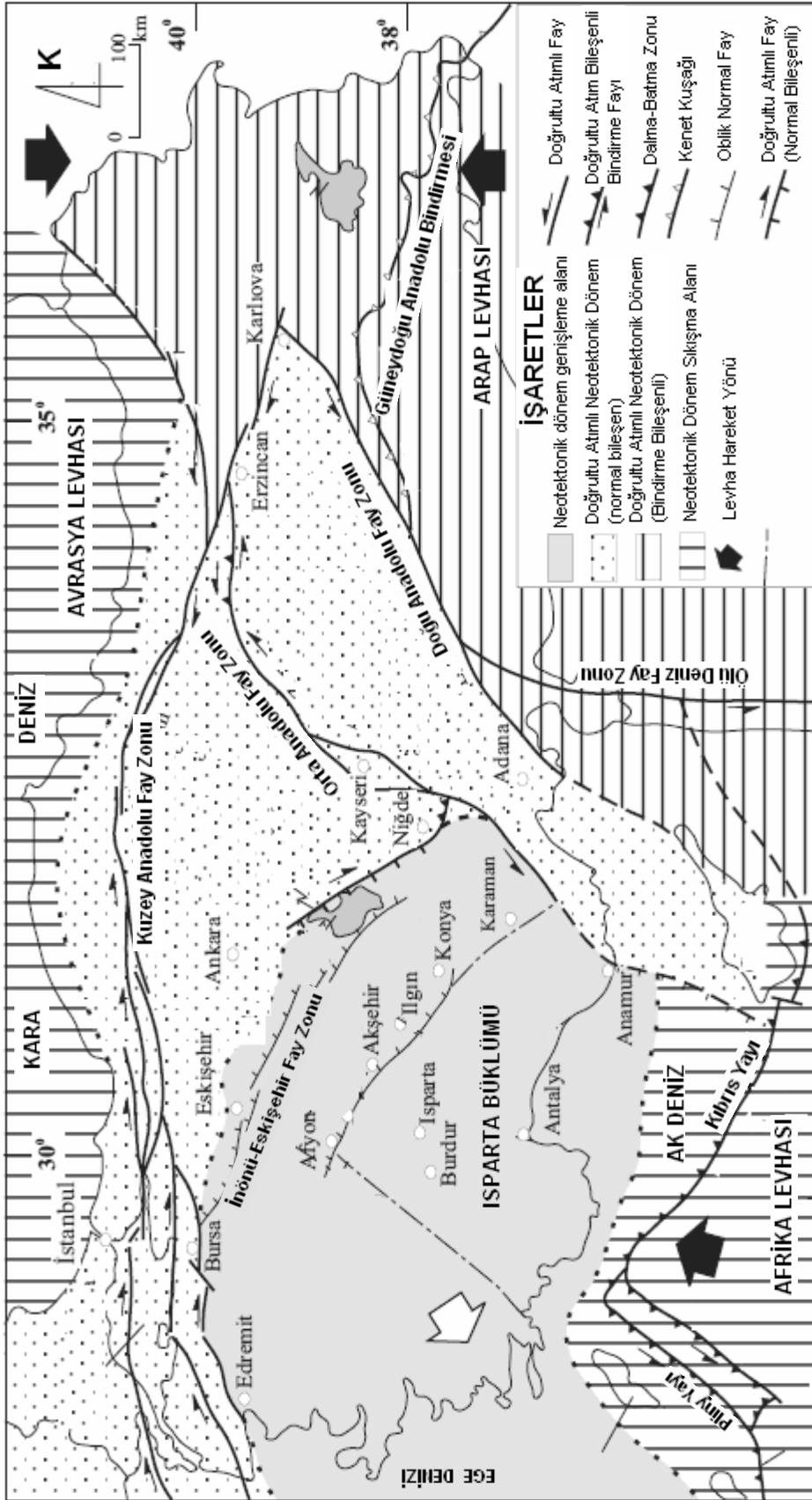
Finally, the return period and occurrence probability of  $M \geq 6.5$  earthquake in the 100-year period were calculated using the Poisson distribution. An occurrence probability of 70-75% and a return period of less than 50 years were found for the Erzincan-Erzurum-Muş-Elazığ area,

**Keywords:** B-Value, Seismicity, Earthquake Hazard, Southeastern Anatolia

## Giriş

Türkiye, dünyanın en önemli deprem kuşaklarından birisi olan Alp – Himalaya dağ oluşum kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bu deprem kuşağı, Azor takımadalarından başlayıp, Uzakdoğu'da Endonezya'ya kadar uzanır ve genel anlamda Avrasya, Afrika ve Hint- Avustralya levhalarının göreceli hareketlerinden oluşan depremleri içeren aktif bir kuşaktır (McKenzie, 1972; Barka ve Reilinger, 1997; McClusky et al. 2000).. Bu kuşak üzerinde değişik araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar, Afrika levhasının Avrasya levhasına göre göreceli olarak kuzeye doğru hareket ettiğini ve Avrasya levhasının altına daldığını ortaya koymuştur (McKenzie, 1972). Türkiye ve çevresi bu önemli deprem kuşağının Akdeniz bölgesindeki en hareketli kısmını oluşturur. Anadolu, bu kuşağın genel nitelikleri yanında kendine has bir takım jeolojik özellikleri de içermektedir (Şekil 1).

Üst Kretase'den itibaren başlayan Neotetis'in kapanma süreci içerisinde Arap-Avrasya kıta-kıta çarpışması gerçekleşmiş ve Üst Miyosen-Pliyosen döneminden itibaren Anadolu plakası Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) boyunca batı-güneybatıya doğru kaçmaya başlamıştır (Şengör, 1979; Yılmaz, 2000; Reilinger ve diğ., 1997; Allen, 2004). Aynı zamanda Anadolu'nun batı-güneybatıya doğru hareketlenmeye başladığı Üst Miyosen-Pliyosen dönemi Türkiye'de neotektonik dönemin başlangıcı olmuştur. Bozkurt (2001), bu neotektonik dönemi Anadolu'nun farklı bölgelerinde gelişen farklı tektonik rejimler neticesinde Doğu Anadolu Sıkışma, Kuzey Anadolu, Orta Anadolu 'Ova' ve Batı Anadolu Gerilme Provinsi olmak üzere dört farklı neotektonik provens olarak tanımlamıştır.



