



**GUTENBERG-RICHTER BAĞINTISINDAKİ b DEĞERİNİN
TESPİTİ İÇİN ALTERNATİF BİR METOT VE GÜNEYBATI
TÜRKİYE'DE BİR UYGULAMASI**

**(AN ALTERNATIVE METHOD FOR THE ESTIMATION OF b -VALUE
IN THE GUTENBERG-RICHTER RELATION WITH AN APPLICATION
IN SOUTHWEST OF TURKEY)**

Yalçın KALYONCUOĞLU*, Osman UYANIK*, Selda ALTUNCU, Elçin GEÇİM*****

ÖZET/ ABSTRACT

Çalışmada Güneybatı Türkiye'nin sismik riski ve sismisitesinin uzaysal dağılımı ele alınmıştır. Bu amaç için 1964–2002 yılları arasında bölgede meydana gelen $M \geq 4$ olan 722 adet deprem verisi kullanılmıştır. Sismisite parametrelerinin belirlenebilmesi ve haritalanması için çalışılan alan 169 alt bölgeye ayrılmıştır. Her bir alt bölge için, Gutenberg-Richter magnitüd-frekans bağıntısındaki b değeri en küçük kareler tekniği ve yeni bir alternatif metotla hesaplanarak doğrudan en küçük karelerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Yeni alternatif metotta Gutenberg-Richter bağıntısındaki a parametresi sabit alınmıştır. Güneybatı Türkiye boyunca her iki teknik içinde b değeri farklı değişim göstermiştir. Yeni alternatif metot ile Güneybatı Türkiye'nin Doğusu yüksek b değeri gösterirken, Batı kanadında düşük b değerleri baskın olarak bulunmuştur.

Son olarak, her iki teknikle de Poisson modeli kullanılarak çalışma alanı içerisinde $M \geq 6$ depremin 75 yıllık bir süreçte oluşma riski ve dönüş periyotları hesaplanarak haritalanmıştır. Her iki teknikle oluşturulan risk ve dönüş periyodu haritaları alternatif metotla oluşturulan b parametresi sismisite haritalarıyla oldukça uyumlu olarak bulunmuştur. Ayrıca, her iki teknikle de elde edilen risk ve dönüş periyotları bir biri ile tamamen uyumludur. Çalışma alanının Batı kanadında $M \geq 6$ bir depremin oluşma riski %90–95 ve dönüş periyodu da 15–30 yıl olarak elde edilmiştir.

In this study, the spatial distribution of seismicity and seismic hazard is undertaken for the Southwest of Turkey. For this purpose, the earthquakes of magnitude of $M \geq 4$ which were occurred between 1964 - 2002 were used in Southwest of Turkey. For the estimation of seismicity parameters and its mapping, Southwest of Turkey is divided into 169 rectangular subregions. The b value from the Gutenberg-Richter frequency-magnitude distributions is calculated by least squares method with a new alternative method and compared with the results directly calculated by least squares method. The a value in the Gutenberg-Richter frequency-magnitude distributions is taken a constant value in the new alternative method. The b value shows different distributions along the Southwest of Turkey for both techniques. From the new technique, low b -values are dominant in the western part of the studying region, while higher b -values are present in the eastern part.

Finally, the return period and occurrence probability risk of $M \geq 6$ earthquakes in 75 years were calculated using Poisson model for both techniques. Maps of the occurrence probability risk and return period showed a better consistency with the b parameters seismicity maps calculated from new method. Moreover, the return period and occurrence probability risk maps calculated from both techniques showed a better consistency, with each other. The occurrence probability risk and return period of $M \geq 6$ earthquake were calculated as %90-95 and 15-30 years, respectively, from the Poisson model in the western part of the studying region.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Gutenberg-Richter b değeri, Sismik risk, Sismisite, Güneybatı Türkiye
Gutenberg-Richter b value, Seismic risk, Seismicity, Southwest of Turkey

*Süleyman Demirel Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Isparta;

**Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul;

***Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir.

1. GİRİŞ

Mühendislik yapılarının inşa edilmiş olduğu ya da inşa edileceği bölgelerde meydana gelebilecek depremlerin magnitüdüleri, zamanları ve yerleri bir belirsizlik içermektedir. Bu nedenle, yüksek sismik aktiviteye sahip olan bölgelerde depremlerin oluşumlarının ve dönüş periyotlarının tespit edilmesi önem taşımaktadır. Geçmişten günümüze kadar gözlenen ve kaydedilen sağlıklı deprem verileriyle gelecekte meydana gelebilecek depremlerin oluşma olasılıkları ve dönüş periyotları istatistiksel modellerle belirlenebilmektedir. İstatistiksel risk analizinde ise hayati önem taşıyan giriş parametresi depremlerin göreceli büyüklük dağılımlarıdır. Bu büyüklük dağılımları verilen belirli bir zaman aralığı içerisinde hangi büyüklükte ve sıklıkta depremlerin beklenebileceğinin belirlenebilmesini sağlar.

Deprem büyüklük dağılımı için yaygın olarak bilinen en basit eşitlik $\log N = a - bM$ Gutenberg-Richter bağıntısıdır (Gutenberg ve Richter, 1944; Ishimoto ve Lida, 1939). Bu bağıntıda N , $M \pm \Delta M$ magnitüd aralığındaki deprem sayısı, a ve b parametrelerdir. " a " parametresi inceleme alanının genişliğine, gözlem dönemine ve deprem düzeyine bağlıdır. " b " parametresi ise deprem oluşumunun fiziği ile ilişkili bir parametre olarak tanımlanmaktadır. Yakın zamanlara kadar b değerinin her bölgede aynı olacağı varsayılmışsa da, son yapılan çalışmalar b 'nin bölgeler arasında farklılık göstereceğini ortaya koymuştur. Mori ve Abercrombie farklı tektonik bölgelerde bulunan b değerleri arasında önemli değişimler olduğunu belirtmiştir (Mori ve Abercrombie, 1997). Frohlich ve Davis yaptıkları çalışmalarında, büyük ölçekli çalışmalarda b değerleri arasında çok küçük değişimlerin olduğunu söylemektedirler (Frohlich ve Davis, 1993). Miyamura, b parametresinin sismotektonik zon ve jeolojik yaşla ilişkili olduğunu ileri sürmüştür (Miyamura, 1962). Mogi laboratuvar çalışmasında b değerinin materyalin mekanik yapısına ve gerilme şartlarına bağlı olduğunu göstermiştir (Mogi, 1967). Scholz çalışmasında, b katsayısının kayac tipi, gerilme durumu ve kayacın duktilite artışı ile ilişkili olduğunu, gerilme artışının b değerinde düşüşe yol açtığını ileri sürmüştür (Scholz, 1968). Diğer bir deyişle b değeri bölgenin tektonik karakteristiğini belirleyen bir parametre olarak kabul edilmiştir (Allen vd., 1965; Hatzidimitriou vd., 1985; Wang, 1988; Olsson, 1999; Tsapanos vd., 1994; Manakou ve Tsapanos, 2000).

