



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 16.08.2022
Kabul Tarihi : 01.11.2022

Received Date : 16.08.2022
Accepted Date : 01.11.2022

ALETSEL DEPREM KATALOĞU VERİLERİ İLE BUCAK (BURDUR) VE ÇEVRESİNİN SİSMİK TEHLİKE PARAMETRELERİNİN TAHMİNİ

ESTIMATING SEISMIC HAZARD PARAMETERS OF BUCAK (BURDUR) AND ITS SURROUNDINGS VIA INSTRUMENTAL EARTHQUAKE CATALOG DATA

Fatih UÇAR¹ (ORCID: 0000-0003-1610-5731)

¹ Akdeniz Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Fatih UÇAR, fatihucar@akdeniz.edu.tr

ÖZET

Sismik tehlike analizleri, gelecekteki depremleri tahmin etmek ve depremlerin olası yıkıcı etkilerinin azaltılabilmesi için yapılan çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Bu çalışma, Antalya, Burdur, Isparta, Denizli, Afyon, Uşak, Muğla illerini içermekte ve çalışma sınırları Kütahya ve Manisa, Aydın ve Ege Denizi, Konya ve Akdeniz ile belirlenmektedir. Yeni Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre çalışma için belirlenen deprem bölgelerinin PGA değerleri 0,2 g'nin üzerinde olup ortalama 0,32 g'dir. Çalışma alanı Bucak (Burdur) merkezli 220 km yarıçaplı bir daire ile sınırlanmıştır. Çalışma alanı depremlerin yoğunluğuna ve bölgelerin sismotektonik yapısına göre beş sismik bölgeye ayrılmıştır. Büyüklük tekrarlama parametreleri Gutenberg-Richter ilişkisine dayalı olarak analiz edilmiştir. Tekrarlama parametreleri olan a ve b sırasıyla 2,92 – 4,12 ve 0,86 – 0,99 aralığında değişmektedir. Çalışma alanı için büyüklüğü 5.5'ten fazla olan bir depremin gelecek 50 yılda olma olasılığı ortalama %83,79 olarak ve büyüklüğü 7.0'dan fazla olan bir depremin gelecek 100 yılda olma olasılığı ise ortalama %17,18 olarak tespit edilmiştir. Deprem tehlikesinin yüksek olduğu görülen bu bölgede, mühendislik yapılarının yer seçimi sürecinde sismik tehlike analizlerinin yanı sıra yerel zemin koşullarının da (kaya / toprak) dikkate alınması önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Deprem kataloğu, depremsellik, tehlike, sismik parametreler, Güneybatı Türkiye