Şekil 1. Türkiye ve Yakın Dolayının Sadeleştirilmiş Neotektonik Bölgelerini Gösterir Harita (Koçyiğit ve Özaçar, 2003'den değiştirilerek)

Anadolu plakasının batı ve güneybatıya doğru kaçışı Ege bölgesinde yaklaşık kuzey-güney yönlü gerilmeleri ve İç Anadolu bölgesinde kabuk içi deformasyonları içeren

doğu Akdeniz bölgesinde büyük tektonik değişimlere neden olmuştur (Şengör, 1979). Doğu Akdeniz bölgesinde neotektonik dönemdeki şekillenmede Bitlis-Kıbrıs-

Hellenik yayı boyunca dalan okyanusal levhanın hareketi, Orta-Üst Miyosen'de Bitlis-Zagros çarpışma zonu boyunca okyanusal litosferin kopması, Hellenik yayının güneye doğru çekilmeye başlaması, KAFZ'nin gelişimi ve Anadolu plakasının batıya hareketlenmesi gibi olaylar önemli rol oynamıştır (Faccenna ve diğ., 2006). DAFZ boyunca sol yönlü doğrultu atımlı faylar kuzey-güney yönlü Arap-Avrasya çarpışmasına bağlı olarak Üst Miyosen'den beri oblik olarak gelişmiş faylardır (Lyberis ve diğ., 1992). Orta Anadolu'nun doğu kesiminde yine sağ ve sol yönlü doğrultu faylarının egemen olduğu tektonik yapılar gözlenirken, Orta Anadolu'nun batı kısmı ise daha çok horst-graben yapıları ile karakterize olmaktadır. Dolayısıyla Orta Anadolu bölgesi, sıkışma rejimi altındaki Doğu Anadolu ile gerilme rejimi altındaki Batı Anadolu arasında bir geçiş zonunu teşkil etmektedir (Koçyiğit ve diğ., 2001). Tuz Gölü havzasının doğu kesimini sınırlayan Ecemiş Fay Zonu (EFZ) Orta-Üst Miyosen döneminde doğrultu atımlı olarak çalışırken Pliyosen ve Kuvaterner'de doğu-batı yönlü gerilme tektoniğine bağlı olarak normal faylanmalar egemen olmuştur (Jaffey ve Robertson, 2001; Jaffey ve diğ., 2004). Paleomanyetik veriler KAFZ ile DAFZ arasındaki bölgeden Orta Anadolu bölgesine doğru saatin tersi yönünde tedricen azalan bir rotasyon, Isparta Büklümünün doğu kanadının olduğu kesimlerde saat yönünde ve Orta Anadolu'nun güney kesimlerinde Erenler dağ civarında sifıra yakın bir rotasyon olduğunu göstermiştir (Tatar ve diğ., 2002). Dolayısıyla Anadolu'nun aslında tek bir blok gibi davranmayıp farklı bloklardan oluştuğu, bu blokların farklı bölgelerde farklı rotasyon hareketi sergiledikleri, bu rotasyon hareketlerinin de neotektonik dönemde Anadolu'nun batı-güneybatıya doğru kaçıışı ve Kıbrıs yayının güneye doğru çekilmesi ile ilişkili olduğu ileri sürülmüştür.

Flerit ve diğ. (2004) Arap-Avrasya çarpışması ve Anadolu'nun batı-güneybatıya hareketine bağlı olarak KAFZ'nin doğudan batıya doğru geliştiğini belirtmişlerdir. Elitok ve Dolmaz (2008), Bitlis-Pötürge zonu boyunca gerçekleşen Arap-Avrasya çarpışmasının ardından Arap plakasına ait dalan okyanusal litosferin kopmasına (slab breakoff) bağlı olarak, Arap ön kıtası altından Doğu Anadolu altına doğru astenosferik manto akışı geliştiğini ve bu manto akışının da Anadolu levhası ile birlikte altında yer alan astenosferik mantoyu batıya doğru hareketlendirdiğini ifade etmişlerdir. Buradan da Türkiye'nin neotektonik gelişiminin Kıbrıs-Hellenik yay sistemleri ve Güneydoğu Anadolu Bindirmesi (GAB) boyunca Arap-Afrika ve Avrasya plakalarının çarpışması ile denetlendiğini ileri sürmüşlerdir.

Sonuç olarak Türkiye'de neotektonik dönemle ilgili farklı görüşler ileri sürülmüş ve Koçyiğit ve diğ. (2001) bu görüşleri dört ana başlık altında toplamışlardır. Bunlar Tektonik Kaçış, Yay Arkası Açılma, Orejenik Çökme, İki Evreli Graben Modeli dir.

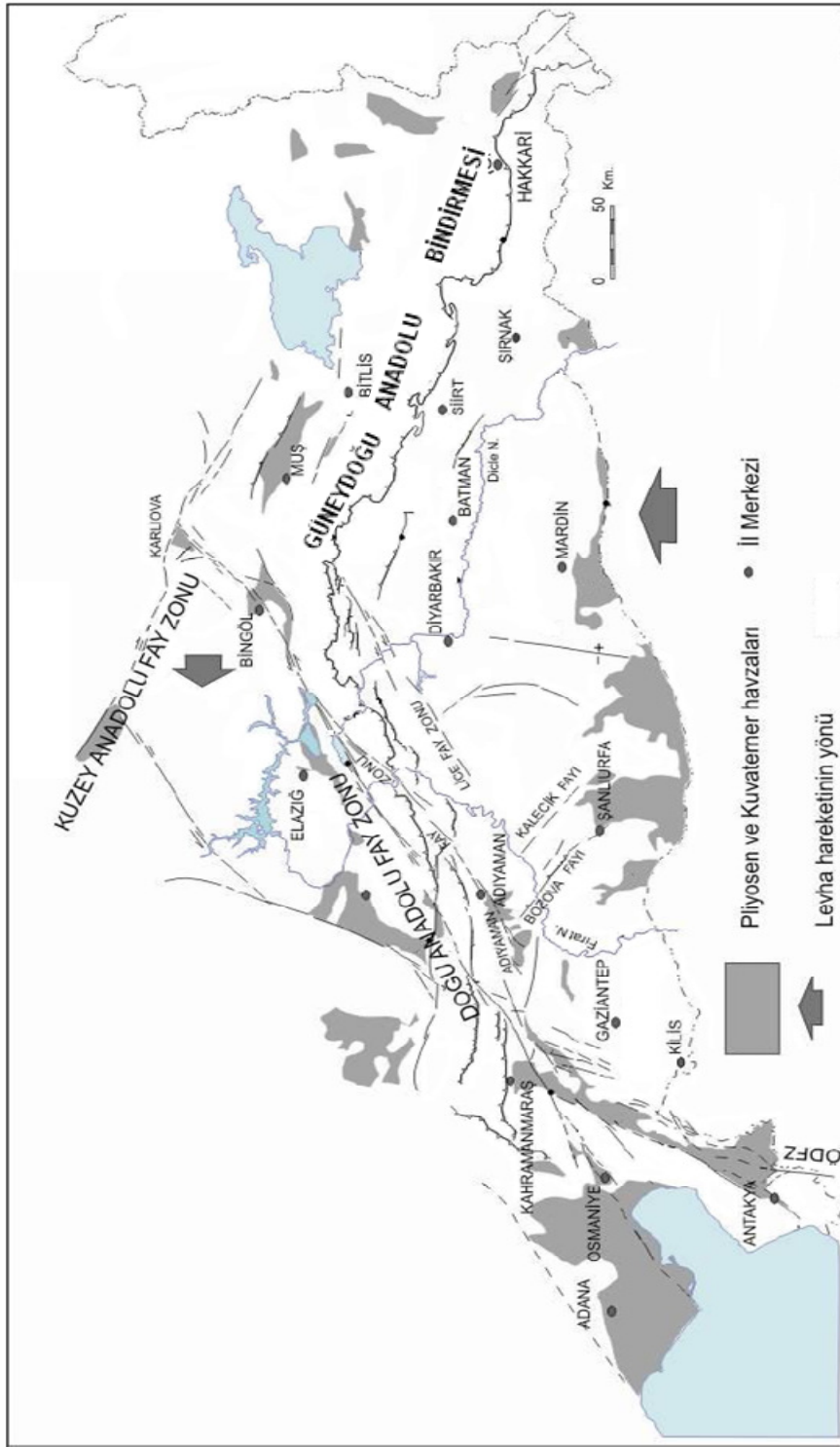
## Güneydoğu Anadolu ve çevresi tektoniği

