

Manisa Yakın Bölgesinin Sismik Tehlike Kaynakları ve Manisa için Sismik Risk Durumlarının Değerlendirilmesi

Ender Başarı

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik ABD, ender.basari@cbu.edu.tr

Özet

Manisa il merkezi yakın civarının sismik risk değerlendirmelerinde, konumları il merkezine 100 km mesafeden daha uzakta olan depremlerin il merkezi üzerinde ihmal edilebilir etkilere sahip olduğu kabul edilmiştir. Bundan dolayı, analizlerde 6 sismik alt-bölge dikkate alınmıştır. Dikkate alınan alt-bölgeler farklı sismotektonik karakteristiklere sahip olup, konumları il merkezine yakın mesafelerde (≤ 100 km) yer almaktadır. Gutenberg – Richter magnitüd – frekans ilişkisi, sismik risk tahminleri ve tekerrür periyotları her alt bölge için ayrı ayrı belirlenmiştir. Aletsel (1900 – 2015) dönemin ($m_w \geq 4.0$) ve 1900 yılından önceki tarihsel ($I_0 \geq 5.0$) dönemin her ikisine ait datalar analizlerde kullanılmıştır. Analizlerde, a ve b magnitüd – frekans ilişki katsayıları sırasıyla 3.36 ± 0.13 – 4.90 ± 0.41 ve 0.45 ± 0.02 – 0.68 ± 0.07 aralıklarında belirlenmiştir. Alt bölgeler için, sismik kaynak – saha mesafe olasılık dağılımları hesaplanmıştır. Kaynak – saha mesafe olasılık dağılımları, 2, 4 ve 5 alt-bölgeleri içinde meydana gelecek depremlerin, 1, 3 ve 6 alt-bölgeleri içinde meydana gelecek depremlerden, Manisa il merkezi için daha yıkıcı etkilere sahip olabileceğini işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kaynak – saha mesafe olasılık dağılımı, Manisa il merkezi, Poisson modeli, sismik risk, tekerrür periyodu.

Seismic Hazard Sources of Manisa Nearby Region and Their Seismic Risk Evaluation for Manisa

Abstract

In the seismic risk assessments for the close vicinity of Manisa city center, it is assumed that earthquakes located further away from 100 km than the city center have negligible effects on the city center. So, 6 seismic sub-regions are considered in the analysis. The considered sub-regions have different seismotectonic characteristics and they are located in the close distance (≤ 100 km) to the city center. Gutenberg–Richter magnitude–frequency relations, recurrence periods and seismic risks have been computed for the sub-regions, separately. The data belonging to both the instrumental period (1900-2015) ($m_w \geq 4.0$) and historical period before 1900 ($I_0 \geq 5.0$) has been used in the analysis. According to the results, a and b coefficients of the magnitude – frequency relations were computed in the intervals 3.36 ± 0.13 – 4.90 ± 0.41 and 0.45 ± 0.02 – 0.68 ± 0.07 , respectively. Seismic source-to-site distance probability distributions were computed for the sub-regions. Source-to-site distance probability distributions indicate that earthquakes will occur within the 2, 4 and 5 sub-regions may have more destructive effects on Manisa city center than an earthquake will occur within the 1, 3 and 6 sub-regions.

Keywords: Manisa city center, Poisson model, recurrence period, seismic risk, source-to-site distance probability distribution.

1 Giriş

Daha önceki çalışmalarda Batı Anadolu'da dahil olmak

üzere bir çok bölge için oldukça önemli ve değerli alansal (zonlama yapılarak) sismik risk belirleme

çalışmaları yapılmıştır [Altınok, 1991; Bağcı, 1996; Firuzan, 2008; Sayıl & Osmaşahin, 2008]. Bu çalışmaların belirli aralıklarla güncel ve ilave gözlenen deprem verileri ile yenilenmesi ve güncellenmesi gerekmektedir. Alansal risk değerlendirmeleri belirli bir bölgenin tamamı için deprem tehlikesi ve olasılığı hakkında genel ve geçerli tahminler ortaya koymakla beraber kent merkezi, baraj, enerji santrali, liman, köprü gibi bir satır üzerinde noktasal olarak değerlendirilebilecek sahaların deprem riskini tek başlarına tam olarak yansıtmazlar.

Herhangi bir sahada bir deprem neticesinde meydana gelecek olan can kaybı ve hasar mertebesi, sahanın zemin yüzeyinde oluşan deprem hareketinin boyutlarına ve bölgedeki yapı özelliklerine bağlıdır. Zemin yüzeyinde oluşacak ivme büyüklüğünü belirleyen en önemli parametrelerin başında ise depremin meydana geldiği odak noktasının yerleşim alanına mesafesi ve il merkezinin bulunduğu sahadaki yerel zemin koşulları gelmektedir.

Bir yerleşim merkezi için yapılan deprem risk değerlendirmelerinde bir diğer önemli hususta yeterince veri olmadan yerel zemin koşullarının analizlere katılmasıdır. Yerel zemin verilerinin eksik veya yanlış kullanımı, gerçekçi bir deprem riski değerlendirmesinden ziyade yanlış sonuçlara ulaşılmasına neden olmakta ve tartışmalara yol açabilmektedir. Bu çalışmada Manisa il merkezi için en gerçekçi ve doğru deprem risk tahminlerini yapabilmek ve spekülasyonlara yol açmamak için deprem risk değerlendirmelerinde geçmiş depremlerin büyüklükleri, frekansları ve Manisa il merkezine olan merkez üslerinin mesafe bilgileri kullanılmış ve istatistiksel bir değerlendirme yapılmıştır. Yerel zemin koşullarının dikkate alındığı yüzey ivme hesaplamaları Manisa il merkezi zeminleri hakkında yeterli veri olmadığından yapılmamıştır.

Literatürde deprem risk değerlendirmeleri (deprem oluş sıklığı, tekerrür periyodu, en büyük yer hareketi ve belirli periyotlar için en büyük deprem magnitüd risk değerlerinin tahminleri) için çeşitli istatistiksel modeller önerilmiş olmakla birlikte, temel olarak probabilistik sismik tehlike analizleri birçok açıdan Cornell (1968) ve Algermissen ve ark. (1982) tarafından geliştirilmiş ve oluşturulmuştur. Son birkaç on yıllık süre içinde depremlerin zamansal oluşumları sıklıkla

Poisson modeli ile tanımlanmaktadır [Cornell, 1968; Caputo, 1974; Shah & Movassate, 1975]. Poisson modelinde olayların zaman, boyut ve lokasyon bakımından rastgele olduğu ve bir olayın geçmişteki olaylardan bağımsız geliştiği kabul edilir. Dolayısı ile zaman, boyut ve lokasyon konusunda modelin hafızası yoktur. Bunun yanında deprem oluşumlarının geçmişteki deprensellikten bilhassa büyük depremlerden bağımsız olmaması gerektiğini öngören Markov [Nishioka & Shah, 1980; Vagliente, 1973; Veneziano & Cornell, 1974; Vera-Jones, 1966], Yarı-Markov [Cluff vd., 1980; Coppersmith, 1981; Patwardhan vd., 1980], Weibull [Işıkara, 1984; Rikitake, 1975], Tetikleme [Shlien & Toksöz, 1970; Lai, 1977, Vera-Jones & Davies, 1966] gibi modellerde mevcuttur.

Cornell ve Winsterstein (1986) Poisson ve Poisson olmayan modellerin uygulanabilirliği üzerine yaptıkları çalışmada temel bir iki durum ve özel karakteristik deprem davranışının gözlemlendiği durumlar hariç, pratik sismik risk analizlerinde Poisson modelinin oldukça kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir. Diğer ileri düzey modeller için ilave parametrelere ihtiyaç duyulması ve bu verilerin birçok sismik tehlike analizi için eksik olmasından dolayı ve sadelik açısından günümüzde Poisson modeli sismik tehlike analizlerinde en sık kullanılan modeldir.

Bu çalışmada tarihi ve aletsel dönemde oluşmuş depremlere ait kayıtlar kullanılarak Manisa il merkezine yakın sismik zonlar için magnitüd olasılık değerleri belirlenmiş ve kaynak – saha mesafesinin normalize edilmiş histogramları oluşturulmuştur. Sismik zonların deprem risk değerlendirmeleri mesafe histogramları ile birlikte verilmiştir.