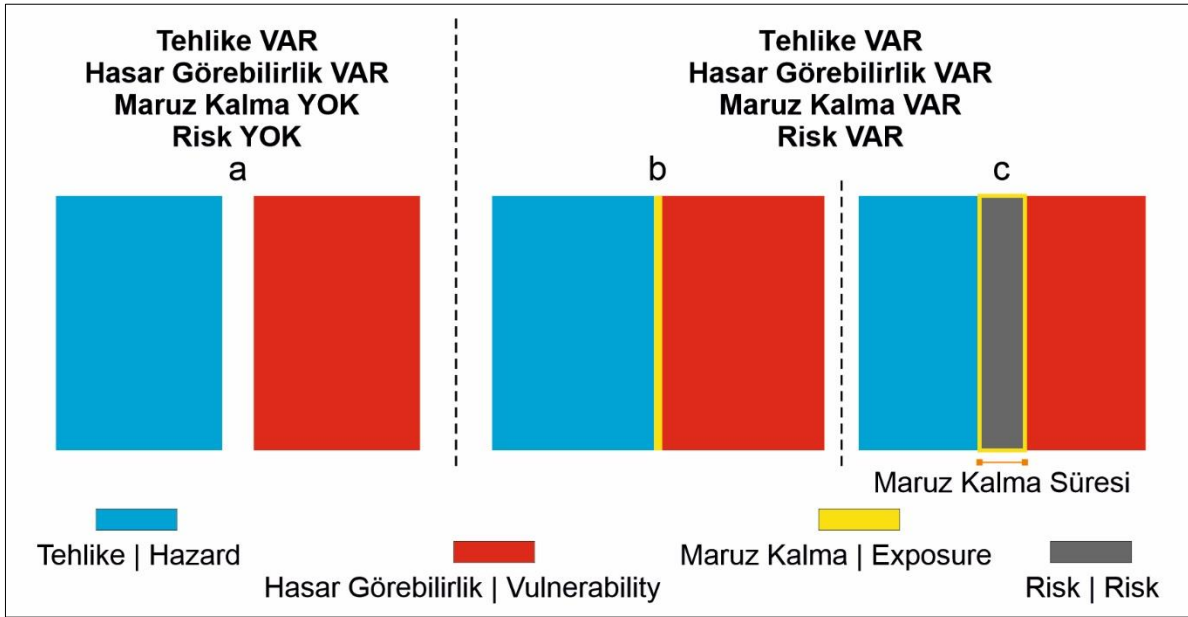
ABSTRACT

Seismic hazard analyses form the basis of studies to predict future earthquakes and to reduce the possible destructive effects of them. Study comprises Antalya, Burdur, Isparta, Denizli, Afyon, Uşak, Muğla, and boundaries are Kütahya, Manisa, Aydın, Konya, Aegean Sea and Mediterranean Sea. According to the New Turkey Earthquake Regions Map, PGA values of the identified seismic zones in the study area are over 0.2 g and averagely 0.32 g. The study area is bordered by a circle with a radius of 220 km centered in Bucak (Burdur). Area is divided into five seismic zones according to the intensity of earthquakes and seismotectonic structure of the zones. The magnitude recurrence parameters are analyzed based on the Gutenberg-Richter relation. The recurrence parameters a and b vary in the range of 2.92 – 4.12, and 0.86 – 0.99 respectively. The probability of occurrence of an earthquake with magnitude greater 5.5 for the study area is average 83.79% in future 50 years and 17.18% in future 100 years with magnitude greater 7.0. Besides seismic hazard analyses, it is important to consider local rock/soil conditions of the field in the site selection process of engineering structures in this region, where the earthquake hazard is high.

Keywords: Earthquake catalogue, hazard, seismic parameters, seismicity, Southwestern Turkey

GİRİŞ

Deprem tehlike ve risk analizleri sıklıkla karıştırılan, ancak çok keskin sınırlar barındıran farklı iki kavramdır. Deprem risk analizleri ulaşılması güç ve çok yoğun veri gerektiren çözümlenmeler silsilesi olup bölgesel yorumlama yerine çok daha yerel bir şekilde inceleme gerektirmektedir. Başka bir ifade ile deprem tehlike analizleri bölgesel anlamda yorum yapabilir ve sonuç verebilirken, risk analizleri bölgenin içindeki yapıların davranışları ile ilgilenmekte, bu sebeple çok fazla veriye gereksinim duymakta ve çok daha ayrıntılı çalışma gerektirmektedir. Analizlerin farkını anlayabilmek için ilk olarak, sıklıkla birbiri ile karıştırılan “tehlike”, “risk” ve “afet” kavramlarının tanımlanması önem kazanmaktadır. Sözlük karşılıkları olarak, tehlike, büyük zarar veya yok olmaya yol açabilecek durum; risk, zarara uğrama tehlikesi; afet, çeşitli doğa olaylarının sebep olduğu yıkım olarak tanımlanmaktadır. Hasar görme olasılığı tehlikenin varlığı ile değil, tehlikenin hasar görebilecek bir yapı ile teması sonrasında gelişmektedir. Bu tanımlardan yola çıkılarak bir tehlikenin aynı bölgede bir riske dönüşebilmesinin ya da risk oluşturmasının maruz kalma süresi ya da maruz kalma şiddeti ile alakalı olduğu görülmekte, bu sürenin uzunluğu ise riskin boyutunu belirlemektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Tehlike, Hasar Görebilirlik, Maruz Kalma ve Risk Arasındaki İlişki. a. Risk Olmayan Durum b. Tehlike ve Hasar Görebilirlik Teması ile Risk Başlangıcı c. Maruz Kalma Süresi ile Riskin Artışı