" b " değeri ile ilgili oldukça geniş bir literatür bulunmaktadır. Everden b değer aralığını 0.8-1.2 olarak vermiştir (Everden, 1970). Bath İsveç depremleri için b değerini 0.84 olarak bulmuştur (Bath, 1983). Turcotte b değerini $0.5 \leq b \leq 1.5$ olarak vermiştir (Turcotte, 1986). Shi ve Bolt merkezi Kaliforniya depremleri için ortalama b değerini 0.95 olarak sunmuştur (Shi ve Bolt, 1982). Wang 1966-1969 yılları arasında Çin depremleri için 51 bölgede yalnız bir b değerinin 1.5'dan büyük olduğunu belirtmiştir (Wang, 1994). Pacheco ve diğ. küçük ve çok büyük depremlerden hesaplanan b değerlerinin birbirinden farklı olduğunu söylemişlerdir (Pacheco vd., 1992).

Bu çalışmada 1964–2002 yılları arasında 35° - 40° K enlemleri ve 28° - 33° D boylamları arasında meydana gelen $M \geq 4$ olan depremler kullanılarak bölgenin sismisitesi incelenmiştir. Çalışma içerisinde bölgenin sismisitesinin belirlenmesi için iki ana unsur göz önüne alınmıştır. Bunlardan birincisi; bölgede oluşmuş depremler kullanılarak bulunan sismisite parametresi b 'nin uzaysal dağılımının haritalanması, ikincisi ise M_{\max} 'a göre sismik riskin belirlenmesidir.

2. VERİ VE METOD

Çalışma içerisinde dikkate alınan alan, 35° - 40° K enlemleri ve 28° - 33° D boylamları arasındadır. Bu alan içerisinde 1964-2002 yılları arasında meydana gelmiş 722 adet depremin

Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'teki a_n ve b_n normal dağılım parametreleri, a_y ve b_y yığınsal dağılım parametreleridir. Verilmiş olan frekans-magnitüd bağıntılarında bilinmeyen olarak görünen a ve b parametrelerinin belirlenmesi için bir çok yaklaşım metodu kullanılmaktadır. Fakat bu metotlardan en yaygın olarak kullanılan ve bilinen en küçük kareler yöntemidir. Bu çalışmada da en küçük kareler yöntemiyle parametreler hesaplanmıştır.

Bir bölgedeki sismik kaynaklar için bulunan a ve b parametrelerinin güvenilirliği, tekrar ilişkisine temel olan verilerin sayısından ve niteliğinden etkilenecektir. Bu nedenle elde edilen a ve b parametrelerinin hesaplanan değerleri magnitüdün büyük veya küçük olmasına ve her magnitüd düzeyinde kaç deprem gözlemlendiğine bağlı olacaktır. Bunun sonucu olarak, bir miktarda olsa belirsizlik içerecektir. Fakat gözlemsel ve hesaplanan dağılım arasındaki uyum seviyesini %90-95'in üzerinde tutulması parametreler üzerindeki belirsizliği minimum seviyeye indirebilir.

Ayrıca, "a" parametresinin gözlem dönemine, inceleme alanı genişliğine bağlılığı ve "b" parametresinin deprem oluşumunun fiziği ile tektoniğine olan bağlılığı dikkate alındığında bölge sismisitesi açısından b parametresinin uzaysal dağılımı oldukça önem taşımaktadır. Bir çok araştırmacı tarafından sismisite parametresi ile bölgenin tektoniğinin oldukça yakın ilişkili olduğu kabul edilerek b parametresine göre haritalar yapılmıştır (Hatzidimiriou vd., 1985; Wiemer ve Wyss, 1997; Kijko, 1988; Wiemer vd., 1998; Papazachos, 1974; Papazachos, 1999).

Bu çalışma içerisinde de Gutenberg-Richter frekans-magnitüd bağıntısından en küçük kareler yöntemiyle doğrudan elde edilen a ve b parametrelerinin uzaysal dağılımı haritalanarak bölgenin sismisite ve tektoniği incelenmiştir. Burada farklı durumlar için görülen bazı uyumsuzluklar frekans-magnitüd bağıntısı için yeni bir yaklaşım yapma ihtiyacını doğurmuştur. Bu amaca yönelik olarak iki hipotez oluşturulmuştur;

1. Hipotez: $\log N = a - bM$ bağıntısında "a" katsayısı $M=0$ magnitüdü depremlerin üstel dağılımını göstermektedir.
2. Hipotez: $M=0$ magnitüdü depremlerin bir bölge içerisindeki tüm alt bölgelerdeki üstel dağılımı sabit bir değer alınabilir.

Birinci ve ikinci hipotezler doğrultusunda tüm alt bölgelerde $M=0$ magnitüdü depremlerin oluşum frekansları aynı kabul edilebilir. Bu durumda da bölge için a katsayısı sabit bir değer olarak alınabilir.

Sismisite haritalarının oluşturulabilmesi için $35^\circ-40^\circ$ K enlemleri ve $28^\circ-33^\circ$ D boylamları arasında kalan bölge içerisinde $36^\circ-39^\circ$ K enlemleri ve $29^\circ-32^\circ$ D boylamları arası $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ aralıklarla gridlenerek 169 adet düğüm noktası oluşturulmuştur. Her bir düğüm noktası merkez olmak üzere 1° lik yarıçap içerisinde meydana gelen depremler $4 \leq M \leq 7$ ve $\Delta M = 0.1$ alınarak hem yığınsal hemde normal dağılım için a ve b değerleri doğrudan hesaplanmıştır. İkinci aşama olarak oluşturulan hipotezler doğrultusunda a katsayısı sabit bir değer alınıp gözlemsel frekans-magnitüd değerleri kullanılarak lineer olmayan regresyon analizi ile yeni b değerleri hesaplanmıştır. Hem doğrudan bulunan hemde hipotezler doğrultusunda bulunan b parametrelerinin uzaysal dağılımı haritalanarak tektonikle olan uyumu karşılaştırılmıştır.

Son aşama olarak bölgenin sismik riski irdelenmiştir. Depremlerin zamana göre oluşumu rasgele bir süreç olarak alındığında geçmişte gözlenen depremlerle ilgili verilere dayanarak gelecekte oluşabilecek depremlerin risk analizi yapılabilmektedir. Deprem olaylarının birbirinden bağımsız oldukları varsayılırsa, depremlerin oluşumu bir Poisson süreci olarak alınabilir. Bu sürece göre, t zaman aralığında magnitüdüleri $M \geq M_1$ olan N sayıda depremin oluşma olasılığı Eşitlik 4'teki bağıntı ile verilir.