2 Bölgenin Sismotektoniği

Türkiye, Azores'den Endonezya'ya kadar uzanan Alp-Himalaya ana tektonik kuşağında yer almaktadır. Anadolu levhasının tektonizmasını Arap-Afrika levhalarının Avrasya levhası ile çarpışması şekillendirmiştir. Kuzey Anadolu Fay Zonu, Doğu Anadolu Fay Zonu, Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı gibi tektonik yapılar bölgenin önemli tektonik yapılarıdır (Şekil 1). Önceki çalışmalar batıya doğru bir kaçış olduğunu ancak Helenik Yay'ın Anadolu'nun kaçışını kısıtladığını ve Batı Anadolu bölgesinde doğu-batı yönlü graben sistemlerin gelişmesine neden olduğunu

göstermiştir. Açılmalı tektonik rejimin gerçekleştiği Batı Anadolu, Anadolu'nun en önemli neotektonik bölgelerinden biridir [Emre vd., 2005; Kenar & Osmaşahin, 1996; Ketin, 1977; Mckenzie, 1978; Osmaşahin ve ark., 1986; Reilinger & McClusky, 1997; Şengör, vd., 1985].

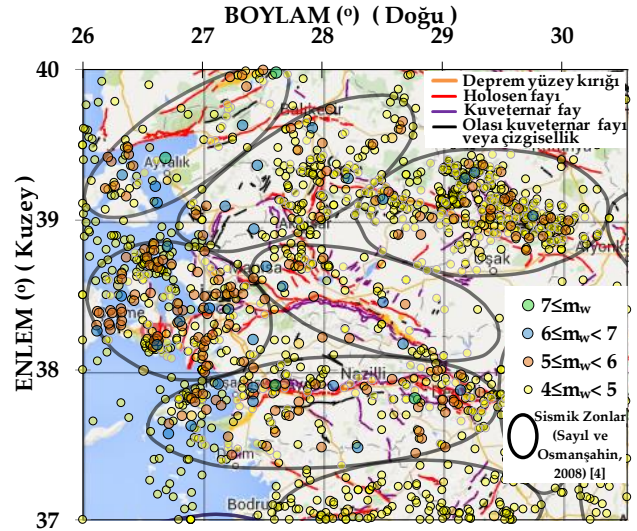
Anadolu'daki tektonizma farklı araştırmacılar tarafından değişik mekanizmalar ile tanımlanmış olsada [McKenzie, 1972; Şengör, 1979; Jackson & McKenzie, 1988; Dewey & Şengör, 1979], bölgenin tektonizmasını Arap levhasının kuzey-kuzey batı yönünde, Afrika levhasının kuzey yönünde farklı hızlarda hareket ederek Avrasya levhası ile çarpışması şekillendirmiştir. Avrasya levhası ile meydana gelen çarpışma sonucu, kuzeyinde rijit Karadeniz Okyanus levhası bulunan Anadolu levhası batı-güney batı yönünde Afrika levhasının okyanusal litosferi üzerinde yer alan Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı boyunca kaçış hareketine başlamıştır. Günümüzde Anadolu levhasının bu kaçışına, Nil deltasında Sina bölgesinde yer alan bir noktaya göre saatin tersi yönünde bir dönme eşlik etmektedir. Bölgenin önemli tektonik sınırlarından biriside Kıbrıs-Güney Ege (Helen) yaylarıdır. Söz konusu yay sisteminin dalma-batma kuşağı şeklinde olduğu düşünülmektedir [Rotstein & Kafka, 1982; Nur & Ben-Avraham, 1978]. Güney Ege Yayının özellikleri yay ardı geri çekim hareketinin oluşmasına ve Miyosen öncesi kuzey-güney kısalma tektoniğinin hakim olduğu Batı Anadolu Ege bölgesinde doğu-batı uzanımlı genişleme (çekme) tektoniğinin başlamasına ve yayın kıvrımlılığının artmasına neden olmuştur.



Şekil 1. Türkiye'nin basitleştirilmiş tektonik haritası ve başlıca neotektonik yapıları [Barka & Reilinger, 1997; Kiratzi & Louvari, 2001; Bozkurt & Sözbilir, 2004].

Tektonizması hakkında halen araştırma ve tartışmaların sürdüğü batı Anadolu'nun sismik hareketliliği oldukça yüksektir (Şekil 2). Öncü ve artçı depremler dahil olmak üzere bölgenin genel sismik hareketliliği (daha önceki yıllarda oluşmuş depremler) Şekil 2 ile verilmiştir.

Bölgede meydana gelmiş depremlerin mekanizmaları ve konumları incelendiğinde depremlerin farklı karakteristik ve/veya aktiviteye sahip fay sistemlerinde kümelenildiği gözlenmektedir. Bölgenin fay sistemleri ve sismik aktivitesi araştırmacılar tarafından benzer karakteristiklere sahip alt bölgelere (zonlara) ayrılarak gruplandırılmıştır [Firuzan, 2008; Sayıl & Osmaşahin, 2008; Sözbilir vd., 2009]. Bu çalışmada, Sayıl ve Osmaşahin (2008) tarafından Batı Anadolu Bölgesi için yapılan alt sismik bölgeleme (zonlama) (Şekil 2) dikkate alınmıştır.



Şekil 2. Manisa ve yakın civarı fay hatları ve deprem merkez üsleri (Harita ve fay bilgileri: [Emre vd., 2013], deprem merkez üsü ve magnitüd bilgileri: Tablo 1, Sismik zonlar: [Sayıl & Osmaşahin, 2008]).

3 Materyal (Deprem Dataları)

Bu çalışmada tarihsel ve aletsel (enstrümental) dönemde kayda geçmiş, moment büyüklüğü (m_w) 4.0 ve daha büyük olan depremler kullanılmıştır. Moment büyüklüğü 4.0'dan küçük olan depremler yapılarada çok nadir olarak hasar oluştururlar ve yapılar genelde hasar görmez. En büyük moment olarak, her alt sismik

bölge için gerçekleşmiş en büyük depremin magnitüdü dikkate alınmıştır. Diğer önemli bir hususta deprem verilerinin esas deprem sarsıntısına ait olmasına özen gösterilmiş, öncü ve artçı sarsıntılar hesaba katılmamıştır. Öncü ve artçı deprem sarsıntılarının belirlenmesinde Tablo 1’de verilen [Yüceyan, 2011] kriterler göz önüne alınmaya çalışılmıştır. Deprem bilgileri Tablo 2 ile verilen katologlardan ve deprem bilgi merkezlerinden temin edilmiştir.

Tablo 1. Öncü ve artçı depremlerin ayırt edilmesinde kullanılan uzaklık ve zaman aralıkları [Yüceyan, 2011].

Magnitüd	Uzaklık (km)	Zaman (gün)
4.5	35.5	42
5.0	44.5	83
5.5	52.5	155
6.0	63.0	290
6.5	79.4	510
7.0	100.0	790
7.5	125.9	1326
8.0	151.4	2471

Tablo 2. Çalışmada yararlanılan deprem katologları ve bilgi merkezleri.

Deprem Bilgi Merkezleri
B. Ü. Kandilli Rasathanesi Deprem Araş. Ens.
International Seismological Centre
International Seismological Summary
Le Bureau Central Sismologique Français
National Observatory of Athens
T.C. BAADYB Deprem Dairesi Baş.
The Eur.-Med. Seis. Centre
United States Geological Survey’s (USGS)

Deprem Katologları
Alsan ve ark., (1975)
Ambraseys, (2001)
Ambraseys ve Finkel, (1995)
Ambraseys ve Jacson, (1981)
Ayhan ve ark., (1987)
Dewey, (1976)
Ergin ve ark., (1967)
Gündoğdu ve Altınok, (1986)
Karnik, (1968)
Öcal, (1968)
Papazachos ve Comminakis, (1982)
Pınar ve Lahn, (1952)
Soysal ve ark., (1981)
Stucchi ve ark., (2013)
Westaway, (1990)

Analizlerde homejenlik son derece önemli olduğundan hesap ve analizlerde kullanılan tüm depremlerin moment büyüklükleri (m_w) göz önüne alınmıştır. Büyüklüğü moment büyüklüğünden farklı olan depremler için moment büyüklük değerleri Tablo 3 ile verilen ve Batı Anadolu Bölgesi için Karakostas ve ark., (2013) [Karakostas vd., 2013] tarafından önerilmiş olan ilişkiler kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan ilişkilerin seçilmesinde regresyon katsayısının bire yakın olması ve ilişkilerin geliştirilmesinde bölge depremlerinin kullanılmış olmasına dikkat edilmiştir.