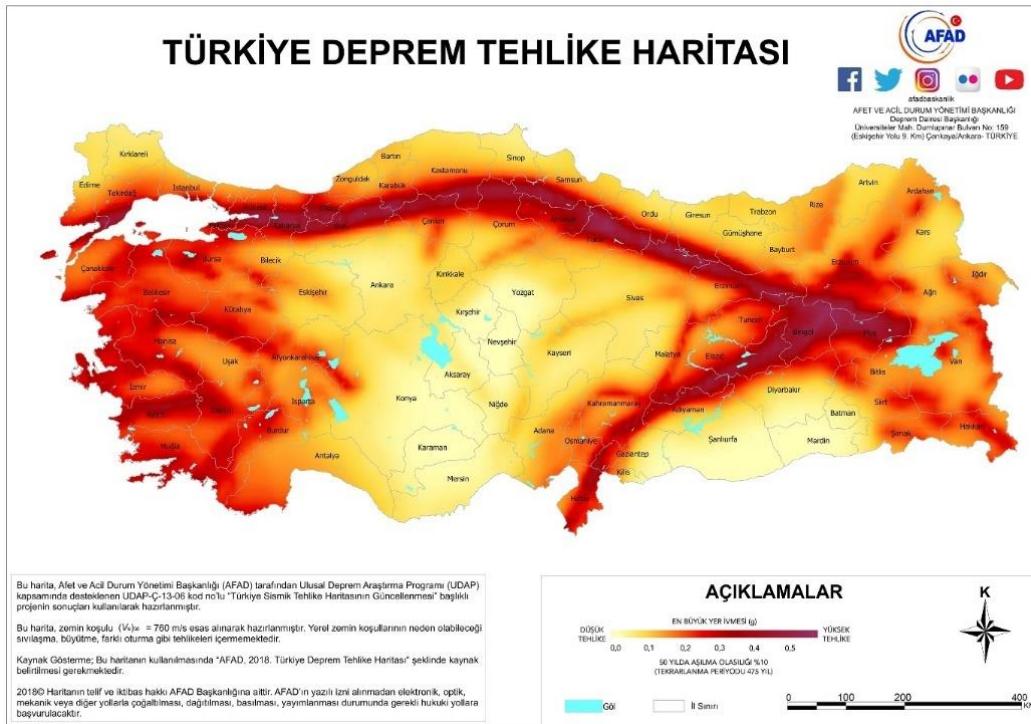
Sismik çalışmalarda incelenen “olay” bir depremi ifade etmekte, bu sebeple bu terimler sismik tehlike, sismik risk ve sismik afet olarak spesifik hale getirilmektedir. Sismik tehlike, hasar ve can kaybı yaratabilecek büyüklükte bir depremin belirli bir yerde ve belirli bir zaman aralığında oluşma ihtimali olarak; sismik risk, deprem tehlikesinin gerçekleşmesi ile fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıpların meydana gelme olasılığı olarak; sismik afet, depremlerden kaynaklı olarak gözlenen fiziksel, ekonomik ve sosyal yıkım olarak ifade edilmektedir. Depremin varlığı bir sismik tehlike iken depremin kapsamı yani gerçekleşmesi beklenen sismik tehlikenin etkileyeceği bölgeler, bölgedeki yapılar ve insan yoğunluğu risk çalışmaları için önem kazanmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan sismik tehlike analizleri, çalışılan bölgede meydana gelebilecek ve büyüklüğü 5.5’ten fazla olan ($M \geq 5.5$) depremlerin, 25, 50, 75 ve 100 yıllık süreler içindeki oluş olasılığını ifade etmeye odaklanmaktadır.