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

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, verilen 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 Eşitlik 6 ve Eşitlik 7'de verilmiştir.

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

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

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

3. BÖLGENİN ANALİZİ

İncelenen alanda oluşturulan 169 düğüm noktası için depremlerin normal ve kümülatif frekanslarına bağlı olarak frekans-magnitüd bağıntıları en küçük kareler yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda magnitüd alt sınır $M_0 < 4$ ve magnitüd aralığı $\Delta M = 0.1$ olarak alınmıştır.

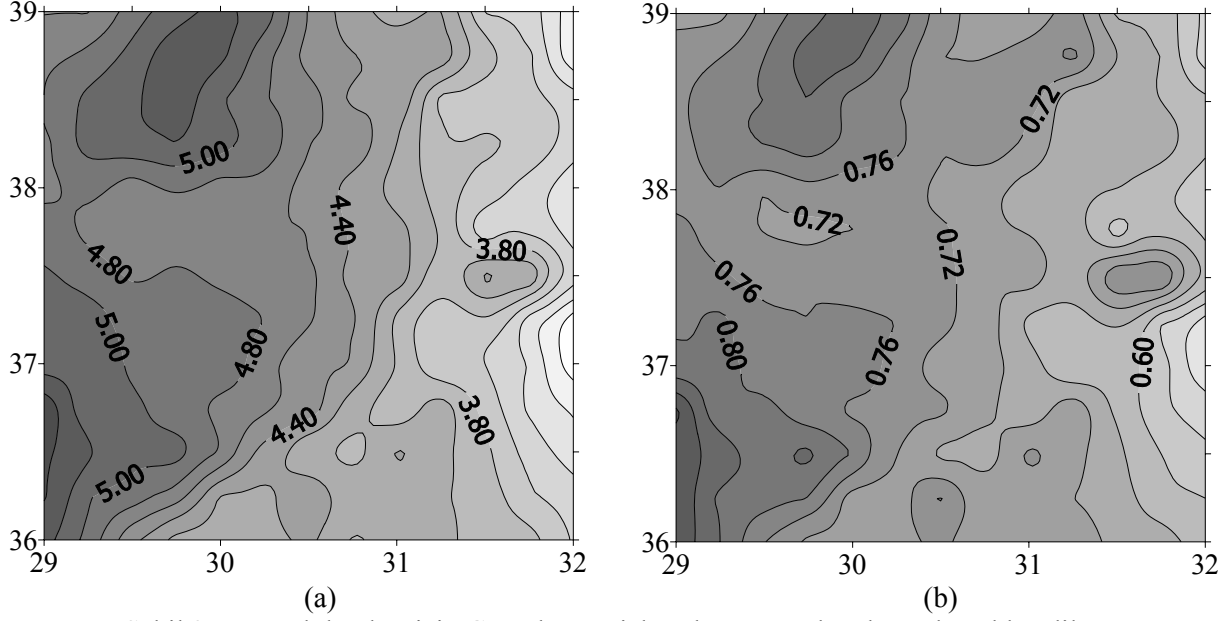
Çalışılan bölgede 1964–2002 yılları arasında oluşmuş depremlerden 169 düğüm noktasında normal dağılım için katsayılar $3.0 \leq a_n \leq 5.2$, $0.5 \leq b_n \leq 0.85$ aralığında, yığınsal dağılımda katsayılar $5.1 \leq a_y \leq 7.8$, $0.8 \leq b_y \leq 1.3$ olarak bulunmuştur. Tüm bölgede ise, bölge ortalaması $a_n = 4.4$, $b_n = 0.72$, $a_y = 6.45$ ve $b_y = 1.0$ olarak tespit edilmiştir. Normal dağılım için 148 noktada uyum seviyesinin $u = 0.90-0.98$ arasında, 20 noktada ise $u = 0.82-0.89$ arasında değiştiği bulunmuştur. Yığınsal dağılımda ise uyum seviyesinin oldukça yüksek ve düzenli bir dağılım gösterdiği $u = 0.98-1.0$ görülmüştür. Her bir düğüm noktası için hesaplanan normal ve yığınsal a ve b parametrelerinin bölge içindeki dağılımı Şekil 2,3 de gösterilmiştir.

Hem normal hemde kümülatif dağılım parametreleri ayrı ayrı kendi içlerinde incelendiğinde a ve b parametrelerinin arasında belirli bir uyumun olduğu görülmektedir. Fakat normal ve yığınsal dağılımlara ait a ve b parametreleri karşılıklı olarak incelendiğinde bazı uyumsuzluklar olduğu anlaşılmaktadır.

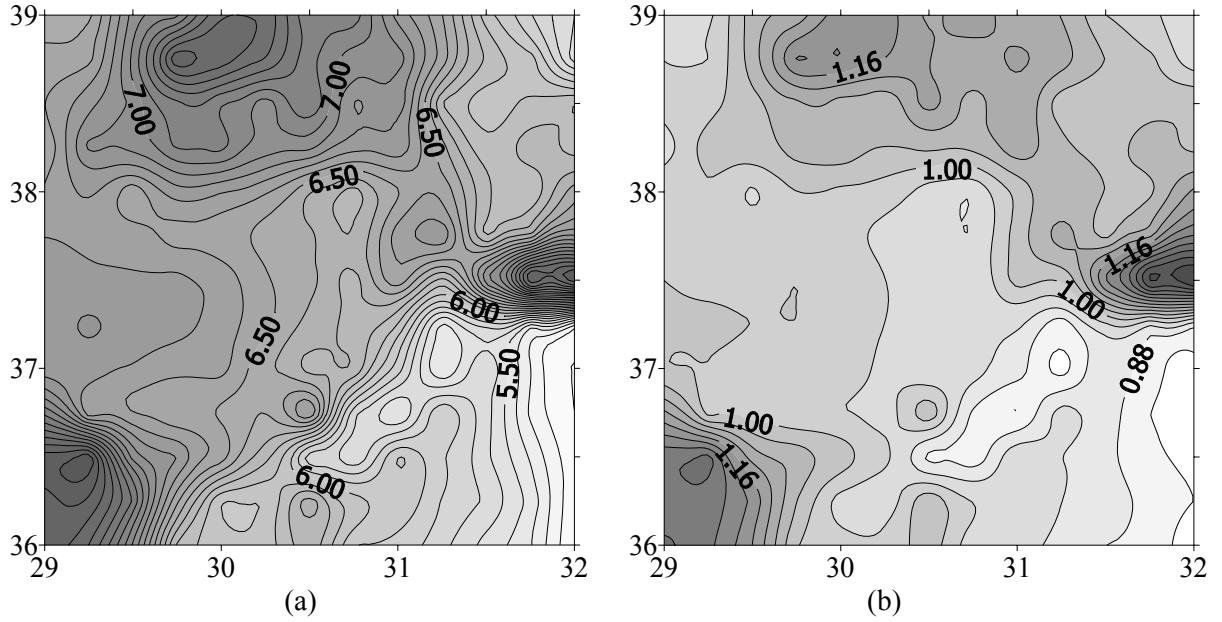
Bu uyumsuzluklardan bir tanesi a parametresi için oluşmaktadır. Normal dağılıma ait a parametresi batıdan doğuya doğru bir azalış göstermektedir. Kümülatif dağılıma bakıldığında doğrudan bu azalıştan söz etmek zordur.