Magnitüd bilgisi olmayan ve sadece şidet bilgisi mevcut olan tarihsel depremlerin magnitüd tahmini Denklem 1 [Stucchi, 2013] kullanılarak yapılmıştır.

$$m_w = 3.404 + 0.355I_o \quad (I_o: \text{deprem şiddeti}) \quad (1)$$

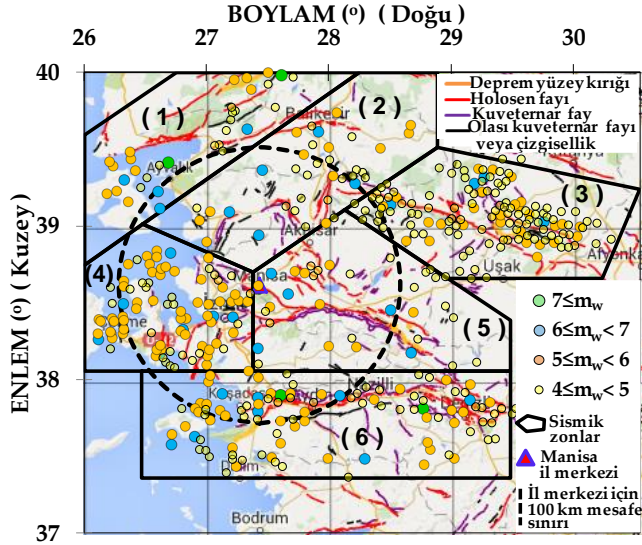
Tablo 3. Magnitüd büyüklük dönüşümü için dikkate alınan ilişkiler [Karakostas vd., 2013].

İlişki	b (*)	a (*)	R ²
$m_w = a + b m_s$	0.61±0.003	2.52±0.042	0.95
$m_w = a + b m_b$	0.98±0.006	0.38±0.128	0.90
$m_w = a + b m_l$	0.93±0.003	0.39±0.070	0.94
$m_w = a + b m_a$	1.18±0.010	-0.43±0.182	0.91

(*) a ve b katsayıları için standart hata

m_a : Süreye bağlı büyüklük, m_l : Yerel/lokal büyüklük, m_s : Yüzey dalgası büyüklüğü, m_b : Cisim dalgası büyüklüğü, m_w : Moment büyüklüğü

Çalışmada, Sayıl ve Osmanşahin (2008) tarafından önerilen sismik bölge (zon) sınırları mesafe histogramlarının hesap kolaylığı açısından doğrusallaştırılmıştır (Şekil 3). Alt sismik bölgeler ile her bölge için istatistiksel hesaplamalarda kullanılan (öncü ve artçı depremlerin ayıklandığı) depremlerin merkez üssü, büyüklüklerine göre sınıflandırılarak Şekil 3 ile gösterilmektedir. Deprem risklerinin belirlenmesi için geliştirilen ilişkide kullanılan farklı magnitüdüdeki depremlerin eklenik ve eklenik olmayan sayıları Tablo 4’de ve Şekil 3’de verilmiştir. Sismik zonlar için deprem risk tahmininde kullanılan depremlerin gözlem periyot süreleri ve deprem dataları için gözlem başlangıç tarihleride Tablo 4 yer almaktadır.



Şekil 3. Sismik risk analizlerinde dikkate alınan sismik zonlar ve depremler. (Harita ve fay bilgileri: [Emre vd., 2013], deprem merkez üssü ve magnitüd bilgileri: Tablo 1.).

Tablo 4. Deprem risk analizlerinde kullanılan deprem verileri hakkında bilgiler.

En küçük kareler yönteminde kullanılan deprem verileri						
Magnitüd (m _w)	Eklenik Deprem Sayısı					
	Alt sismik bölgeler					
	1	2	3	4	5	6
4.0 - 4.4	39	52	148	118	29	105
4.5 - 4.9	30	30	47	103	18	69
5.0 - 5.4	19	17	35	83	11	46
5.5 - 5.9	8	8	8	39	6	20
6.0 - 6.4	6	5	5	20	4	10
6.5 - 6.9	5	2	1	8	2	5
7.0 - 7.4	2	0	1	4	0	2
7.5 - 7.9	0	0	0	0	0	0
Gözlem periyodu T _g (Yıl)	170	112	111	376	153	169
Gözlem periyodu başlangıç ve bitiş yılları	1845	1903	1904	1639	1862	1846
	2015	2015	2015	2015	2015	2015

4 Metod

Depremlerin magnitüd - frekans ilişkileri geçmiş dönemlerde meydana gelmiş ve gözlenmiş depremlere bağlı kurulur. Günümüzde deprem aktivitelerini belirlemek, modellemek ve tahminlerde bulunmak için kullanılan yöntem ve metodların temel kriterleri uzun süre önce konulmuş olmakla birlikte günümüzde de geçerliliklerini korumaktadırlar. Günümüzde yaygın bir şekilde kullanım imkanı bulan yöntemlerden biriside Gutenberg ve Richter (1954) tarafından önerilmiş olan ve genel formu Denklem 2 ile verilen deprem magnitüdü-frekans ilişkisidir.

$$\text{Log}N(m) = a - bm \quad (2)$$

Denklemden toplam frekansı gösteren N(m) terimi, m ve daha büyük magnitüde sahip depremlerin toplam sayısıdır. Gutenberg-Richter ilişkisinde frekans-magnitüd arası ilişki doğrusal değil üstel özelliktedir. Bundan dolayı belirli bir magnitüd aralığı (m₁ ve m₂) için LogN(m) liner olmaktadır. Denklem 2'de yer alan a ve b parametreleri magnitüd-frekans ilişki katsayılarıdır. a katsayısı gözlem periyoduna, bölgenin sismik aktivitesi, bölgenin genişliği gibi parametrelere bağlı olup, yıllık ortalama sismik aktivite indeksini tanımlar. b katsayısı ise deprem oluşumunun fiziği ile ilişkilili bir parametredir. Yapılan çalışmalarda b parametresinin bölgenin tektonik karakteristiği ile değiştiği gözlenmiştir. Sismotektonik zon, jeolojik yaş, gerilme şartları, kayaçların tipi, duktilitesi (mekanik özellikleri) gibi özellikler ile b parametresinin ilişkili olduğu yapılan çalışmalar ile gösterilmeye çalışılmıştır [Osmanşahin vd., 1986; Mori & Abercrombie 1997, Miyamura, 1962; Weeks vd., 1978; Urbancic vd, 2002; Wiemer & Katsumata,1999; Mogi, 1967; Scholz, 1968].

Denklem 2'de verilen a ve b katsayıları genellikle en küçük kareler yöntemi ile elde edilen ve Denklem 3 ile verilen doğrusal denklem sisteminin çözülmesi ile hesaplanır. Denklem 2'de yer alan m ve N yukarıda açıklandığı gibi olup, n veri grubu sayısıdır.

Herhangi bir deprem büyüklüğü ve belirli bir periyot için depremin meydana gelme olasılığı a ve b katsayıları kullanılarak hesaplanabilir. Magnitüd-frekans ilişkisinin her iki tarafında gözlem periyoduna (T_g) bölünerek Denklem 4 elde edilir. Denklem 4'ün her iki tarafının logaritması alınarak Denklem 5 elde edilir

ve Denklem 6 yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} n & -\sum_{i=1}^n m_i \\ -\sum_{i=1}^n m_i & \sum_{i=1}^n m_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \text{Log} N_i \\ \sum_{i=1}^n m_i \text{Log} N_i \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\frac{N(m)}{T_g} = \frac{10^{a-bm}}{T_g} \quad (4)$$

$$\text{Log} \left(\frac{N(m)}{T_g} \right) = a - bm - \text{Log}(T_g) \quad (5)$$

$$n(m) m_1 = 10^{a-bm-\text{Log}(T_g)} \quad (6)$$

Sayı ve Osmanşahin (2008) tarafından $n(m)$ ve m arasındaki ilişki için Denklem 7 ile verilen bağıntı önerilmiştir. Önerilen bağıntıdaki a' ve a'_1 katsayıları Denklem 8 ve Denklem 9 ile verildiği gibi hesaplanabilmektedir.

$$n(m) = 10^{a'_1 - bm} \quad (7)$$

$$a' = a - \text{Log}[b(\ln 10)] \quad (8)$$

$$a'_1 = a' - \text{Log}(T_g) \quad (9)$$

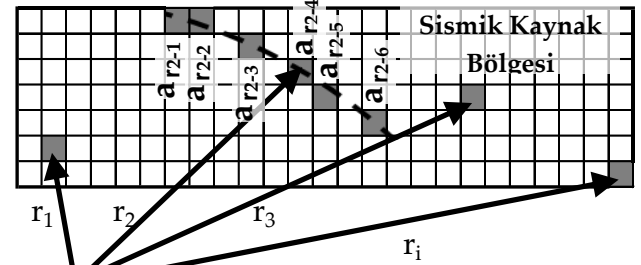
Yukarıdaki denklemlerin yardımı ile belirli bir zaman aralığı (T_g) için belirli bir magnitüd değerindeki depremlerin yıllık ortalama aşılma sayısı- $n(m)$ hesaplanabilir. Gözlem periyodu T_g yıl olan bir bölge için m magnitüdünde bir depremin T yıl içinde meydana gelme riski (olasılığı) ve dönüş (tekerrür) periyodu- $D(m)$ Tabban ve Gençoğlu (1975) [Tabban & Gençoğlu, 1975] tarafından önerilen Denklem 10 ve Denklem 11 ile hesaplanabilir.