Çalışmanın Kapsamı

Çalışma alanı, Bucak (Burdur) merkezli 220 km yarıçaplı bir daire ile modellenmiştir. Çalışma alanı, kuzey sınırı Kütahya ve Manisa illeri, batı sınırı Aydın ili ve Ege Denizi, doğu sınırı Konya ili ve güney sınırı Akdeniz olacak şekilde çevrelenmiş ve Antalya, Burdur, Isparta, Denizli, Afyon, Uşak ve Muğla olmak üzere yedi ili kapsamaktadır (Şekil 2a). İnceleme alanının merkezi olan Bucak (Burdur) civarında KD-GB uzanımlı yapılar, bu alanının B-KB’ında ise KB-GD ve yaklaşık D-B uzanımlı yapılar belirgindir (Emre vd., 2013) (Şekil 2b). 1 Ocak 2019’dan itibaren yürürlükten kaldırılan Deprem Bölgeleri Haritası çalışma bölgesini birinci ve ikinci derece deprem bölgesi olarak göstermekteydi. Güncellenen Türkiye Deprem Tehlike Haritasına (TDTH) göre (Şekil 3) çalışma bölgesi çoğunlukla 0,2g (peak ground acceleration, PGA) üzerinde olup ortalama 0,32g değerindedir.



Şekil 2. a. Bucak Merkezli Çalışma Alanını ve Sınırlarını Gösteren Harita b. Çalışma Alanındaki Diri Fayları Gösteren Harita (Emre vd., 2013)



Şekil 3. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2018)

MALZEME VE YÖNTEM

Sismik Tehlike Analizleri

Ülkelerin %60'ından fazlası depremlerden zarar gören ülkeler sınıfındadır ve Türkiye de bu ülkeler arasında yer almaktadır (Leventeli vd., 2020). Sismik tehlike analizleri, deprem risk analizlerinin ilk basamağını oluşturmakta, risk analizleri için öngörülen ve büyüklüğü bilinen bir depremin tekrarlanma süresini hesaplamakta, maksimum yer ivmesinin dönüş periyodu ile aşılma ihtimalinin belirlenmesini kapsamaktadır. Bu analizler deprem tehlikelerini öngörmek ve olası riskleri önleyebilmek için önemlidir. İstatistiksel hesaplamalar ile elde edilen veriler, zemin koşullarının da sisteme dahil edildiği analizler için önemli bir altlık olarak kullanılmaktadır. Sismik tehlike analizleri önceden kararlaştırılmış belirli senaryolar için deterministik (Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA) olarak yapılabildiği gibi, beklenen depremlerle ilişkili ulaşılabilen tüm belirsizliklerin dikkate alındığı şekilde olasılıksal (Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA) olarak da gerçekleştirilebilir (Kayabalı, 2002). Bu anlamda PSHA, büyüklük ve konum gibi depremler ile ilgili belirsizliklerin anlaşılmasında kolaylık sağlamakta, sismik tehlikenin güvenilir ve eksiksiz bir görüntüsünü elde edebilmektedir (Kramer, 1996).

Sismik tehlike analizinin en önemli aşaması noktasal, doğrusal veya alansal (Kayabalı, 2002) olarak sismik kaynakların (Dipova ve Cangir, 2011) belirlenmesidir. Sismik kaynakların güvenilir bir şekilde modellenmesi için sismotektonik yapılar, jeolojik sınırlar ve çalışılan alanın deprem verileri dikkate alınmalıdır. Bu sebeple sismik tehlike analizleri bir üst sınırı olmayan, kullanıcıya bağlı olarak verilerin çoğalabildiği kapsamlı bir konudur. PSHA süresince doğrusal ve alansal sismik kaynak modelleri noktasal kaynaklara göre genellikle daha çok tercih edilmektedir (Uçar vd., 2016; Kayabalı, 1995, 2002). Bu çalışmada da sismik kaynaklar alan bazlı olarak ele alınmış ve bölgenin depremselliği modellenmiştir.