Güneydoğu Anadolu ve çevresi genel olarak sismik aktivitenin yoğun olduğu bir alandır. Bölgedeki iki önemli sismo-tektonik yapı, Güneydoğu Anadolu Bindirmesi (GAB) ile hemen onun kuzeyinde yer alan ve Arap Plakası ile Anadolu Plakası arasındaki sınırı oluşturan Doğu Anadolu Fayı (DAF)'dır (Şekil2).

Doğu Anadolu Fay Zonu Türkiye'nin en etkin ve diri olan iki ana fay kuşağından birini oluşturmaktadır. DAFZ Karlıova-Antakya arasında 580 km'lik bir uzanım göstermektedir (Allen, 1969; Arpat ve Şaroğlu, 1972; 1975; Mc Kenzie, 1972, 1976; Seymen ve Aydın, 1972; Şaroğlu vd., 1987, 1992a, 1992b; Ambrassey, 1989; Taymaz vd., 1991; Herece ve Akay, 1992; Nalbant vd., 2002).

DAFZ, Karlıova'nın doğusunda, Kargapazarı yöresinde, KAFZ ile kesişme yerinden başlar ve kuzeydoğu-güneybatı yönünde Göynük Vadisi boyunca güneybatıya doğru devam eder. Burada 17km'lik atımı olan fay, Bingöl yöresinde biraz belirsizleşmekte, ancak Palu-Pötürge arasında tekrar belirginleşip güneybatıya doğru devam etmektedir. Hazar Gölü kuzeyinde son bulan segment, güneye sıçrama yaparak batıya devam etmektedir (Şaroğlu vd., 1987; Herece ve Akay, 1992). Pötürge kuzeyinde Şiro Çayı boyunca batıya devam eden segment, Karakaya baraj gövdesinin 14km. kuzeyinden geçerek, Fırat Nehri üzerinde 13km lik sol yönlü bir atım oluşturmaktadır (Şaroğlu vd., 1987). Güneybatıya doğru devam eden DAFZ, Çelikhân'ın güneyinden ve Adıyaman Gölbaşı ilçe merkezinden geçerek, Gölbaşı batısında 4750 m.lik bir atım oluşturmaktadır (İmamoğlu, 1993, 1996) ve Kahramanmaraş'ın güneyinde, Türkoğlu'nda, çatallanmaktadır. Bir kolu doğrultu atımın yanı sıra, eğim atım karakteri de kazanarak, güneye dönerek Amanos Fayı'nı oluştururken; bir kolu da Türkoğlu'nda doğrultu değiştirmeden güneybatıya doğru devam eder ve Bahçe kuzeyinden, Osmaniye'den ve Ceyhan'ın güneyinden geçerek, Karataş'ta Akdeniz'e girer (İmamoğlu ve Çetin, 2007).

Tetis Denizi tabanının Avrasya Plakası altına dalarak yitiminden sonra, kıta-kıta çarpışması sınırında gelişen bir yapı olan GAB, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin kuzey kenarı boyunca gelişmiştir. Bu bindirme fayı, İran'daki Zagros Bindirme Kuşağı'nın devamı şeklinde olup, doğudan batıya doğru Hakkari, Beytüşşebap, Narlı, Pervari güneyi, Kozluk, Kulp, Lice kuzeyi, Ergani kuzeyi, Çüngüş ve Çelikhân'dan geçer. Bu kesimde, DAFZ tarafından atıma uğrayan GAB, Gölbaşı kuzeyinde tekrar ortaya çıkmaktadır. Batıya doğru iki bindirme halinde devam eden GAB'ın bir kolu Kahramanmaraş'tan, diğer kolu da daha kuzeyden geçip, Andırın doğusunda güneye dönerek belirsizleşir.



**Şekil 2.** Güneydoğu Anadolu ve Yakın Civarının Sadeleştirilmiş Tektonik Haritası (İmamoğlu ve Çetin 2007' den değiştirilerek)

Güneydoğu Anadolu Bindirmesi (GAB), güneydoğu ucunda Şemdinli – Yüksekova Fay zonu ile birleşirken, batıya doğru Doğu Anadolu Bölgesi sınırı boyunca ilerler ve Adıyaman civarında Doğu Anadolu Fayı ile kesişir. Kesişme yaptığı bölgede batı yönünde uzanan Sürgü Fayı oluşmuştur. Bu fayın devamında Elbistan Fayı uzanır. Kesişme bölgesinde bindirmenin 25km.lik bir atımı vardır. Buradan itibaren Doğu Anadolu Fayı güneye doğru manevra yaparak Antakya bölgesinde son bulur. K-

G yönündeki Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ)'ndan hemen sonra başlayan Doğu Anadolu Fayı (DAF), KD yönünde hafif yay çizerek ilerler. Adıyaman yöresinde GAB'la kesişen DAF, Bingöl'e varmadan son bulur. DAF ve GAB'nin kesiştiği bölgede K –G yönünde Malatya Fayı, D – B yönünde Elbistan Fayı ve Sürgü Fayı, KB – GD yönünde Tut ve Bozova Fayı gibi irili ufaklı faylar mevcuttur (Temiz, 2004).

## Metaryal ve Yöntem

Bu çalışma da Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve çevresinin ( 35.00<sup>0</sup>-40.00<sup>0</sup> K enlemleri ve 35.00<sup>0</sup>-46.00<sup>0</sup> D boylamları ) depremselliği ve deprem riski incelenmiştir.

Depremsellik ve tehlike analizi çalışmalarında kullanılacak olan deprem katalogları belirli kriterlere göre seçilir. Özellikle tarihsel döneme ait deprem magnitüdüleri genellikle depremsellik ve tehlike analizinin değerlendirilmesi esnasında büyük problemlerin oluşmasına yol açar. Çünkü tarihsel döneme ait depremlerin magnitüd hesabı göreceli olan şiddetten yararlanılarak hesaplanmaktadır. Ayrıca hesaplamalarda kullanılacak derinlik bilgileri mevcut olmayıp lokasyon bilgileri de sağlıklı değildir.