$$P(m) = 1 - e^{-n(m)T} \quad (10)$$

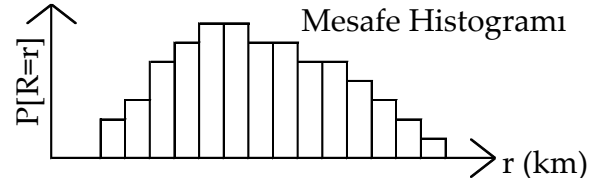
$$D(m) = \frac{1}{n(m)} \quad (11)$$

Herhangi bir sismik bölge için yukarıda tarif edildiği gibi belirlenen sismik riskler sözkonusu bölge içinde herhangi bir noktada belirli periyotlar için depremlerin meydana gelme ihtimalini yansıtmakta ve bunun bir göstergesi olmaktadır. Belirli bir noktasal sahayı (söz gelimi bir kent merkezini, bir barajı vs.) etkileyebilecek depremlerin oluşma ihtimaline ve riskine karşılık

gelmemektedir. Şöyleki belirli bir A noktası için sismik bölgenin A noktasına yakın kısımlarında meydana gelen depremler A noktasındaki yapılar için yüksek risk taşıyacaktır. Aynı sismik bölgenin içinde aynı özellikte fakat A noktasından uzak kısımlarında meydana gelecek depremler, A noktası için daha düşük risk taşıyor olacaktır. Dolayısı ile incelenen noktasal bir saha için sismik risk değerlendirmesi yapılırken depreme kaynaklık eden sismik bölgenin her noktasının incelenen sahaya olan mesafesi önem arz etmektedir. Şekil 4'de gösterildiği gibi sismik açıdan kaynak bölgenin bazı noktaları r_1 mesafesinde olurken bazı noktalarda r_2 veya r_3, \dots, r_i mesafesinde olacaktır. Şekil 4'de A noktası ile gösterilen inceleme sahasına aynı mesafede olan noktaların etkileri diğer koşullar aynı kalmak kaydı ile benzer olacak ancak farklı mesafede bulunan noktaların r_2, r_3, \dots, r_i göstereceği etkide başka olacaktır. Meydana gelecek benzer depremlerin inceleme sahası (A) üzerinde göstereceği etkileri aynı olacağı kabul edilen ve inceleme sahasına aynı mesafede olan küçük sahaların toplam alanının tüm kaynak sahası alanına oranlanması ve normalize edilmesi ile kaynak - saha mesafe histogramları elde edilir (Şekil 4).



(A) Sismik risk değerlendirme yapılan saha



Şekil 4. İnceleme sahası için sismik kaynak bölgesinin mesafe histogramının gösterimi.

Bu çalışmada, Şekil 3'de gösterilen ve Manisa il merkezini (Enlem:36.614135° Kuzey, Boylam:27.43099° Doğu) etkileyebilecek mesafede olan (Manisa il merkezine 100 km ve daha yakın noktaları bulunan) sismik kaynak zonlarını içine alan 37.36° Kuzey - 40.00° Kuzey enlemleri ile 26.00° doğu - 30.54 Doğu boylamlarının sınırlandırdığı saha, enlem ve boylam

(düşey ve yatay) düzlemlerinde 400 grit geçirilerek planda 16000 adet küçük parçaya (alana) ayrılmıştır. Daha sonra Manisa il merkezine 0 km – 100 km aralığındaki mesafeler için 5 km artımlar ile her sismik kaynağın, kaynak – saha mesafesi olasılık dağılımları Denklem 12 ile hesaplanarak normalize edilmiş histogramları elde edilmiştir.

$$P_n[R = r_i] = \frac{1}{A_n} \sum_{j=1}^k a_{r_{i-j}} \quad (12)$$

n: Sismik bölge (kaynak) no

r_i : Kaynak sahasına olan mesafe

k: n inci sismik bölge içinde ve kaynak sahasına r_i mesafesinde olan küçük alanların sayısı

$a_{r_{i-j}}$: n inci sismik bölge içinde yer alan ve kaynak sahasına r_i mesafesinde olan j ninci küçük alan

A_n : n inci sismik bölgenin toplam alanı

5 Hesap ve Analiz Sonuçları

Çalışmada Denklem 3 verilen en küçük kareler yöntemi uygulanarak Manisa il merkezini etkileyebilecek mesafede olan sismik bölgeler (Şekil 3) için Denklem 2 ile verilen ilişki katsayıları a ve b hesaplanmıştır. a ve b katsayılarının hesaplanmasında dikkate alınan depremlerin magnitüd büyüklükleri, eklenik deprem sayıları ile gözlem periyot süreleri yukarıda Tablo 4 ile verilmiştir. Manisa il merkezine yakın sismik bölgeler için hesaplanan a ve b katsayıları Tablo 5 ile verilmektedir. Sismik bölgelerin maksimum deprem magnitüdü için, her sismik bölgede gözlem periyotları içinde meydana gelmiş en büyük depremin magnitüdü dikkate alınmıştır (Tablo 5). Deprem risk değerleri her sismik bölge için 1, 10, 20, 40 50, 60, 70, 80, 90, 100 yıllık periyotlara karşılık Tablo 6’da gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Ayrıca sismik bölgelerin magnitüd – frekans ilişkileri, belirli periyotlar için magnitüd – aşılma olasılıkları, magnitüd – tekerrür periyotları ve magnitüd – yıllık aşılma olasılıkları Şekil 5 ile verilmektedir.

Sınırları Manisa il merkezine 100 km ve daha yakın mesafede olan ve Manisa il merkezi için risk oluşturabilecek sismik bölgelerin, Manisa il merkezine göre hesaplanmış histogramları Şekil 6 ve bölgelerin alan – mesafe dağılımları Tablo 7 ile verilmiştir. Manisa

merkezi - mesafe histogramları 5 km artımlar ile oluşturulmuştur.

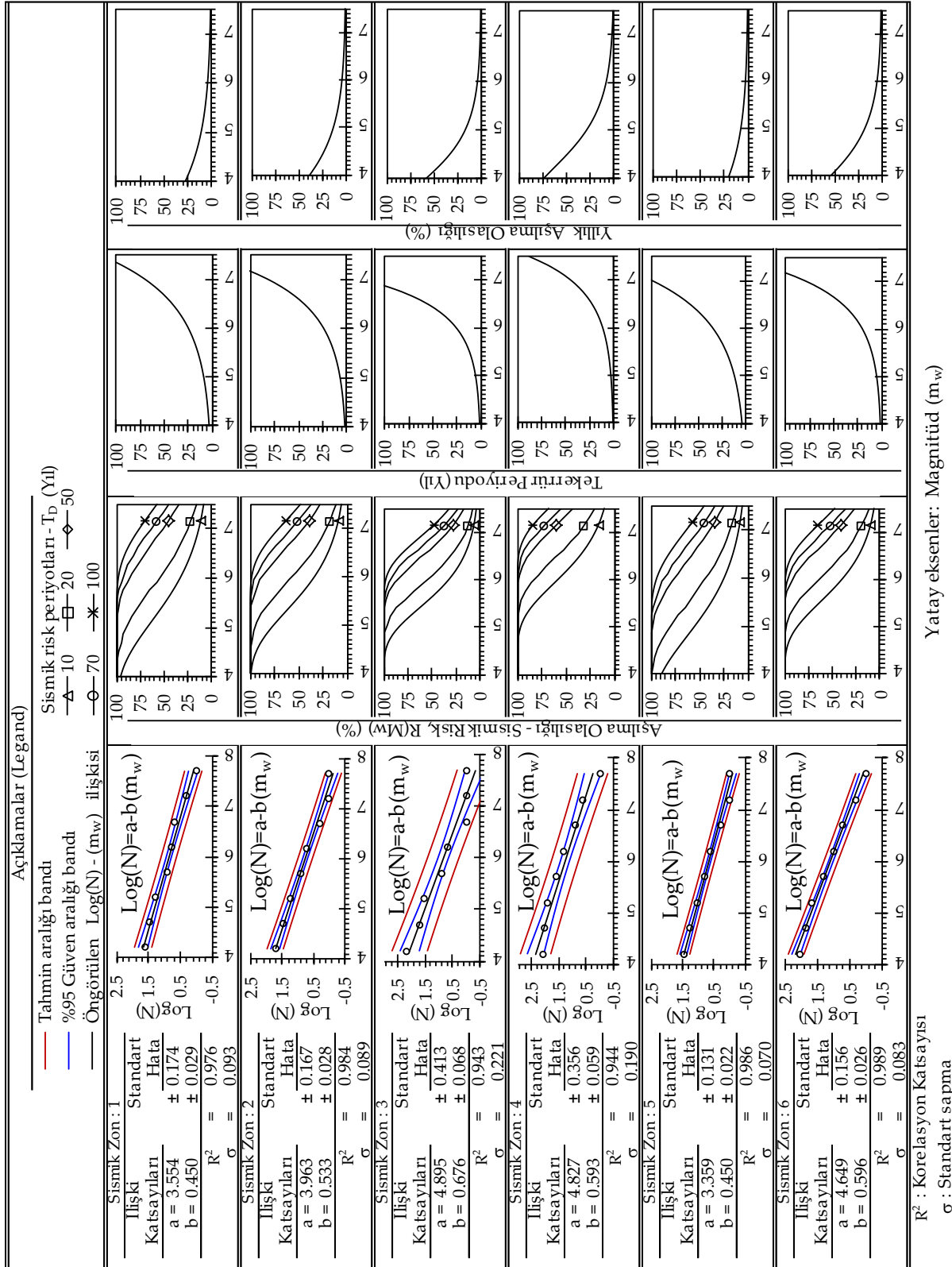
Tablo 5. Sismik bölgeler için gözlem periyotları (T_g), Maksimum magnitüd değerleri (M_{w-max}), ilişki katsayılarının belirlenmesinde kullanılan toplam deprem sayısı ve ilişki katsayıları (a ve b).