Sismik Tehlike Haritaları

Küresel Sismik Tehlike Değerlendirme Programı (Global Seismic Hazard Assessment Program, GSHAP), sismik tehlike değerlendirmelerinde standartları iyileştirme ve geliştirme hedefi ile, Uluslararası Litosfer Programı (International Lithosphere Program, ILP) tarafından 1992 yılında başlatılan bir projedir (Danciu ve Giardini, 2015; Giardini, 1999; Giardini vd., 1992, 1999). 2018 yılında Uluslararası Bilim Konseyi (International Science Council, ISC) olarak değişen o zamanki adıyla Uluslararası Bilimsel Birlikler Konseyi'nin (International Council of Scientific Unions, ICSU) desteğiyle ve Birleşmiş Milletler Doğal Afet Etkilerini Azaltma Uluslararası Onyılı (United Nations International Decade for Natural Disaster Reduction, UN/IDNDR) çerçevesinde teori ve metotların uygulanacağı bir program olarak onaylanmış, altı yıllık çalışma süresi sonunda 1999 yılında sonlandırılmıştır. GSHAP sismik bölgeleme yapmasıyla dünya çapındaki ilk proje olarak öne çıkmakta, sonlandırılmış olmasına rağmen raporlarının, haritalarının, deprem verilerinin indirilmesine ve kullanılmasına günümüzde de olanak sağlamaktadır. 500'den fazla bilim insanının katıldığı bu proje ile küresel ölçekte bir sismik veri haritası oluşturulmuştur.

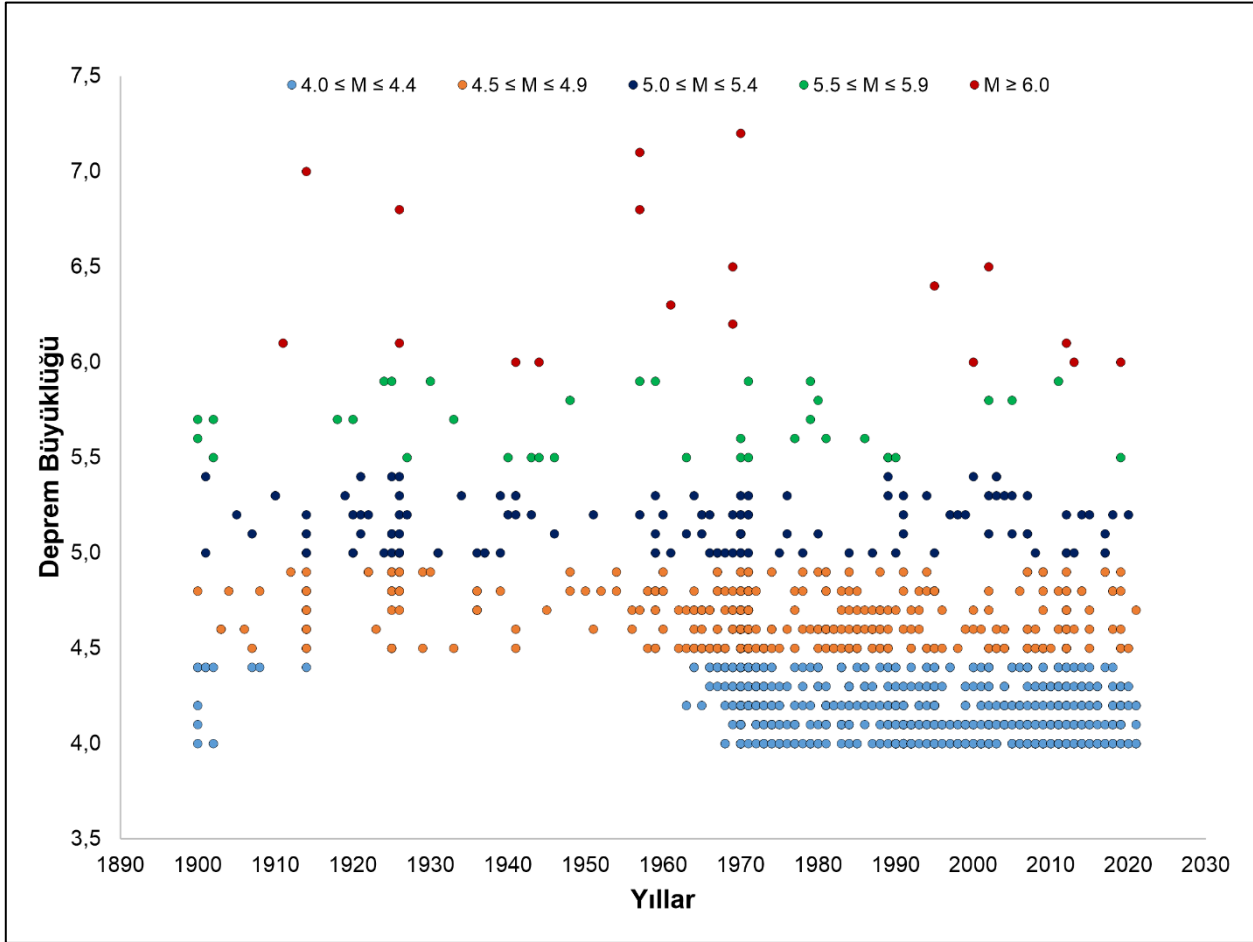
GSHAP tarafından önerilen Küresel Sismik Tehlike Haritası (Global Seismic Hazard Map, GSHM), Pasifik Çevresi Sismik Kuşağı (Circum-Pacific Seismic Belt, CP SB) ve Alp-Himalaya Orojenik Kuşağı (Alpine-Himalayan Orogenic Belt, A-H OB) olmak üzere iki ana deprem bölgesini işaret etmektedir. Türkiye konumu itibarıyla Alp-Himalaya Orojenik Kuşağı'nda yer almakta ve GSHM'ye göre Türkiye'de orta ile yüksek arasında değişen farklı sismik tehlike seviyeleri gözlenmektedir.