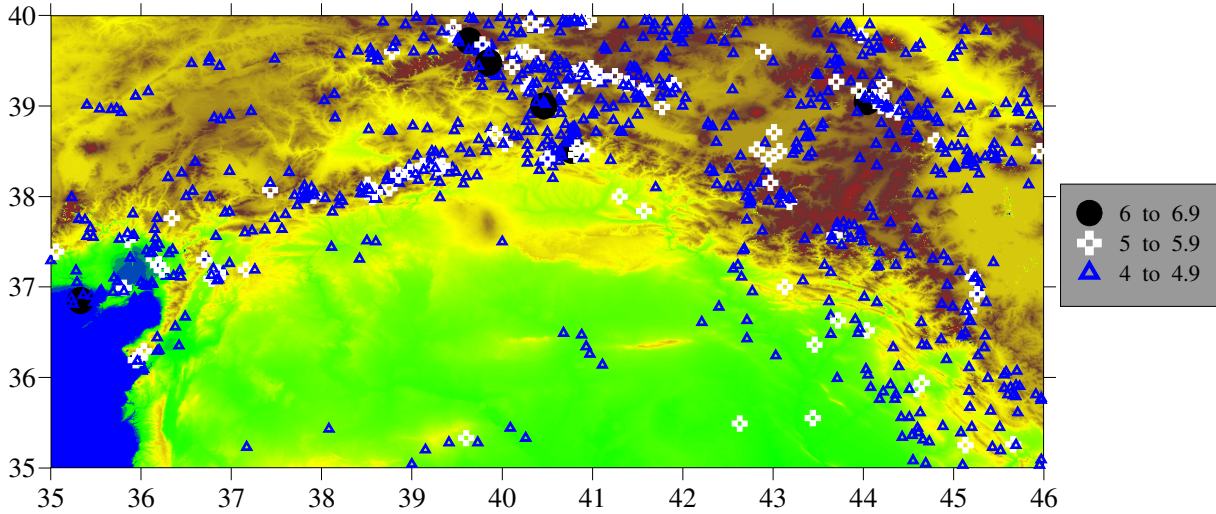
Aynı zamanda, deprem kataloglarının daha uzun zaman aralığında ve büyük magnitüd hatalarından kaçınılarak seçilmesi istenir (Kijko and Sellevol 1989, 1992; Manakou and Tsapanos 2000; Papazachos 1974). Bu uzun zaman dilimi içinde kataloga girecek kayıp yıl toplamı ise inceleme sürecinin %25'den az olmalıdır (Burton 1979; Papazachos 1974). Tarihsel döneme ait depremler yine de

kullanılmak isteniyorsa depremlerin hataları sırasıyla; merkez üstü için yaklaşık 25 km'den az ve magnitüd hatasının ise 0.3'den az olmasına dikkat edilmelidir (Papazachos 1999; Papazachos and Papazachou 1997).

Kısacası, depremsellik ve tehlike analizi çalışmalarında kullanılan deprem verileri lokasyon, derinlik ve magnitüdüleri açısından doğru, homojen, alt sınıra göre tamamlanmış, aynı magnitüd skalasından ve düzgün bir zaman aralığına göre seçilmelidir.

Yukarıda tanımlanan hususlar dikkate alınarak 1964–2008 yılları arasında bölgede meydana gelmiş cisim dalgası magnitüdü (Mb)  $M \geq 4$  olan depremler International Seismological Centre (Uluslar arası Sismoloji Merkezi) kataloglarından seçilerek çözümlenmede kullanılacak yeni katalog oluşturulmuştur. Bu kataloga ait depremlerin uzaysal dağılımı ve derinlik dağılımı Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmiştir.

Güneydoğu Anadolu Bölgesinde magnitüdülere göre depremlerin uzaysal dağılımı incelendiğinde (Şekil 3) meydana gelen depremlerin genellikle 4-4.9 ve 5-5.9 arasında yoğunlaştığı gözlenmektedir.



Şekil 3. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Magnitüdülere Göre Depremlerin Uzaysal Dağılımı

Benzer şekilde derinliklere göre depremlerin uzaysal dağılımı incelendiğinde (Şekil 4) meydana gelen depremlerin kabuk (0-35 km) ve üst manto (36-70 km) derinliklerinde yoğunlaştığı gözlenmiştir.

Magnitüd-frekans bağıntıları deprem istatistiğinin temelini oluşturur ve günümüzde deprem etkinliğinin bir ölçütü olarak kullanılır. Magnitüd-frekans dağılımı için en yaygın olarak bilinen eşitlik Gutenberg-Richter (Gutenberg ve Richter, 1944)

$$\text{Log}N = a - bM \quad (1)$$

bağıntısıdır.

Bir bölge için depremlerin yığımsal dağılımları dikkate alındığında,  $N_y$  yığımsal frekansı göstermek üzere;

$$\text{Log}N_y = a_y - b_y M \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $N_y$ , tek bir magnitüd için deprem sayısı,  $M$  magnitüdü,  $a_y$  ve  $b_y$  ise matematiksel parametreleri ifade etmektedir. Yığılma frekansı (kümülatif frekans) ile sismolojide, verilen bir  $M$  magnitüdüne eşit veya daha büyük olan depremlerin sayısı anlaşılabilir.



ile verilir.

$$F(N, t) = \sum_{i=0}^n \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!} \quad (4)$$

Poisson sürecinde deprem oluşumları arasındaki zamanlar negatif üstel dağılım gösterirler (Eşitlik 5).

$$P(t) = -\lambda e^{-\lambda t} dt \quad (5)$$

Burada P, iki deprem arasındaki, verilerin bir (t, t+dt) zaman aralığı içerisine düşme olasılığıdır. Poisson modeline göre bir sonraki depremin oluşması için geçen bekleme zamanının dağılımı, bir önceki depremin oluşundan itibaren geçen zamandan etkilenmez. Verilen bir zaman diliminde magnitüdüleri  $M_1$ 'den büyük ve ona eşit depremlerin oluşma riski ve dönüş periyodu aşağıda verilmiştir.

$$R(M) = 1 - e^{-n(M)T} \quad (6)$$

$$Q = \frac{1}{n(M)} \quad (7)$$

$n(M)$ : M magnitüdü depremin ortalama oluş sayısı normal ve yığınsal dağılımlar için hesaplanabilir.

## Bölgenin Depremselliği

Sismisite ve tehlike haritalarının oluşturulabilmesi için  $35.00^0-40.00^0$  K enlemleri ve  $35.00^0-46.00^0$  D boylamları arasında kalan bölge  $0,5 \times 0,5$  aralıklarla gridlenerek 0.5 derece yarıçaplı çember içerisinde kalan 253 adet alt alan oluşturulmuştur. Oluşturulan her bir alt alan için tamamlılık magnitüdü olarak hazırlanan katalogun alt sınırını oluşturan  $M=4$  alınmıştır. Öncelikli olarak bölgenin tamamı için Gutenberg-Richter bağıntısından doğrudan elde edilen a parametrelerinin aritmetik ortalaması  $a_0$  hesaplanmıştır. Daha sonra elde edilen her bir alt bölge için yapılan hesaplamalarda  $a=a_0$  alınarak yeni "b" değerleri Kaltek Yöntemi (Kalyoncuoğlu, 2007) ile elde edilmiş ve haritalanmıştır. Böylece hem doğrudan bulunan (Şekil 5) hem de Kaltek yöntemi ile bulunan b parametrelerinin uzaysal dağılımı (Şekil 6) haritalanarak tektonikle olan uyumu karşılaştırılmıştır.