Sismik bölge no	m_{w-max}	Toplam deprem sayısı	Log(N)=a-b(mw)	
			a ±(hata)	b ±(hata)
(1)	7.2	39	3.55 ±0.17	0.45 ±0.03
(2)	6.9	52	3.96 ±0.17	0.53 ±0.03
(3)	7.1	148	4.9 ±0.41	0.68 ±0.07
(4)	7.2	118	4.83 ±0.36	0.59 ±0.06
(5)	6.9	29	3.36 ±0.13	0.45 ±0.02
(6)	7.2	105	4.65 ±0.16	0.6 ±0.03

6 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada Manisa il merkezi için risk teşkil edebilecek bölgelerin sismik risk değerlendirmesi yapılmıştır. Sismik risk değerlendirmesi yapılırken sismisite açısından benzer karakteristik ve özellikler gösteren bölgeler kendi içinde ayrı değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Sismik bölgeler için magnitüd – frekans ilişkileri Guttenberg–Richter yöntemine göre oluşturulmuş ve ilişkiler kurulurken depremlerin moment magnitüdü (büyüklüğü) dikkate alınmıştır.

Analizler neticesinde Manisa il merkezi için risk teşkil edebilecek yakın mesafedeki sismik bölgelerin magnitüd – frekans ilişkileri, sismik risk değerleri ve tekerrür periyotları belirlenmiştir. Magnitüd – frekans ilişkileri sismik bölgeler için farklı deprem dataları ($m_w \geq 4$) kullanılarak ayrı ayrı belirlenmiştir. Her sismik bölgenin sismik risk değerlendirmesi 10’ar yıllık artımlar ile gelecekteki 100 yıllık periyot ve moment büyüklüğü (m_w) 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5 olan depremler için hesaplanmıştır. Bölgelerin risk değerlendirmelerinde ve tekerrür periyotlarının hesaplanmasında her sismik bölgenin kendi a ve b değerleri kullanılmıştır.



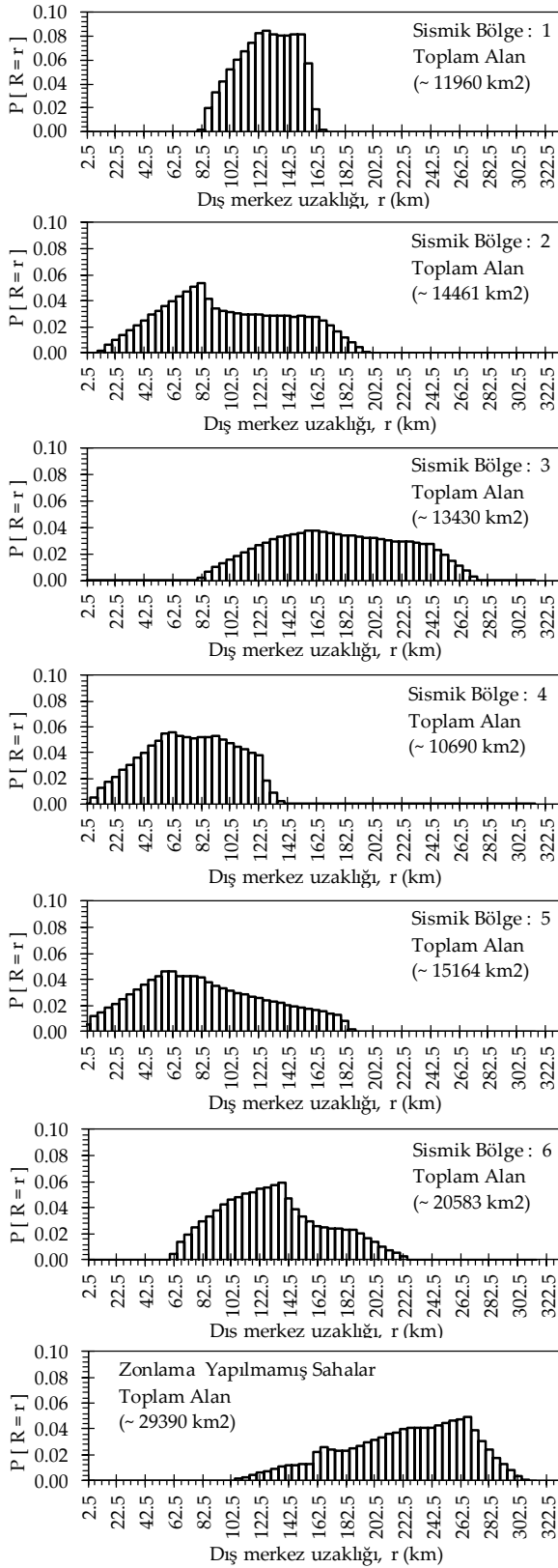
Şekil 5. Sismik bölgelerin magnitüd – frekans ilişkileri, ilişki katsayıları (a ve b) ve hata değerleri, 10, 20, 50, 70, 100 yıl için magnitüd – aşılma olasılıkları, magnitüd – tekerrür periyotları ve magnitüd – yıllık aşılma olasılıkları

Table 6. Manisa il merkezini etkileyebilecek sismik bölgeler için belirlenen tekrerrür periyotları (T_r) ve sismik risk değerleri, $R(M_w)$.