Normal ve yığınsal dağılım için diğer bir uyumsuzluk da b parametrelerinde ortaya çıkmaktadır. Bir çok araştırmacı tarafından bölgenin tektoniğini ve sismisitesini gösterdiği kabul edilen b parametreleri yayılımı birbirinden oldukça farklıdır. "b" parametresinin değerinin büyük olmasının orta ve büyük magnitüdüde depremlerin sıklığının az olduğu, buna karşılık "b" parametre değerinin küçük olmasının şiddetli depremlerin sıklığının fazla olduğunu göstermesi dikkate alındığında normal dağılımda bunun sağlanmadığı görülmüştür. Özellikle normal dağılımda deprem aktivitesi olarak büyük depremlerin ve sismik aktivitenin çok olduğu batı ve kuzey-batı kısmında tam tersi olarak büyük b değerleri vermiştir. Yığınsal dağılımdaki b parametrelerinin normal dağılıma göre daha uygun bir yayılım gösterdiği

görülmüştür. Fakat burada da deprem sıklığının az olduğu güney-doğu kısmında küçük b değerleri elde edilmiştir.



Şekil 2. Normal dağılım için Gutenberg-Richter bağıntısından doğrudan elde edilen (a) *a* parametreleri ve (b) *b* parametreleri yayılımı



Şekil 3. Yığımsal dağılım için Gutenberg-Richter bağıntısından doğrudan elde edilen (a) *a* parametreleri ve (b) *b* parametreleri yayılımı

Sismisite haritalarındaki bu tip yanılsamalar genellikle, göz önüne alınan bölge içerisindeki incelenen alt alanda, diğer alt alanlara göre deprem aktivitesinin az, birbirine yakın sayıda ve dar bir magnitüd aralığında olmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle de bu tür yanılsamalar sismik risk değerlendirmelerinde hatalı yorumlara yol açabilmektedir.

Kiremidjian ve Shah Kaliforniya eyaleti için yaptıkları çalışmalarında ortalama *b* değerinin 0.4 olduğunu ve 0.24 ile 0.85 arasında değiştiğini belirtmişlerdir (Kiremidjian ve Shah, 1975). Yine *b* katsayısındaki büyük değişimlerin gözlenen deprem sayısının az olduğu bölgelerde gözlendiğini de açıklamışlardır. Ayrıca, gözönüne alınan bir bölge için gözlenen

bir depremin magnitudünün 7.1'den 8.1'e çıkarılması durumunda b değeri üzerinde %6'lık bir değişim olduğunu söylemektedirler. Buna karşın, aynı bölge için magnitudü 3.0'dan 3.3'e çıkarılan bir depremin b'yi ancak %0.15 oranında değiştirdiğini de belirtmişlerdir. Sonuçları etkileme bakımından, genellikle büyük magnitudlerde yapılacak hataların, küçük magnitudlerde yapılacak hatalara oranla daha önemli olduğu da anlaşılmaktadır.

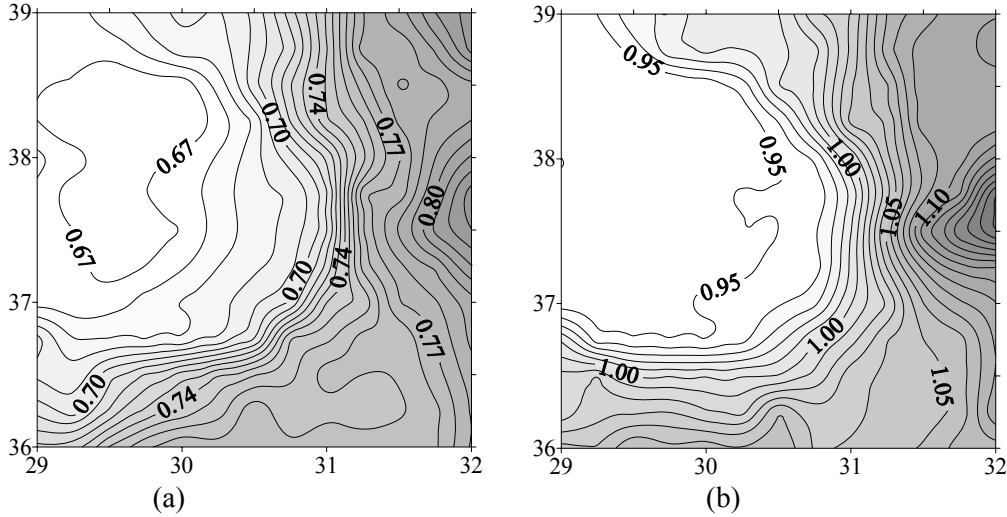
Yaptığımız bu çalışmada, sismisite haritaları üzerinde ortaya çıkan yanlısamlar, küçük ve büyük magnitudlü olayların oluş sayılarının b parametresi üzerinde oluşturduğu belirsizlik etkileri azaltmaya çalışılmıştır. Bu amaca yönelik olarak gridlenen 169 alt alan için, oluşturulan hipotezler doğrultusunda hem normal hemde yığınsal dağılım için a parametresi sabit alınmıştır. Bu sabitleme işleminde rastgele bir sayı almak yerine normal ve yığınsal dağılımlar için en küçük kareler yöntemiyle a parametresi için elde edilen $3.0 \leq a_n \leq 5.2$ ve $5.1 \leq a_y \leq 7.8$ değerleri kullanılmıştır.

İlk olarak 169 alt bölge için elde edilen a parametresi alt sınırları ($a_n=3.0$, $a_y=5.1$) kullanılarak lineer olmayan regresyon analizi ile hem normal hemde yığınsal dağılım için yeni b parametreleri hesaplanmıştır. Alt sınırlar kullanılarak yapılan bu hesaplamada uyum değerlerinin normal dağılımda $u=\%40-\%60$ seviyelerine, yığınsal dağılımda ise $u=\%50-\%70$ seviyelerine düştüğü görülmüştür. Bu nedenle sabit a parametresi için alt sınırın kullanılması uygun görülmemiştir.