Yığınsal dağılımı için en küçük kareler yöntemiyle katsayılar  $1.78 \leq a_y \leq 8.53$  ve  $0.35 \leq b_y \leq 1.73$  aralığında bulunmuştur. Tüm bölgede ise; bölge ortalaması  $a_y = 5,24$  ve  $b_y = 1$  olarak tespit edilmiştir. a ve b katsayıları için standart sapma değerleri sırası ile 1,26 ve 0,27 olarak bulunmuştur. Fakat buradan elde edilen sismisite haritası bölgenin tektoniği ve deprem dağılımları ile düzgün bir uyum göstermemektedir. Hem deprem oluşumunun çok az hem de büyük depremlerin olmadığı güney kanadı, büyük ve yıkıcı depremlerin de meydana geldiği Erzincan-Tunceli-Bingöl bölgesi ile neredeyse aynı b değerini göstermektedir. Düşük b değerinin yüksek depremselliği gösterdiği düşünüldüğünde bu bir

yanılsamadır. EKK yöntemi sismik aktivitenin az olduğu bölgelerde oluşturulan depremsellik haritalarında yanılsamalara neden olmaktadır. Özellikle en küçük kareler yönteminin doğrudan kullanılarak depremsellik haritalarının oluşturulduğu durumlarda yorumlama yapılırken dikkatli olunması gerekmektedir.

Kaltek yöntemi ile " $a_y=5.4$ " alınarak hesaplanan yeni b değerleri  $b_{\min}=0.8$ ;  $b_{\max}=1.26$  ve  $b_{\text{ort}}=1$  olarak bulunmuştur. Burada EKK ile elde edilen b değerlerine ait alt ve üst limit değerleri değişirken bölgenin tamamını tanımlayan  $b_{\text{ort}}$  değerinde değişim olmamıştır. Yani Kaltek yöntemi bölgenin genelinde değişikliğe yol açmazken bölgeyi kendi içerisinde standardize ederek EKK'nın oluşturduğu yanılsamaları ortadan kaldırmıştır. Ayrıca elde edilen depremsellik haritasının bölgenin aktif tektonik yapısı ve deprem aktivitesiyle de oldukça iyi bir uyum gösterdiği izlenmektedir.

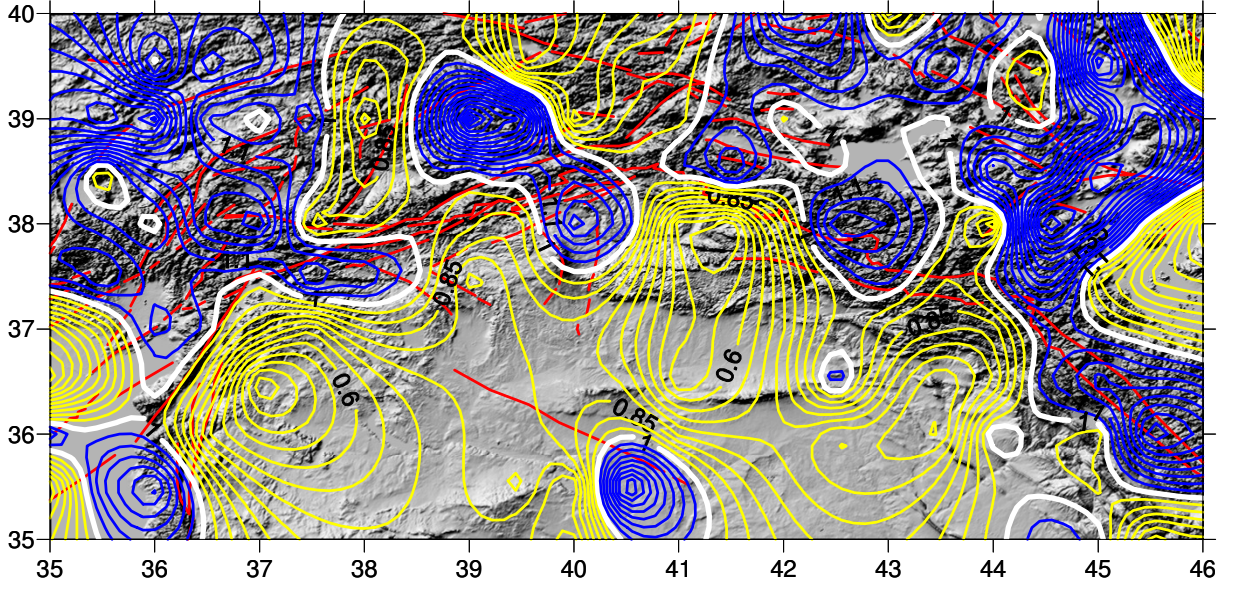
Çalışma alanında düşük b değerlerinin Bitlis-Zagros bindirme kuşağı, Doğu Anadolu Fay zonu, Van Gölü'nün kuzeydoğu kısmı ve DAF ile KAF'ın kesiştiği Erzincan-Elazığ-Muş-Erzurum bölgelerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Düşük b değerlerinin yüksek gerilme düşümünü işaret ettiği düşünüldüğünde bu alanların yüksek tehlike taşıyan alanlar olduğu söylenebilir. Yine bölgede görülen depremselliğin alansal değil de aktif faylar boyunca çizgisellik taşıdığı da izlenmiştir.

Ayrıca ortalama değer altındaki b değeri kapanımları dikkate alındığında Güney Doğu Anadolu Bindirmesi ile Doğu Anadolu Fayının kesiştiği Adıyaman civarında bir sismik boşluğun olduğu da elde edilen diğer bir sonuç olarak düşünülebilir.