	m_w	T_r (Yıl)	Sismik Risk Periyotları - T_D (Yıl)											
			1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
			Sismik Risk $R(m_w)$ %											
Sismik Zon : 1	5.0	9.3	10.7	67.9	89.7	96.7	98.9	99.7	99.9	100	100	100	100	
	5.5	15.3	6.5	49.2	74.2	86.9	93.3	96.6	98.3	99.1	99.6	99.8	99.9	
	6.0	25.3	4.0	33.2	55.4	70.2	80.1	86.7	91.1	94.1	96.0	97.3	98.2	
	6.5	42.1	2.4	21.4	38.2	51.4	61.8	69.9	76.3	81.4	85.4	88.5	91.0	
	7.0	70.3	1.4	13.3	24.9	34.9	43.6	51.1	57.6	63.3	68.2	72.4	76.1	
	7.5	117.7	0.8	8.2	15.7	22.6	28.9	34.7	40.1	45.0	49.5	53.6	57.4	
Sismik Zon : 2	5.0	7.6	13.2	75.8	94.1	98.6	99.7	99.9	100	100	100	100	100	
	5.5	13.5	7.4	53.6	78.4	90.0	95.3	97.8	99.0	99.5	99.8	99.9	100	
	6.0	24.6	4.1	34.0	56.4	71.2	81.0	87.5	91.7	94.5	96.4	97.6	98.4	
	6.5	45.0	2.2	20.1	36.2	49.0	59.3	67.5	74.0	79.3	83.4	86.8	89.4	
	7.0	82.7	1.2	11.5	21.6	30.6	38.5	45.6	51.8	57.3	62.2	66.5	70.4	
	7.5	152.3	0.7	6.4	12.3	17.9	23.2	28.1	32.6	36.9	41.0	44.7	48.2	
Sismik Zon : 3	5.0	5.9	17.0	84.5	97.6	99.6	99.9	100	100	100	100	100	100	
	5.5	12.2	8.2	57.5	82.0	92.3	96.7	98.6	99.4	99.8	99.9	100	100	
	6.0	25.9	3.9	32.5	54.4	69.3	79.3	86.0	90.5	93.6	95.7	97.1	98.0	
	6.5	55.9	1.8	16.5	30.3	41.8	51.4	59.5	66.2	71.7	76.4	80.3	83.6	
	7.0	121.1	0.8	8.0	15.3	22.0	28.2	33.9	39.2	44.0	48.5	52.6	56.4	
	7.5	263.1	0.4	3.7	7.3	10.8	14.1	17.3	20.4	23.4	26.3	29.0	31.7	
Sismik Zon : 4	5.0	3.4	29.2	96.8	99.9	100	100	100	100	100	100	100	100	
	5.5	6.2	16.0	82.5	96.9	99.5	99.9	100	100	100	100	100	100	
	6.0	11.9	8.4	58.6	82.8	92.9	97.1	98.8	99.5	99.8	99.9	100	100	
	6.5	23.0	4.4	35.9	59.0	73.7	83.2	89.2	93.1	95.6	97.2	98.2	98.8	
	7.0	44.9	2.2	20.2	36.2	49.1	59.4	67.5	74.1	79.3	83.5	86.8	89.5	
	7.5	88.4	1.1	10.8	20.3	28.9	36.6	43.4	49.5	54.9	59.7	64.1	67.9	
Sismik Zon : 5	5.0	13.0	7.7	55.0	79.7	90.9	95.9	98.1	99.2	99.6	99.8	99.9	100	
	5.5	21.6	4.6	37.8	61.3	75.9	85.0	90.7	94.2	96.4	97.8	98.6	99.1	
	6.0	35.9	2.8	24.6	43.2	57.2	67.7	75.7	81.7	86.2	89.6	92.2	94.1	
	6.5	59.9	1.7	15.5	28.6	39.7	49.0	56.9	63.6	69.2	74.0	78.0	81.4	
	7.0	100.2	1.0	9.5	18.2	26.0	33.0	39.4	45.2	50.4	55.2	59.5	63.3	
	7.5	167.9	0.6	5.8	11.3	16.4	21.3	25.8	30.1	34.2	38.0	41.6	45.0	
Sismik Zon : 6	5.0	5.5	18.0	86.3	98.1	99.7	100	100	100	100	100	100	100	
	5.5	10.5	9.5	63.3	86.5	95.0	98.2	99.3	99.8	99.9	100	100	100	
	6.0	20.3	4.9	39.6	63.5	78.0	86.7	92.0	95.2	97.1	98.2	98.9	99.4	
	6.5	39.9	2.5	22.4	39.8	53.3	63.8	71.9	78.2	83.1	86.9	89.8	92.1	
	7.0	78.7	1.3	12.0	22.6	31.9	40.0	47.2	53.6	59.1	64.1	68.4	72.2	
	7.5	155.8	0.6	6.2	12.1	17.6	22.7	27.5	32.0	36.3	40.3	44.0	47.5	

Tablo 7. Manisa il merkezi için deprem riski arz eden sismik bölge alanlarının oransal olarak mesafe (Manisa il merkezine) dağılımları.

Mesafe Aralığı (km)	r_{ort} (km)	Manisa il merkezi için deprem riski arz eden sismik bölgeler						Diğer bölgeler
		1	2	3	4	5	6	
		P[R=r] (%)						
0-5	2.5	-	-	-	-	0.52	-	-
5-10	7.5	-	-	-	0.54	1.18	-	-
10-15	12.5	-	0.20	-	1.23	1.50	-	-
15-20	17.5	-	0.66	-	1.72	1.82	-	-
20-25	22.5	-	1.03	-	2.14	2.15	-	-
25-30	27.5	-	1.42	-	2.64	2.53	-	-
30-35	32.5	-	1.77	-	3.07	2.84	-	-
35-40	37.5	-	2.13	-	3.58	3.22	-	-
40-45	42.5	-	2.49	-	3.96	3.58	-	-
45-50	47.5	-	2.91	-	4.52	3.94	-	-
50-55	52.5	-	3.24	-	4.90	4.29	-	-
55-60	57.5	-	3.61	-	5.46	4.65	-	-
60-65	62.5	-	3.96	-	5.61	4.58	0.45	-
65-70	67.5	-	4.32	-	5.31	4.25	1.37	-
70-75	72.5	-	4.72	-	5.20	4.24	1.96	-
75-80	77.5	-	5.07	-	5.14	4.22	2.48	-
80-85	82.5	0.10	5.35	0.18	5.19	4.16	2.92	-
85-90	87.5	1.93	4.19	0.64	5.23	3.81	3.36	-
90-95	92.5	3.27	3.43	0.99	5.25	3.52	3.78	-
95-100	97.5	4.24	3.22	1.33	5.05	3.31	4.22	-
100-105	102.5	5.20	3.12	1.61	4.74	3.17	4.66	0.00
105-110	107.5	5.98	3.01	1.89	4.48	2.98	4.84	0.13
110-115	112.5	6.78	3.00	2.13	4.24	2.83	5.05	0.29
115-120	117.5	7.45	2.94	2.43	4.01	2.69	5.14	0.46
120-125	122.5	8.26	2.93	2.65	3.80	2.55	5.41	0.61
125-130	127.5	8.41	2.87	2.90	1.82	2.43	5.53	0.76
130-135	132.5	8.14	2.85	3.16	0.91	2.31	5.75	0.92
135-140	137.5	8.08	2.84	3.29	0.24	2.20	5.89	1.09
140-145	142.5	8.08	2.84	3.37	-	2.06	4.70	1.18
145-150	147.5	8.14	2.79	3.52	-	1.97	3.93	1.18
150-155	152.5	8.15	2.82	3.62	-	1.85	3.35	1.24
155-160	157.5	5.75	2.76	3.75	-	1.74	2.95	1.25
160-165	162.5	1.90	2.74	3.76	-	1.62	2.59	2.25
165-170	167.5	0.12	2.46	3.69	-	1.53	2.50	2.63
170-175	172.5	-	2.09	3.60	-	1.42	2.42	2.40
175-180	177.5	-	1.64	3.51	-	1.30	2.39	2.26
180-185	182.5	-	1.21	3.44	-	0.84	2.34	2.30
185-190	187.5	-	0.83	3.37	-	0.19	2.31	2.48
190-195	192.5	-	0.45	3.30	-	-	2.03	2.69
195-200	197.5	-	0.10	3.24	-	-	1.69	2.95
200-205	202.5	-	-	3.19	-	-	1.35	3.18
205-210	207.5	-	-	3.10	-	-	1.06	3.38
210-215	212.5	-	-	3.07	-	-	0.78	3.58
215-220	217.5	-	-	2.99	-	-	0.52	3.74
220-225	222.5	-	-	2.96	-	-	0.25	3.96
225-230	227.5	-	-	2.92	-	-	0.03	4.10
230-235	232.5	-	-	2.85	-	-	-	4.10
235-240	237.5	-	-	2.80	-	-	-	4.11
240-245	242.5	-	-	2.74	-	-	-	4.12
245-250	247.5	-	-	2.35	-	-	-	4.25
250-255	252.5	-	-	1.93	-	-	-	4.46
255-260	257.5	-	-	1.50	-	-	-	4.62
260-265	262.5	-	-	1.10	-	-	-	4.78
265-270	267.5	-	-	0.74	-	-	-	4.96
270-275	272.5	-	-	0.35	-	-	-	3.86
275-280	277.5	-	-	0.04	-	-	-	3.02
280-285	282.5	-	-	-	-	-	-	2.37
285-290	287.5	-	-	-	-	-	-	1.78
290-295	292.5	-	-	-	-	-	-	1.30
295-300	297.5	-	-	-	-	-	-	0.82
300-305	302.5	-	-	-	-	-	-	0.38
305-310	307.5	-	-	-	-	-	-	0.05



Şekil 6. Manisa il merkezi için deprem riski oluşturabilecek sismik bölgelerin, normalize edilmiş kaynak – saha mesafe histogramları.

Bu çalışmada Manisa il merkezini etkileyebilecek yakın mesafedeki sismik bölgelerin b katsayıları 0.45 ile 0.68 arasında değiştiği hesaplanmıştır. b değerinin buradaki gibi nispeten büyük değerlerde olması yüksek sismik aktiviteyi işaret etmektedir. Gelecekteki 100 yıllık periyot ve $m_w \geq 7.0$ için Manisa il merkezi civarındaki sismik bölgelerin en düşük ve en yüksek sismik risk değerleri %52.6 ve %86.8 olarak 3. ve 4. sismik bölgeler için hesaplanmıştır.