Ülkemizde 1 Ocak 2019 itibarıyla yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritası (Şekil 3), GSHM ile üst seviyede örtüşme göstermektedir. GSHM'de m/s^2 birimi ile sunulan değerler TDTH'de maksimum yer ivmesi (PGA, g) cinsinden verilmektedir. Ülkemizin içinde bulunduğu Alp-Himalaya Orojenik Kuşağı için GSHM'de m/s^2 olarak belirtilen ivme değerleri (4,8; 4,0; 3,2; 2,4; 1,6; 0,8 m/s^2) TDTH içinde sırasıyla yaklaşık olarak 0,5g; 0,4g, 0,3g; 0,2g; 0,15g ve 0,08g değerlerine karşılık gelmektedir.

Sismik Tehlike Parametreleri

Bucak merkezli 220 km yarıçaplı ($R = 220$ km) bir daire ile modellenen çalışma alanının sismik parametrelerinin analizi için AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı Türkiye Deprem Kataloğu'ndan alınan ve depremlerin büyüklüğünü, lokasyonunu ve tarihini içeren deprem verileri kullanılmıştır (AFAD, 2022). Deprem kataloğu 1900 ile 2022 yılları arasındaki süreyi kapsamakta ve $M \geq 4.0$ büyüklüğündeki 1343 olayı içermektedir (Şekil 4). Çalışma alanında büyüklüklerine göre gerçekleşen deprem sayıları Tablo 1'de verilmiştir.

Veri setinin tamlık büyüklüğü (magnitude of completeness, M_c), sismik tehlike analizleri için önemli bir parametredir (Bilim, 2019; Mignan vd., 2013; Woessner ve Wiemer, 2005). Tamlık büyüklüğü tahmini için Gutenberg-Richter (1944) yasası kullanılmaktadır. Deprem büyüklüğü ve sayıları, ilgili referans büyüklüğünden daha büyük olan tüm depremleri kapsayacak şekilde birikimli (kümülatif) olarak belirlenmekte (Tablo 2), daha sonra deprem sayılarını logaritmik ölçekte gösterecek şekilde deprem büyüklüğü ve kümülatif deprem sayısı dağılım grafiği çizilmektedir (Şekil 5). Grafikteki istatistiksel ilişki M_c 'yi tahmin etmek için kullanabilmekte ve grafiğe uygulanan doğrusal çizgi ile verilerin çizgiden ayrıldığı nokta tamlık büyüklüğünü ifade etmektedir. Çalışma bölgesine ait veri seti için çizilen grafikte doğrusal çizginin bozulmadığı görülmüş, bu sebeple $M = 4.0$ 'dan büyük depremler için katalogun tamamlanmış olduğu belirlenmiş ve $M_c = 4.0$ kabulü yapılarak analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 5).