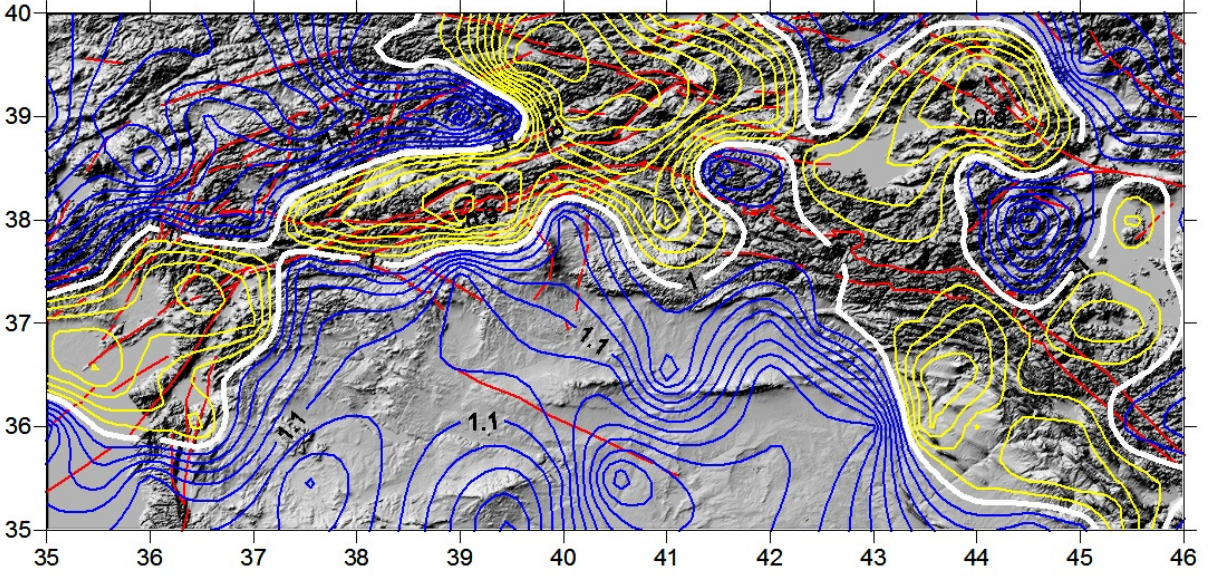
Çalışmada son aşama olarak poisson dağılımı yardımıyla bölgede 100 yıllık bir süreç içerisinde 6.5 magnitüdüne eşit veya büyük depremlerin meydana gelme olasılığı ve dönüş periyotları 253 düğüm noktası için araştırılmış ve haritalanmıştır (Şekil 7 ve Şekil 8).

Oluşturulan risk ve dönüş periyodu haritaları incelendiği zaman 100 yıllık bir dönem içerisinde  $M \geq 6.5$  büyüklüğünde bir depremin oluşma riski %70-75 aralığında bulunmuştur. En yüksek riske sahip bölgenin ise Erzurum-Erzincan-Muş-Erzurum arasında olduğunu söylemek mümkündür. Bu değerler Adana ve Van Gölü'nün kuzeydoğusuna doğru azalmakta ve özellikle de güney kanadına doğru ise risk değeri sıfırlara düşmektedir.

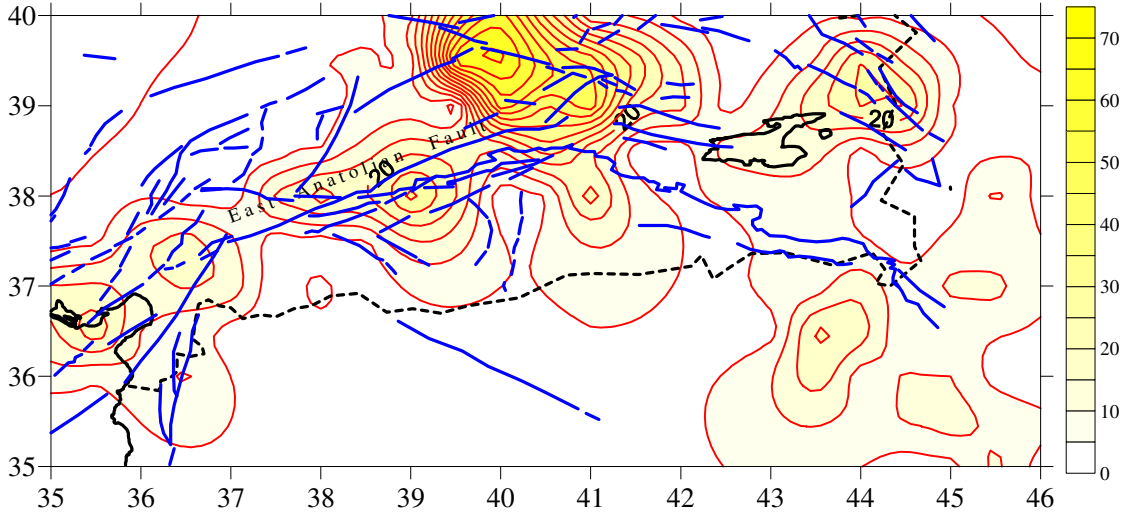
Tekrarlama periyotları çalışma alanı içerisinde 500 yıldan daha az bir süreyi kapsayacak biçimde haritalanmıştır. Buna göre en kısa dönüş periyodu 50 yıldan daha az olarak Erzincan-Erzurum-Muş-Elazığ alanında bulunmuştur. Bölgenin güney ve kuzey batı kanadı 500 yıldan daha uzun dönüş periyotları sergilemiştir.



Şekil 5. Güneydoğu Anadolu Bölgesi En Küçük Kareler ile Oluşturulan b-Değeri (sismisite) Dağılım Haritası

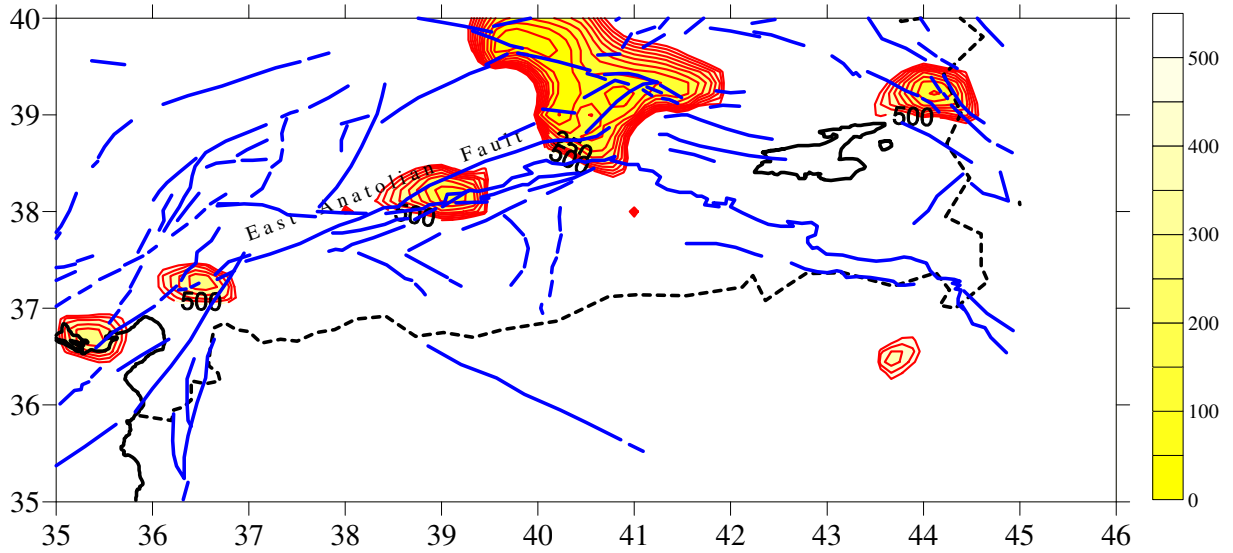


Şekil 6. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Kaltek yöntemi ile oluşturulan b-Değeri (sismisite) Dağılım Haritası



Şekil 7. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Kaltek Yöntemi ile 100 Yıllık Dönem İçerisinde Magnitüdü 6.5 veya Daha Büyük Depremlerin Meydana Gelme Yüzdeleri





Şekil 8. Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki Depremlerin Tekrarlama Periyotları

## Sonuç

Bu çalışmada  $35.00^{\circ}$ - $40.00^{\circ}$  K enlemleri ve  $35.00^{\circ}$ - $46.00^{\circ}$  D enlem ve boylamları arasında kalan bölgede 1964-2008 yılları arasında meydana gelen deprem verileri kullanılmıştır. İnceleme alanı  $0.5 \times 0.5$ 'lik aralıklarla gridlenerek 253 adet düğüm noktası elde edilmiştir. Her bir düğüm noktası merkez olmak üzere  $0.5^{\circ}$ 'lik yarıçap içerisinde meydana gelmiş depremlerin yığınsal dağılımları dikkate alınmıştır.