Her sismik bölgenin Manisa il merkezi için mesafe histogramları oluşturulmuştur. Mesafe histogramları incelendiğinde 2, 4 ve 5 nolu sismik bölgelerin mesafe dağılımlarının Manisa il merkezine oldukça yakın bir dağılım gösterdiği görülebilir. 1, 3 ve 6 nolu bölgelerin histogramları incelendiğinde ise bu bölgelerde meydana gelebilecek depremlerin Manisa il merkezine 50 km mesafeden daha uzak noktalarda meydana geleceği görülebilmektedir. Sismik bölgelerin Manisa il merkezine göre mesafe dağılımlarından dolayı 2, 4 ve 5 nolu sismik bölgelerde meydana gelecek depremlerin Manisa il merkezini etkileme potansiyeli diğer bölgelere nazaran daha yüksektir. Buna karşın 1, 3 ve 6 nolu bölgelerde oluşacak depremlerin Manisa il merkezini etkileme potansiyelleri ise nispeten düşüktür. 2, 4 ve 5 nolu bölgelerde meydana gelebilecek küçük depremler Manisa il merkezi üzerinde etkili olabilecekken, 1, 3 ve 6 nolu bölgelerde meydana gelecek büyük depremlerin Manisa il merkezini etkileme potansiyeli vardır.

Bir depremin bir saha üzerindeki etkisi inceleme sahasında oluşturacağı yüzey ivmeleri ile orantılıdır. Bir sahada oluşacak ve yapıları etkileyebilecek yüzey ivmeleri depremin magnitudüne, depremin odak noktasının inceleme sahasına olan mesafesine, bölgenin jeolojik ve tektonik özellikleri ile yerel zemin koşullarına bağlıdır. Bu çalışmada yakın civarda bulunan sismik kaynaklarda meydana gelebilecek depremler neticesinde Manisa il merkezinde oluşacak yüzey ivmeleri için sismik tehlike eğrilerinin hesap ve tahminlerine yönelik olarak magnitud – frekans ilişkileri ve mesafe histogramları belirlenmiştir. Manisa il merkezinde yerel zemin özelliklerinin mevcut olduğu noktalar için bu çalışmada verilen magnitud – frekans ilişkileri ve mesafe histogramları ile zemin yüzeyinde oluşacak ivmelere yönelik gerçekçi sismik tehlike eğrileri oluşturulabilir.

Yapılan bu çalışma ile Manisa il merkezi yakın civarında sismik aktivitesi yüksek bölgelerin yer aldığı ve il merkezinin deprem açısından risk taşıdığı gösterilmiştir. Manisa il merkezinde mevcut yapıların analizlerinde veya yeni yapıların tasarımlarında mühendislerin veya araştırmacıların daha somut ve doğrudan hesaplarda kullanabilecekleri yüzey ivme değerlerine yönelik olarak sismik tehlike eğrilerinin Manisa il merkezi için mikro ölçekteki sahalar için oluşturulması gerekmektedir. Dolayısı ile Manisa il merkezi yerel zemin özelliklerinin belirlenmesine yönelik detaylı çalışmalara ihtiyaç vardır. Manisa il merkezi zemin özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmaların zaman geçirilmeden yapılması tavsiye edilir. Ayrıca yeterli veri olmadan ulaşılabilecek sonuçlar spekülasyona ve yanılsamaya neden olacağından yeterli veri olmadan, depremler neticesinde Manisa il merkezinde oluşabilecek yüzey ivmeleri hakkında kesin yargılarda bulunulmaması tavsiye edilir.

Avrasya levhasının birçok bölgesinde olduğu gibi Manisa ve yakın civarında da gelecekte büyük bir deprem olma ihtimali yüksek olup bu bölgede yaşayan insanlar büyük bir deprem ile bir gün yüzyüze gelecektir. Öngörülen bu durum meydana geldiğinde can ve mal kayıplarını minimize edebilmek için burada sunulan çalışmaya benzer ve daha ileri düzey çalışmaların yapılması gerekmektedir. Ayrıca deprem tahminlerine dayanan çalışmaların yeni deprem dataları ile sürekli yenilenerek güncel tutulması ve ulaşılan sonuçların literatürde de güncellenmesi sağlanmalıdır.

7 Referanslar

Algermissen, S.T., Perkins, D.M., Thenhaus, P.C., Hanson, S.L., Bender, B.L. (1982). Probabilistic estimates of maximum acceleration and velocity in rock in the contiguous United States. Y.: Assesment of the seismic risk of western Anatolia by Semi-Markow model. *Geophysics. Open-file report 82-1033, U.S. Geological Survey, Washington, U.S.*, 99s.

Alsan, E, Tezuçan, L., & Bath, M. (1975). An earthquake catalogue for Turkey for the interval 1913–1970. *Report Kandilli Observatory, Istanbul and Uppsala Univ, Sweden.*

Altınok, Y. (1991). Assesment of the seismic risk of western Anatolia by Semi-Markow model. *Geophysics*, 5, 135-140.

Ambraseys, N.N. (2001). Reassessment of earthquakes, 1900–1999, in the eastern Mediterranean and themiddle east. *Geophys J Intern.* 145,471–485.

Ambraseys, N.N., & Finkel. C.F. (1995). The seismicity of Turkey and adjacent areas, a historical review, 1500–1800. *Eren Press, Istanbul.*

Ambraseys, N.N., & Jacson, J.A. (1981). Earthquake hazard and vulnerability in the northeastern Mediterranean: the Corinth earthquake sequence of February–March 1981. *Disaster.* 5, 355–368.

Ayhan, E., Alsan, E., & Sancaklı, N. (1987). An earthquake catalogue of Turkey and surrounding area (1881–1980). *Boğaziçi Univ., Istanbul.*

Bağcı, G. (1996). Earthquake occurrences in western Anatolia by Markov model. *Geophysics*, 10, 67-75.

Barka, A., & Reilinger, R. (1997) Active tectonics of the eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic, and seismicity data, *Annali Geofisica.* 40, 587–610.

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araş. Ens., 2016; <http://udim.koeri.boun.edu.tr/zeqdb/s>

Bozkurt, E., & Sözbilir, H. (2004). Tectonic evolution of the Gediz graben: field evidence for an episodic, two-stage extension in western Turkey. *Geological Magazine.* 141, 63–79.

Caputo, M. (1974). Analysis of seismic risk. *Engineering Seismology and Earthquake Engineering: NATO Advanced Study Institutes Series, Series E: Applied Sciences*, 3, 55-86.

Cluff, L.S., Patardhan, A.S., Coppersmith, K.J. (1980). Estimating the probability of occurrences of surface faulting earthquakes on the wasatch fault zone. *Bulletion of Seismological Society of America.* 70(5), 1463-1478.

Coppersmith K.J. (1981). Probabilities of earthquake occurences on the San Andreas fault based on geologic risk. *EOS.* 62(17), p. 322.

Cornell, C.A. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bulletion of Seismological Society of America.* 58, 1583-1606.

Cornell, C.A., Winterstein, S.R. (1986). Applicability of the Poisson earthquake-occurrence model in Seismic Hazard Methodology / or the Central and Eastern United States. *EPRI Research Report NP-4726*, Electric Power Research Institute, Palo Alto, Clifornia, U.S.

Dewey, J.F., & Şengör, A.M.C. (1979). Aegean and surrounding regions: Complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin.* 90(1), 84-92.

Dewey, J.W. (1976). Seismicity of northern Anatolia. *Bull Seismol Soc Am.* 66, 843–868.

Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., ve Şaroğlu, F. 1/1.125.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi.*, Ankara, Türkiye.