İkinci olarak aynı alt bölgeler için elde edilen a parametresi üst sınırları ($a_n=5.2$, $a_y=7.8$) kullanılarak benzer şekilde b parametreleri hem yığınsal hemde normal dağılım için hesaplanmıştır. Burada da uyum değerlerinin normal dağılım için $u=\%40-\%60$, yığınsal dağılım için $u=\%50-\%70$ seviyelerinde olduğu görülmüştür. Yine burada da sabit a parametresi için üst sınırın kullanılmasının uygun olmadığı anlaşılmıştır.

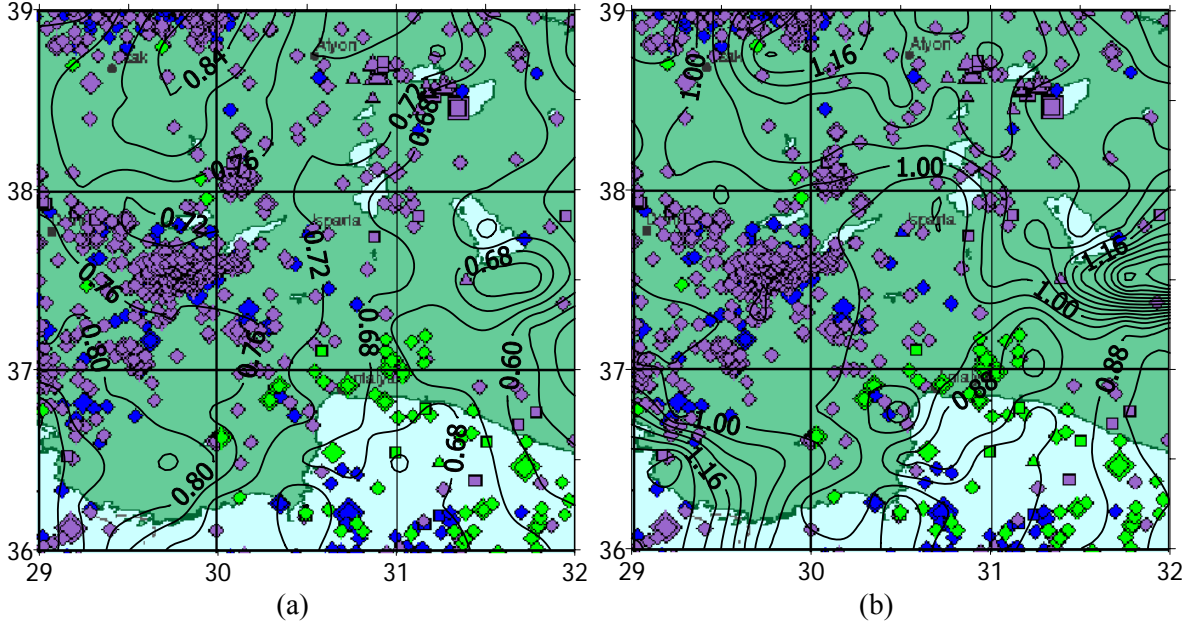
Daha sonra 169 alt bölge için hesaplanmış olan a parametresi ortalama değerleri ($a_n=4.4$, $a_y=6.45$) kullanılarak lineer olmayan regresyon analizi ile hem normal hemde yığınsal dağılım için yeni b parametreleri hesaplanmıştır. Frekans magnitud bağıntısı için doğrudan en küçük kareler yöntemiyle her bir alt bölge için elde edilen a parametrelerinin ortalamasının alınarak sabit a parametresi olarak kullanılması, buradan frekans-magnitud bağıntısındaki yeni b parametrelerinin hesaplanmasında en uygun sonucu vermiştir. Buradan elde edilen sonuçlar, normal dağılım için 148 noktada uyum seviyesinin $u=0.88-0.95$ arasında, 20 noktada ise $u=0.80-0.85$ arasında değiştiğini göstermiştir. Yığınsal dağılımda ise uyum seviyesi oldukça yüksek ve $u=0.95-1.0$ aralığında bulunmuştur. Her bir düğüm noktası için hesaplanan normal ve yığınsal yeni b parametrelerinin bölge içindeki dağılımı Şekil 4' de verilmiştir.

Hipotez doğrultusunda a katsayısı için bölge ortalaması $a_n=4.4$ alınarak hesaplanan yeni b_n parametreleri $0.66 \leq b_n \leq 0.83$ aralığında, $a_y=6.45$ alınarak hesaplanan b_y parametreleri $0.93 \leq b_y \leq 1.17$ aralığında hesaplanmıştır. Tüm bölgede ise bölge ortalamaları $b_n=0.72$ ve $b_y=1.00$ olarak tespit edilmiştir. Buradan elde edilen sonuçlar, a parametresin sabit alındığı durum ve alınmadığı durumda yapılan işlemler arasında uyum seviyelerinde büyük değişikliklerin olmadığını, bölge için elde edilen ortalama b değerlerinin de birbirinin aynı olduğunu göstermiştir. Fakat tüm bu benzerliklere karşın hem normal, hem de yığınsal dağılım a parametresinin sabit alınmadığı durumda oluşturulan b parametresi yayılım haritaları ile hipotez doğrultusunda oluşturulan b parametresi yayılım haritaları birbirinden oldukça farklı olarak bulunmuştur.



Şekil 4. Hipotez doğrultusunda a parametresi sabit alınarak elde edilen (a) normal ve (b) yığınsal dağılım b parametresi yayılımı

Bölge içinde meydana gelmiş bulunan depremlerin episantır dağılımlarıyla b parametresi yayılım haritaları karşılaştırıldığında; normal ve yığınsal dağılım için bölge içi a parametresinin sabit alınmadığı durumda oluşturulan b parametresi yayılım haritalarıyla episantır dağılımı arasında belirgin bir uyumun bulunmadığı (Şekil 5), buna karşın hipotez doğrultusunda hem yığınsal hemde normal dağılım için oluşturulan b parametresi yayılım haritalarıyla depremlerin episantır dağılımları arasında oldukça iyi bir uyumun olduğu görülmüştür (Şekil 6).