Gutenberg-Richter frekans magnitüd bağıntısındaki a ve b değerleri hem doğrudan EKK yöntemi ile hem de yeni bir metod olan Kaltek Yöntemi (KT) ile incelenmiş ve iki yöntemden elde edilen sonuçlar bölgenin depremselliği ile karşılaştırılmıştır.

Gutenberg-Richter bağıntısının yığınsal dağılımı için katsayılar  $1,78 \leq a_y \leq 8,53$  ve  $0,35 \leq b_y \leq 1,73$  olarak bulunmuştur. Tüm bölgede ise; bölge ortalaması  $a_y = 5,24$  ve  $b_y = 1$  olarak tespit edilmiştir. a ve b katsayıları için standart sapma değerleri sırası ile 1,26 ve 0,27 olarak bulunmuştur. Ancak buradan elde edilen sismosite haritası bölgenin tektoniği ve deprem dağılımları ile düzgün bir uyum göstermemektedir.

Gutenberg-Richter bağıntısının KT'ye bağlı çözümünde "a" parametresinin alacağı sabit değer  $a_0 = 5.24$  olarak hesaplanmıştır. Buna göre b parametresi yığınsal dağılım için  $0,81 \leq b_y \leq 1,26$  aralığında hesaplanmıştır. Tüm bölgede ise bölge ortalamaları  $b_y = 1$  olarak tespit edilmiştir. Standart sapma ise 0,08 olarak bulunmuştur.

Çalışma alanında düşük b değerlerinin Bitlis-Zagros bindirme kuşağı, Doğu Anadolu Fay zonu, Van Gölü'nün kuzeydoğu kısmı ve DAF ile KAF'ın kesiştiği Erzincan-Elazığ-Muş-Erzurum bölgelerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Düşük b değerlerinin yüksek gerilme düşümünü işaret ettiği düşünüldüğünde bu alanların

yüksek tehlike taşıyan alanlar olduğu söylenebilir. Yine bölgede görülen depremselliğin alansal değil de aktif faylar boyunca çizgisellik taşıdığı da izlenmiştir. Ayrıca ortalama değer altındaki b değeri kapanımları dikkate alındığında Güney Doğu Anadolu Bindirmesi ile Doğu Anadolu Fayının kesiştiği Adıyaman civarında bir sismik boşluğun olduğu da elde edilen diğer bir sonuç olarak düşünülebilir.

İncelenen alan için Poisson modeli ile  $M \geq 6.5$  magnitudü depremlerin 100 yıllık bir süreçte meydana gelme riski hesaplanıp haritalanmıştır. 100 yıllık bir dönem içerisinde  $M \geq 6.5$  büyüklüğünde bir depremin oluşma riski %70-75 aralığında bulunmuştur. En yüksek riske sahip bölgenin ise yine Erzurum-Erzincan-Muş-Elazığ arasında olduğunu söylemek mümkündür. Bu değerler Adana ve Van Gölü'nün kuzeydoğusuna doğru azalmakta ve özellikle de güney kanadına doğru ise risk değeri sıfırlara düşmektedir. Böyle bir depremin dönüş periyodu ise 50 yıldan daha az olarak Erzincan-Erzurum-Muş-Elazığ alanında bulunmuştur. Bu alanın 1970 li yıllardan bu yana sessiz bir dönemde olduğu düşünüldüğünde yakın bir zamanda orta veya büyük ölçekte bir depremin olması muhtemeldir. Bölgenin güney ve kuzey batı kanadı ise 500 yıldan daha uzun dönüş periyotları sergilemiştir.

## Kaynaklar

- Allen, C. R., Amand, P., Richter, C. F., Nordquist J. M. 1965. Relation Between Seismicity and Geological Structure in the Southern California Region. Bull. Seismol. Soc. Am. 55:752-797.
- Allen, C.R. 1969. Active Faulting in Northern Turkey. Contribution, 1577, Div. Geol. Sciences California Inst. Technology, 32.