- Emre, Ö., Ere, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., ve Yıldırım, C. (2005) İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri. *Ankara: MTA Raporu no:10754*.
- Ergin, K, & Güçlü U.Z. (1967). An earthquake catalogue of Turkey and surrounding area (A.D. from 11 years to ends of 1964). *Istanbul Tech Univ Faculty of Mining* 24. İstanbul, Türkiye, 1967.
- Firuzan, E. (2008). Statistical Earthquake Analysis for Western Anatolia. *Turkish J. Earth Sci*, 17, 741-462.
- Gutenberg, B., & Richter, C. F. (1956). Magnitude and Energy of Earthquakes. *Annals of Geophysics*. 9(1), 1-15.
- Gündoğdu, O., & Altınok, Y. (1986). Earthquake data set of Turkey and surrounding area, 1900–1986. *Istanbul Univ Engineering Faculty, Department of Geophysics*, İstanbul.
- International Seismological Centre. 2016; <http://www.isc.ac.uk/ehbulletin/search/catalogue/>
- International Seismological Summary, 2016; http://earthquake.usgs.gov/data/iss_summ.php
- Işıkara, A. M. (1984). İstanbul için deprem olma olasılığının Weibull dağılımından yararlanarak elde edilmesi. *Deprem Araştırma Bülteni*. 46, 5-13.
- Jackson, J., & McKenzie, D. (1988). The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East 1988. *Geophysical Journal*. 93, 45-73.
- Karakostas, V., Papadimitriou, E., ve Pabuçcu, Z. A. (2013). Homogeneous Earthquake Catalog for Western Turkey and Magnitude of Completeness Determination. *Bulletin of the Seismological Society of America*.103(5), 2739-2751.
- Karnik, V. (1968). *Seismicity of the European area, Part I*, Academic Praha, Publishing House of the Czechoslovak Academy of Sciences.
- Kenar Ö.; Osmanşahin, I.; Özer, M.F.; Seismicity and tectonics of eastern Anatolia. *Bull IIEE*. 1996; 30, 59–76.
- Ketin, İ. (1977). Genel Jeoloji. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Yayınları*, İstanbul. 597s.
- Kiratzi, A.A., & Louvari, E.K. (2001). On the Active Tectonics of the Aegean Sea and the surrounding lands: in *Proceedings of Symposia on Seismotectonics of the North-Western Anatolia-Aegean and Recent Turkish Earthquakes*. pp. 88–95, İstanbul Technical University, Turkey.
- Lai, C. D. (1977). A two-dimensional 'immigration-branching' model with application to earthquake occurrence times and energies. *Journal of Applied Probability*. 14, 464-474.
- Le Bureau Central Sismologique Français, 2016; <http://www.franceseisme.fr/>
- McKenzie, D.P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys J R Astr Soc*. 30, 109–185.
- Mckenzie, D.P. (1978). Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea ve surrounding regions. *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society* 55, 217–254.
- Miyamura, S. (1962). Magnitude-frequency relations and its bearing to geotectonics. *Proc Jpn Ac*. 38, 27–30.
- Mogi, K. (1967). Earthquakes and Fractures. *Tectonophysics*. 5, 35-55.
- Mori, J., Abercrombie, R.E. (1987). Depth Dependence of Earthquake Frequency-Magnitude Distributions in California. *J. Geophys. Res*. 102, 15081-15090.
- National Observatory of Athens. 2016; <http://www.gein.noa.gr/en/>
- Nishioka, T., Shah, H.C. (1980). Application of Markov chain on probability of earthquake occurrences. *Proceeding of the Japanese society of Civil Engineering*. 1, 137-145.
- Nur, A. (1978). Ben-Avraham, Z.; The Eastern Mediterranean and the levant: *Tectonics of continental collision*. *Tectonophysics*. 3(4), 297-311.
- Osmanşahin, İ., Ekşi, F., & Alptekin, O. (1986). Seismicity and active tectonics of eastern Anatolia. *Bull Earthq Res Inst of Turkey*. 52, 5–41.
- Öcal, N. (1968). *Seismicity and earthquake geography of Turkey (An earthquake catalogue of Turkey for the interval 1950–1960)*. İstanbul Unv, Kandilli Observatory, İstanbul.
- Papazachos, B.C., & Comminakis, P.E. (1982). A catalogue of earthquake in Greece and surrounding area for the period 1901–1980. *Unv of Thessaloniki, Geophys Lab5*, Greece.
- Patwardhan, A.S, Kulkarni, R.B., ve Tocher, D. A. (1980). Semi-Markov model for characterizing recurrence of great earthquakes. *Bulletin of Seismological Society of America*. 70(1), 323-347.
- Pinar, N, & Lahn, E. (1952). An earthquake catalogue of Turkey. *Ministry of Public Working and Settlement, Department of Construction*, 96.
- Reilinger, R.E., McClusky, S.C., & Oral, M. B. GPS measurements of present day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone. *Journal of Geophysical Research*. 102, 9983–9999.
- Rikitake, T. (1975). Statistics of ultimate strain of the earth's crust and probability of earthquake occurrence. *Tectonophysics*. 26,1–21.
- Rotstein, Y., & Kafka, A.L. (1982). Seismotectonics of the southern boundary of Anatolia, Eastern Mediterranean region: subduction, collision, and arc jumping. *Journal of geophysical research*, 87(B9), 7694-7706.

- Sayıl, N. Osmañahin, İ. (2008). An investigation of seismicity for western Anatolia. *Nat Hazards* 44, 51-64.
- Scholz, C.H. (1968). The Frequency-Magnitude Relation of Microfracturing In Rock And Its Relation To Earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 58, 399-415.
- Shah H.C., Movassate, M. Seismic risk analysis of California state water project. *Proc of 5th European Conf on Earthq Eng. 2*, İstanbul, Türkiye, 22-25 Sept. 1975, Chap. 10/156.
- Shlien, S., Toksöz, M.N. (1970). A clustering model for earthquake occurrences. *Bulletin of Seismological Society of America.* 60, 1765-1787.
- Soysal, H., Sipahiođlu, S., & Kolçak, D. (1981). *Historical earthquake catalogue of Türkiye and its surrounding*. Tübitak, TBAG 341, Ankara.
- Sözbilir, H., Sümer, Ö., Uzel, B., Ersoy, Y., Erkül, F. İnci, U. Helvacı, C., ve Özkaymak, Ç. (2005). 17-20 Ekim 2005-Sığacak Körfezi (İzmir) depremlerinin sismik jeomorfolojisi ve bölgedeki gerilme alanları ile ilişkisi. *Batı Anadolu.Türkiye Jeoloji Bülteni.* 52(2), 217-238.
- Stucchi, M., Rovida, A., Capera, A.A.G, (2013). Alexandra, P., Camelbeeck, T., Demircioglu, M.B., Gasperini, P; Kouskouna, V., Musson, R.M.W., Radulian, M., Sesetyan, K., Vilanova, S., Baumont, D., Bungum, H., Fäh, D., Lenhardt, W., Zivcic, M., Papaioannou, C., Tatevossian, R., Viganò, D., & Giardini D., The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) 1000–1899. *Journal of Seismology.* 17(2), 523-544.
- Şengör, A.M.C. (1979). The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *Jl geol. Soc. Lond.* 136, 269-282.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., & Şaroğlu F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, In: K. Biddle, N. Christie-Blick (eds), *Strike-slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publications.* 37, 227–264.
- T.C. BAADYB Deprem Dairesi Başkanlığı. 2016; <http://kyh.deprem.gov.tr/>
- Tabban, A., & Gençoğlu, S. (1975). Earthquake and its parameters. *Bull Earthq Res Inst of Turkey*, 11, 7–83.
- The European-Mediterranean Seismological Centre. 2016; <http://www.emsc-csem.org/#2>
- United States Geological Survey's. 2016; <https://www.usgs.gov/>
- Urbancic, T.I., Trifu, C.I., Long, J.M. (2002). Space-time correlations of b value with stress changes associated with the 1999 November 12, Düzce (Turkey) Earthquake (Mw = 7.1). *Geophys J Intern.* 153, 229–241.
- Vagliente, V.H. (1973). Forecasting risk inherent in earthquake-resistant design. *Technical Report 174, Department of Civil Engineering, Stanford Univ., Stanford, California, U.S.*
- Veneziano, D., Cornell, C.A. (1974). Earthquake models with spatial and temporal memoray for engineering seismic risk analysis, *Research Report R74-78, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, U.S.*
- Vera-Jones, D.A. (1966). A Markov model for aftershock occurrence. *Pure and Applied Geophysics.* 64, 31-42.
- Vera-Jones, D.A., Davies, R.B. (1966). Statistical survey of earthquakes in the main seismic region of New Zealand, Part 2: Time series analysis. *New Zeland Journal of Geology and Geophysics.* 9, 251 – 284.
- Weeks, J., Lockner, D., & Byerlee, J. (1978). Change in b-values during movement on cut surfaces in granite. *Bull Seismol Soc Am.* 68, 333–341.
- Westaway, R. (1990). Present-day Kinematics of the Plate Boundary Zone between Africa and Europe, from the Azores to the Aegean. *Earth Planet Sci Lett.* 96:393–406.
- Wiemer, S., & Katsumata, K. (1999). Spatial variability of seismicity parameters in aftershock zones. *J Geophys Res.* 104, 13135–13151.
- Yüceman, M.S. Olasılıksal sismik tehlike analizi: genel bakış ve istatistiksel modellemede dikkat edilmesi gerekli hususlar, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Ankara, Türkiye, 11-14 Ekim 2011.