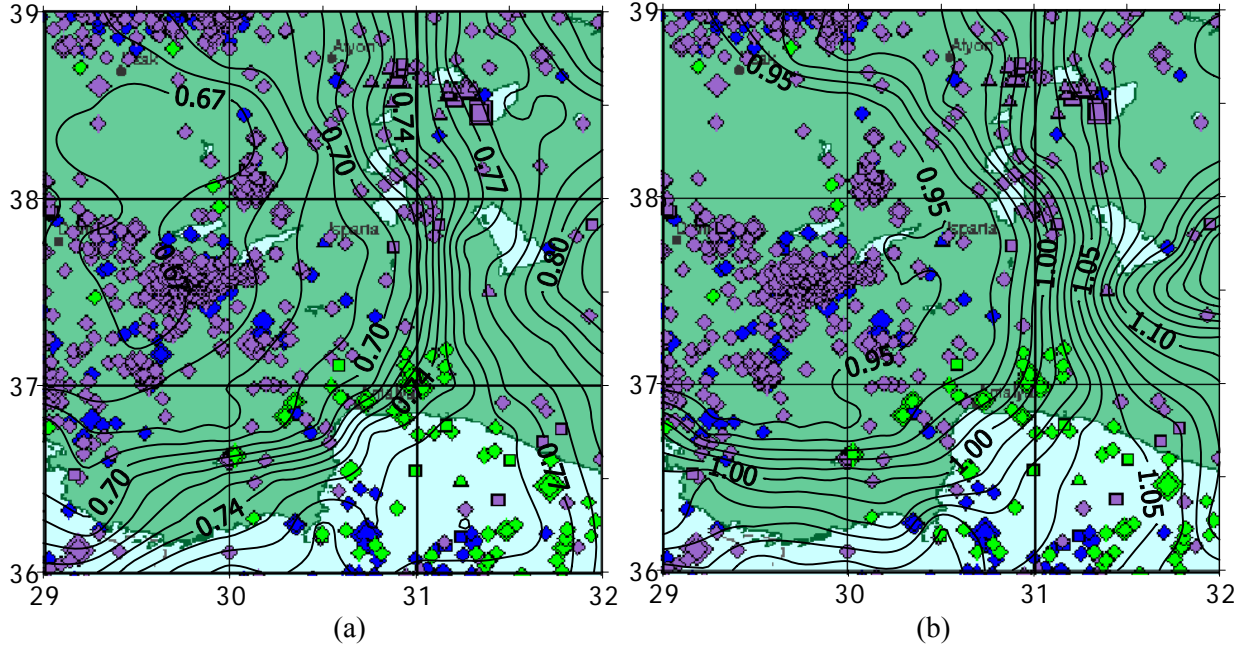


Şekil 5. a parametresinin sabit alınmadığı b parametre yayılımı ve deprem episantır dağılımları (a) normal dağılım, (b) yığınsal dağılım

Normal dağılımda özellikle düşük aktiviteye sahip olan yerlerde küçük b değerleri (Doğu kanadı) ve yüksek aktiviteye sahip olan yerlerde büyük b değerleri (Batı kanadı) görülmektedir (Şekil 5a). Diğer bir deyişle düşük aktiviteye sahip olan bölgelerde sismik riskin daha yüksek olduğunu söylemektedir. Yığınsal dağılım ise normal dağılıma göre sismisiteyle biraz daha uyumlu olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 5b). Uyum olmasına karşın

yine burada da özellikle deprem aktivitesinin düşük olduğu Güney-Doğu kanadında küçük b değerleri görülmektedir.

Oysa hipotezler doğrultusunda elde edilen sismisite haritalarında bu tür yanılsamalar ortaya çıkmamakta ve deprem aktivitesiyle oldukça iyi bir uyum sergilemektedir (Şekil 6a ve 6b). Bu da bölge içi sismisite haritalarının oluşturulması çalışmalarında Gutenberg-Richter bağıntısında a parametresinin sabit olarak alınmasının daha uygun olduğunu kanıtlamaktadır.

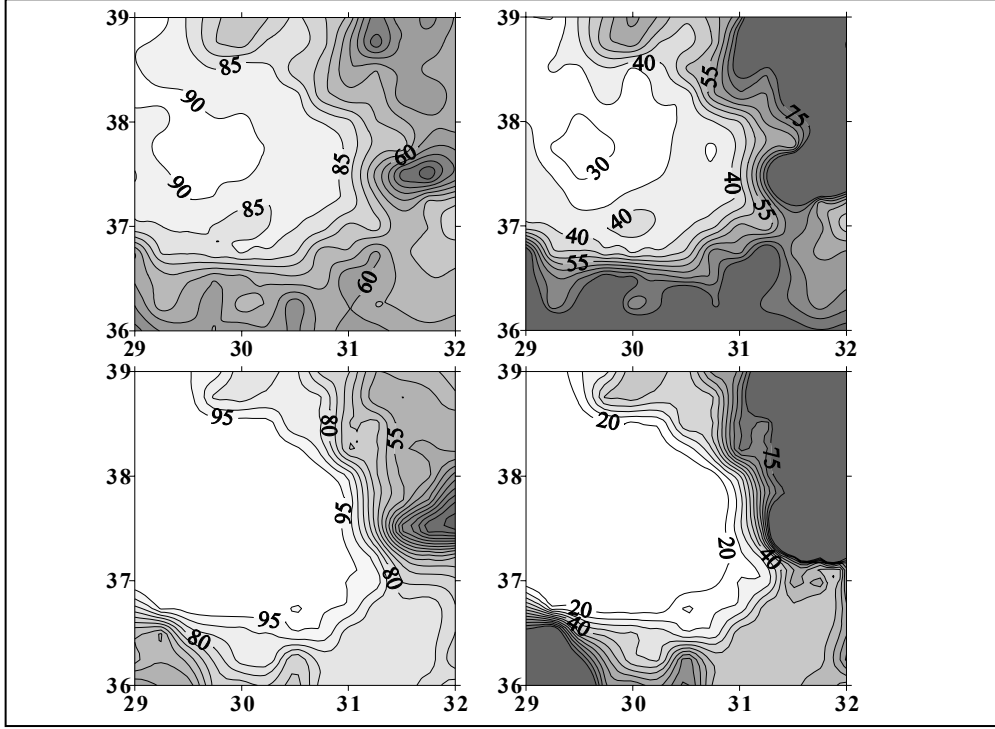


Şekil 6. Hipotez doğrultusunda a parametresinin sabit alındığı b parametre yayılımı ve deprem episantr dağılımları. (a) normal dağılım, (b) yığınsal dağılım