- Allen, M. 2004. Late Cenozoic Reorganization of the Arabia-Eurasia Collision and the Comparison of Short-Term and Long-Term Deformation Rates, *Tectonics*, 23, Tc2008, Doi:10.1029/2003tc001530.
- Ambrasseys, N. N. 1989. Temporary Seismic Quiescence. SE Turkey. *Geophysical Journal*, 96, 311-33.
- Arpat, E., Şaroğlu, F. 1972. Doğu Anadolu Fayı ile İlgili Bazı Gözlemler, *MTA Dergisi*, 78, 44-50.
- Arpat, E., Şaroğlu, F. 1975. Türkiye'deki Bazı Önemli Genç Tektonik Olaylar, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 18, 1, 91-100.
- Bozkurt, E. 2001. Neotectonics of Turkey- A Synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.
- Burton P.W. 1979. Seismic Risk in Southern Europe Through India Examined Gumbel's Third Distribution of Extreme Values. *Geophysical Journal R. Astr. Soc.* 59, 249-280.
- Elitok, Ö., Dolmaz, M.N. 2008. Mantle Flow-Induced Crustal Thinning in the Area Between the Easternmost Part of the Anatolian Plate and the Arabian Foreland (E Turkey) Deduced From the Geological and Geophysical Data. *Gondwana Research*, 13, 3, 302-318.
- Faccenna, C., Bellier, O. Martinod, J. Piromallo, C., Regard, V. 2006. Slab Detachment Beneath Eastern Anatolia: A Possible Cause for the Formation of the North Anatolian Fault. *Earth and Planetary Science Letters*, 242, 85-97.
- 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, 347-362.
- Gutenberg B., Richter C.F. 1944. Frequency of Earthquakes in California, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 34, 185-188.
- Gutenberg B., Richter C.F. 1954. Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 63. 501-516.
- Hatzidimitriou, P. M., Papadimitriou, E.E., Mountrakis, D. M., Papazachos, B. C. 1985. the Seismic Parameter b of the Frequency- Magnitude Relation and Its Association With the Geological Zones in the Area of Greece, *Tectonophysics* 120, 141-151.
- Herece, H., Akay, E. 1992. Karlıova-Çelikhan Arasında Doğu Anadolu Fayı, *Türkiye 9. Petrol Kongresi*, 361-372.
- İmamoğlu, M.Ş. 1993. "Gölbaşı (Adıyaman)-Pazarcık-Narlı (K.Maraş) Arasındaki Sahada Doğu Anadolu Fayı'nın Neotektonik İncelenmesi" Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- İmamoğlu, M.Ş. 1996. Doğu Anadolu Fay Zonu Gölbaşı Kesimi Neotektonik Özellikleri ve Gölbaşı-Saray Fay Kaması Havzası, *Türkiye Jeoloji Kurultay Bülteni*, 11, 176-184.
- İmamoğlu, M.Ş., Çetin, E. 2007. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Yakın Yöresinin Depremselliği, *D.Ü. Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi* 9, 93-103.
- Jaffey, N., Robertson, A.H.F. 2001. New Sedimentological and Structural Data From the Ecemiş Fault Zone, Southern Turkey: Implications for Its Timing and Offset and the Cenozoic Tectonic Escape of Anatolia. *Journal of the Geological Society, London* 58, 367-378.
- Jaffey, N., Robertson, A.H.F., Pringle, M. 2004. Latest Miocene and Pleistocene Ages of Faulting, Determined by Ar/Ar Single-Crystal Dating of Airfall Tuff and Silicic Extrusives of the Erciyes Basin, Central Turkey: Evidence for Intraplate Deformation Related To the Tectonic Escape of Anatolia, *Terra Nova*, 16(2), 45-53.
- Kalyoncuoğlu, Ü. Y. 2007. Evaluation of Seismicity And Seismic Hazard Parameters in Turkey and Surrounding Area Using A New Approach To the Gutenberg-Richter Relation. *J. Seismol.*, 11, 131-148.
- Kijko A, Sellevol M. A. 1989. Estimation of Earthquake Hazard Parameters From Incomplete Data Files. Part I. Utilization of Extreme and Complete Catalogs With Different Threshold Magnitudes. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 79, 645-654.
- Kijko A, Sellevol M.A. 1992. Estimation of Earthquake Hazard Parameters From Incomplete Data Files. Part II. Incorporation of Magnitude Heterogeneity. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 82, 120-134.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, A., Kuloshvili, S. 2001. Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for Transition From Thrusting To Strike-Slip Faulting. *Geodinamica Acta* 14, 177-195.
- Koçyiğit, A., Özacar, A. 2003. Extensional Neotectonic Regime Through NE Edge of the Outer Isparta Angle, Sw Turkey: New Field and Seismic Data. *Turkish J. Earth Sci.*, Vol. 12, 67-69.
- Lyberiss, N., Yürür, T., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E., Gündoğdu, N. 1992. the East Anatolian Fault: An Oblique Collision Belt, *Tectonophysics*, 204, 1-15.
- Manakou, M.V., Tsapanos, T.M. 2000. Seismicity and Seismic Hazard Parameters Evaluation in the

- Island of Crete and Surrounding Area Inferred From Mixed Data Files. *Tectonophysics* 321, 157-178.
- Mckenzie, D., 1972. Active Tectonics of the Mediterranean Region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-185.
- Mckenzie, D. 1976. the East Anatolian Fault, A Major Structure in Eastern Turkey. *Earth and Planetary Sciences*, 29, 189-193.
- Mori, J., Abercrombie R.E. 1997. Depth Dependence of Earthquake Frequency-Magnitude Distributions in California: Implications For He Rupture Initiation. *J Geophys Res.*, 102, 15081-15090
- Nalbant, S., McCloskey, J., Steacy, S., Barka, A. 2002. Stree Accumulation and Increased Seismic Risk Eastern Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 195, 291-298.
- Olsson, R. 1999. An Estimation of Maximum B-Value in the Gutenberg-Richter Relation *J Geodyn.* 27:547-552
- Papazachos B.C. 1974. Dependence of the Seismic Parameter B On the Magnitude Range. *Pure Appl. Geophys.*, 112, 1059-1065.
- Papazachos B.C., Papazachou C.B. 1997. the Earthquakes of Greece, Ziti Publication, Thessolanki, Greece.
- Papazachos B.C. 1999. An Alternative Method For A Reliable Estimation of Seismicity With An Application in Greece And The Surrounding Area. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 89, 111-119
- Reilinger, R. E., McClusky, S. C., Oral, M. B., King, R. W., Toksöz, M. N. 1997. Global Positioning System Measurements of Present-Day Crustal Movements in the Arabia-Africa-Eurasian Plate Collision Zone, *Journal of Geophysical Research* 102, 9983-9999.
- Seymen İ., Aydın, A. 1972. Bingöl Deprem Fayı ve Bunun Kuzey Anadolu Fayı ile İlişkisi, *MTA Dergisi*, 79, 1-8.
- Şaroğlu F., Emre, Ö., Boray, A. 1987. Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri, *MTA Derleme No:* 8174, 394.
- Şaroğlu F., Emre, Ö., Kuşçu, İ. 1992a. Türkiye Diri Fay Haritası, *MTA Yayını*, Ankara.
- Şaroğlu F., Emre, Ö., Kuşçu, İ. 1992b. the East Anatolian Fault Zone of Turkey. *Annal. Tect.*, 6, 99-125.
- Şengör, A.M.C. 1979. the North Anatolian Fault; Its Age, Offset and Tectonic Significance, *Jour. Geol.* London, 136, 269-282.
- Tatar, O., Gürsoy, H., Piper, J.D.A. 2002. Different Neotectonic Rotations in Anatolia And the Tauride Arc: Paleomagnetic Investigation of the Erenlerdağ Volcanic Complex and Isparta Volcanic District, South-Central Turkey, *Journal Of The Geological Society*, London, 159, 281-294.
- Taymaz, T., Eyidoğan, H., Jackson, J. A. 1991. Source Parameters of Large Earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey), *Geophysical Journal International-Oxford*, 106, 537-550.
- Temiz, U. 2004. Kırşehir Dolayının Neotektoniği ve Depremselliği, *Doktora Tezi*, A. Ü., Ankara.
- Tsapanos, T.M. 1990. B-Values of Two Tectonics Part in the Circum-Pasific Belt, *Pure Appl. Geophys.* 134, 229-242,
- Tsapanos, T.M., Galanopoulus, D. G., Buton, P.W. 1994. Seismicity in the Hellenic Volcanic Arc: Relation Between Seismic Parameters and the Geophysical Fields In the Region. *Geophys. J. Int.* 117, 677-694.
- Wang, J.H. 1998. b-Values of Shallow Earthquakes in Taiwan, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 78, 1243-1254.
- Weeks, J., Lockner, D., Byerlee, J. 1978. in b-Values During Movement On Cut Surfaces in Granite, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 68, 333-341.
- Wiemer, S., Baer, M. 2000. Mapping and Removing Quarry Blast Events From Seismicity Catalogs, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 90, 525-530.
- Yılmaz, Y. 2000. Ege Bölgesinin Aktif Tektoniği. *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu*, *Bildiriler Kitabı*, 3-14.