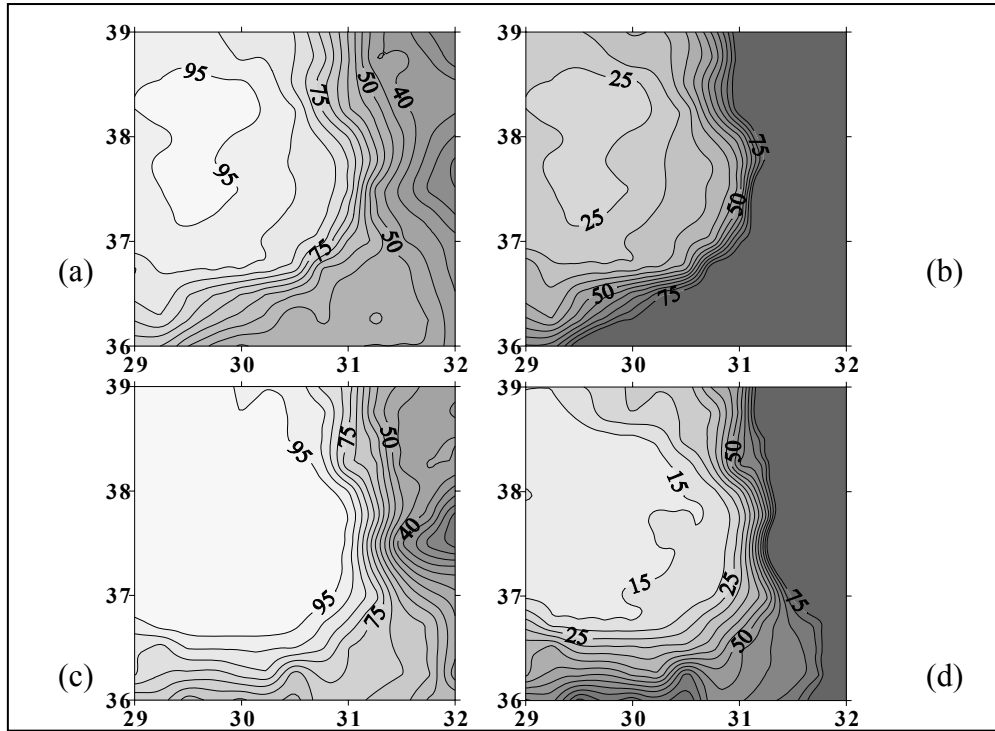
Ayrıca oluşturulan sismisite haritaları üzerinde, çalışılan bölge için yaklaşık 31° boylamının Doğu ve Batısı olarak 2 farklı sismojenik bölgeden söz etmekte mümkündür (Şekil 6). Bunlardan Batı kanadı sismisite açısından oldukça aktif Doğu kanadı ise aktivite açısından oldukça zayıf gözükmektedir.

Sismolojik çalışmalarda bölgenin sismisitesi ortaya konulduktan sonra ikinci amaç bölge içerisinde belirli bir M_1 magnitüdüne eşit veya daha büyük M magnitüdü bir depremin belirli bir T zaman aralığı içerisinde oluşma riskinin belirlenmesidir. Bu çalışmada incelenmesi yapılan bölgenin sismik riskinin belirlenmesi için basit, uygulamada oldukça yaygın kullanımı olan ve diğer birçok karmaşık modellerden elde edilen sonuçlarla uyumlu sonuçlar veren Poisson modeli benimsenmiştir.

Poisson modeli ile normal ve yığınsal dağılımlar için hem hipotez doğrultusunda hemde hipotezsiz olarak magnitüdü 6 veya daha büyük depremin inceleme alanı içerisinde 75 yıllık bir süreçte meydana gelme riski 169 düğüm noktası için hesaplanmış; % risk ve dönüş periyotlarına göre haritalanmıştır (Şekil 7 ve Şekil 8). Bu haritalar incelendiğinde, hipotez kullanılmadan oluşturulanlar ile hipotez kullanılarak oluşturulan haritaların genel şekillerinin büyük bir yaklaşıklıkla aynı olduğu görülmektedir. Oluşturulan bu haritalarda en yüksek oluşma yüzdesi Batı kanadında ortaya çıkmaktadır. Bu değer Doğu ve Güney'e doğru bir azalış göstermekte ve en düşük değere Doğu'da ulaşmaktadır. Oluşturulan risk ve dönüş periyodu haritalarının tümünde Batı kanadı için 75 yıllık süreçte $M \geq 6$ büyüklüğünde bir depremin oluşma riski %90-%95 ve dönüş periyodu 15-30 yıl arasında bulunmuştur. Ayrıca oluşturulan tüm risk haritalarının, hipotez kullanılarak elde edilen b parametresi sismisite haritaları ile oldukça uyumlu olduğu da bulunmuştur (Şekil 6).



Şekil 7. Hipotezsiz Poisson dağılımına göre 75 yıllık süreçte $M \geq 6$ magnitüdü depremlerin (a) normal dağılım olma olasılıkları (%) ve (b) normal dağılım dönüş periyotları, (c) yığımsal dağılım olma olasılıkları (%) ve (d) yığımsal dağılım dönüş periyotları



Şekil 8. Hipotez doğrultusunda Poisson dağılımına göre 75 yıllık süreçte $M \geq 6$ magnitüdü depremlerin (a) normal dağılım olma olasılıkları (%) ve (b) normal dağılım dönüş periyotları, (c) yığımsal dağılım olma olasılıkları (%) ve (d) yığımsal dağılım dönüş periyotları

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada 36°-39° K ve 29°-32° D enlem ve boylamları arasında kalan bölgede 1964–2002 yılları arasında meydana gelen deprem verileri kullanılmıştır. İnceleme alanı 0.25x0.25 lik aralıklarla gridlenerek 169 adet düğüm noktası oluşturulmuştur. Her bir düğüm noktası merkez olmak üzere 1°lik yarıçap içerisinde meydana gelmiş depremlerin yığmsal ve normal dağılımı dikkate alınmıştır. Her iki dağılım için Gutenberg-Richter frekans magnitüd bağıntısındaki a ve b değerleri hem doğrudan en küçük kareler yöntemi kullanılarak hemde oluşturulan hipotezler doğrultusunda a parametresi sabit alınıp lineer olmayan regrasyon analizi ile hesaplanarak bölgenin sismisitesi ve sismik riski belirlenmeye çalışılmıştır.

Gutenberg-Richter bağıntısının doğrudan çözümünde normal dağılım için katsayılar $3.0 \leq a_n \leq 5.2$, $0.5 \leq b_n \leq 0.85$ ve yığmsal dağılımda ise $5.1 \leq a_y \leq 7.8$, $0.8 \leq b_y \leq 1.3$ aralığında bulunmuştur. Tüm bölgede ise, bölge ortalaması $a_n=4.4$, $b_n=0.72$, $a_y=6.45$ ve $b_y=1.0$ olarak tespit edilmiştir.

Gutenberg-Richter bağıntısının hipoteze bağlı çözümünde "a" parametresinin alacağı sabit değer için doğrudan elde edilen a parametrelerinin alt sınır, üst sınır ve bölge içi ortalama değerleri test edilmiştir. En yüksek uyum seviyesi bölge içi ortalamaları olan $a_n=4.4$ ve $a_y=6.45$ için elde edilmiştir. Buna göre b parametreleri normal dağılım için $0.66 \leq b_n \leq 0.83$ ve yığmsal dağılım için $0.93 \leq b_y \leq 1.17$ aralığında hesaplanmıştır. Tüm bölgede ise bölge ortalamaları $b_n=0.72$ ve $b_y=1.00$ olarak tespit edilmiştir.

Çalışılan alanda doğrudan elde edilen b parametreleri, özellikle deprem aktivitesinin fazla ve büyük depremlerin olduğu Batı kanadında düzensiz dağılımlar ve büyük değerler verirken, deprem aktivitesinin az olduğu Doğu kanadında ise düşük değerler vermektedir. Düşük b değerinin düşük heterojenite, büyük gerilme oranı, hızlı deformasyon ve şiddetli deprem sıklığının fazla olmasıyla ilişkili olduğu dikkate alındığında, doğrudan elde edilen b parametrelerinin uzaysal dağılımının bu ilişkiyle uyumsuz, hipoteze bağlı olarak elde edilen b parametresinin uzaysal dağılımının ise uyumlu olduğu görülmüştür. Bu durumda doğrudan elde edilen b parametrelerinin uzaysal dağılımından bölge içi sismisite hakkında yorum yapmanın yanlış olacağı, sismisite haritalarının oluşturulmasında a parametresinin sabit olarak alınmasının uygun olduğu kanıtlanmaktadır.

İncelenen alan için Poisson modeli ile $M \geq 6$ magnitüdü depremin 75 yıllık süreçte meydana gelme riski ve dönüş periyotları hesaplanmış ve haritalanmıştır. Hipotezli ve hipotezsiz oluşturulan risk ve dönüş periyodu haritalarının genel şekilleri birbirleriyle oldukça benzer elde edilmiştir. Alan içerisinde %90-%95 oluşma riski ve 15-30 yıl dönüş periyodu ile Batı kanadının en büyük riske sahip olduğu görülmüştür. Oluşturulan tüm risk haritalarının, hipotez kullanılarak elde edilen b parametresi uzaysal dağılım haritaları ile oldukça uyumlu olduğu bulunmuştur. Ayrıca, risk haritaları ve hipotez doğrultusunda oluşturulan sismisite haritaları üzerinde çalışılan bölge için yaklaşık 31° boylamının Doğu ve Batısı olarak 2 farklı sismojenik bölgeden söz etmekte mümkündür.

KAYNAKLAR

- Allen C.R., Amand P., Richter C.F., Nordquist J.M. (1965): "Relation Between Sismicity and Geological Structure In The S. California Region", Bull. Seismol. Soc. 55, 752-797.
- Bath M. (1983): "Earthquake Magnitude-Recent Research and Current Trends", Earth. Sci. Rev. 17, 315-398.
- Evernden J.F. (1970): "Study of Regional Seismicity and Associated Problems", Bull. Seismol. Soc. Am., 60, 393-446.
- Frohlich C., Davis S. (1993): "Teleseismic b-Values: or, Much About 1.0", J. Geophys. Res., 98, 631- 644.

- Gutenberg B., Richter C.F. (1944): "Frequency of Earthquakes in California", Bull. Seismol. Soc. Am., 34, 185-188.
- Hazidimitriou 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.
- IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) www.iris.edu.
- Ishimoto M., Lida K. (1939): "Observations of Earthquakes Registered with The Microseismograph Constructed Recently", Bull. Earthq. Res. Inst., 17, 443-478.
- Kijko A. (1988): "Maximum Likelihood Estimation of Gutenberg-Richter B Parameter For Uncertain Magnitudes Values", Pure Appl. Geophys., 127, 573-579.
- Kiremidjian A.S., Shah H.C. (1975): "Seismic Hazard Mapping of California", The John A. Blume Earthquake Eng. Center, Report No.21, Dept. of Civil Engr., Stanford Univ.
- 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.
- Miyamura S. (1962): "Magnitude-Frequency Relations and Its Bearing to Geotectonics", Proc. Japan. Acad., 38, 27-30.
- Mogi K. (1967): "Earthquakes and Fractures", Tectonophysics, 5, 35-55.
- Mori J., Abercrombie R.E. (1997): "Depth Dependence of Earthquake Frequency-Magnitude Distributions in California", J. Geophys. Res., 102, 15081-15090.
- Olsson R. (1999): "An Estimation of Maximum b-Value in the Gutenberg-Richter Relation", Journal of Geodynamics, 27, 547-552.
- Pacheco J.F., Scholz C.H., Sykes L.R. (1992): "Changes in Frequency-Size Relationship from Small to Large Earthquakes", Nature, 355, 71-73.
- Papazachos B.C. (1974): "Dependence of the Seismic Parameter B on the Magnitude Range", Pure Appl. Geophys., 112, 1059-1065.
- Papazachos B.C. (1999): "An Alternative Method for A Reliable Estimation of Seismicity with an Application in Greece and the Surrounding Area", Bull. Seismo. Soc., 89, 111-119.
- Scholz C.H. (1968): "The Frequency-Magnitude Relation of Microfracturing In Rock And Its Relation To Earthquakes", Bull. Seismol. Soc. Am., 58, 399-415.
- Shi Y., Bolt B.A. (1982): "The Standard Error of the Magnitude-Frequency B-Value", Bull. Seismol. Soc. Am., 72, 1677-1687.
- Tsapanos T.M., Galanopoulos D.G., Burton 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.
- Turcotte D.L. (1986): "A Fractal Model of Crustal Deformation", Tectonophy, 132, 261-269.
- USGS (United States Geological Survey) www.usgs.gov
- Wang J.H. (1988): "B-Values of Shallow Earthquakes in Taiwan", Bull. Seismol. Soc. Am., 78, 1243-1254.
- Wang J.H. (1994): "On The Correlation of Observed Gutenberg-Richter's B-Value and Omori's P-Value for Aftershocks", Bull. Seismol. Soc. Am., 84, 2008-2011.
- Wiemer S., Mcnutt S.R., Wyss M. (1998): "Temporal and Three-Dimensional Spatial Analysis of the Frequency-Magnitude Distributions Near Long Valley Caldera, California", Geophys. J. Int., 134, 409-421.
- Wiemer S., Wyss M. (1997): "Mapping The Frequency-Magnitude Distributions in Asperities: An Improved Technique to Calculate Recurrence Times", J. Geophys. Res., 102, 15115-15128.