Şekil 4. Deprem Büyüklüklerinin Yıllara Göre Dağılımı (1900-2022)

Sismik tehlikenin değerlendirilmesi için belirlenmesi gereken sismik kaynak bölgelerinin türetilmesinin ideal ve kanıtlanmış bir yolu maalesef bulunmamaktadır. Halen uygulayıcının öznel değerlendirmesi ve kararı olmaya devam etmektedir (Wiemer vd., 2009). Alansal kaynak belirlemek için çeşitli modeller geliştirilmiştir. Tarihsel depremsellik verileri ile belirlenen modeller olduğu gibi daha büyük bölgeler kullanarak, bölgenin ana tektonik özelliklerini yakalamaya çalışan modeller de geliştirilmiştir (Wiemer vd., 2009). Bu çalışma alanında yapılacak olan PSHA için, deprem verilerinin yanı sıra Türkiye Diri Fay Haritası'ndan elde edilen sismotektonik yapı da dikkate alınarak, bölgede beş (I-V) sismik alan kaynağı belirlenmiştir (Şekil 6). Sismik alan kaynaklarının işlenmesi, açık kaynaklı bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan Quantum GIS (v.2.14.19) ile gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda depremler, tamlık büyüklüğü en küçük büyüklük olacak şekilde, $4.0 \leq M \leq 4.4$; $4.5 \leq M \leq 4.9$; $5.0 \leq M \leq 5.4$; $5.5 \leq M \leq 5.9$ ve $M \geq 6.0$ olarak beş büyüklük sınıfına ayrılmıştır. Tüm sınıflar için depremlerin tamamlanma süreleri Mulargia (1987) yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir. Her bir sınıfa dahil olan depremler, ilk deprem zamanından son deprem zamanına doğru sıralanmış, kümülatif olarak grafiğe aktarılmıştır (Şekil 7). Aynı grafik, tamamlanma sürelerinin belirlenebilmesi için, her deprem büyüklük sınıfı için ayrı ayrı da çizilmiştir (Şekil 8a-e). Depremlerin büyüklük sınıflarına göre oluş sayıları ile tamamlanma yılı ve 2022 yılına göre tamamlanma farkı Tablo 3'te verilmiştir. Deprem büyüklük sınıfları için elde edilen tamamlanma yılları ile $M_c = 4.0$ kabulü bütün sismik alan kaynakları için aynı uygulanmıştır.

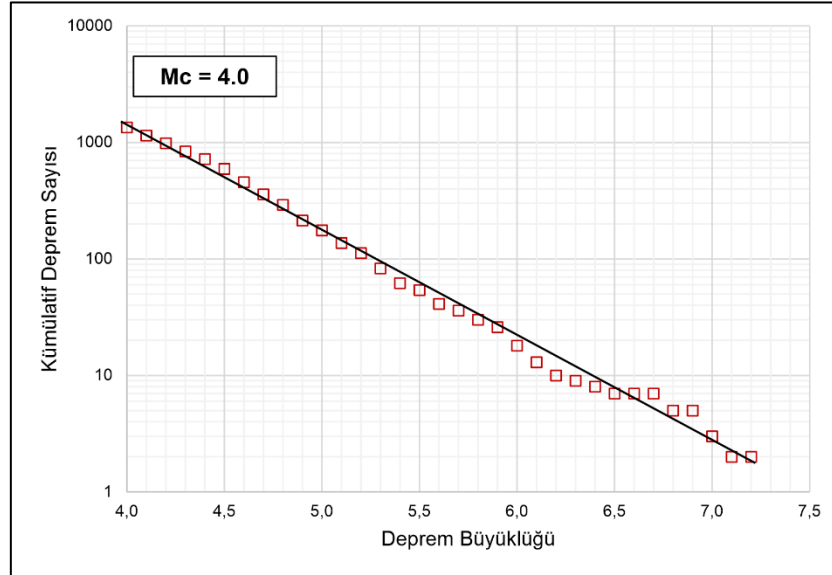
Tablo 1. Deprem Büyüklüklerine Karşılık Gelen Oluş Sayıları (1900-2022)

M	N _i	M	N _i	M	N _i
4.0	199	5.1	25	6.2	1
4.1	160	5.2	29	6.3	1
4.2	145	5.3	21	6.4	1
4.3	118	5.4	8	6.5	2
4.4	129	5.5	13	6.6	0
4.5	136	5.6	5	6.7	0
4.6	97	5.7	6	6.8	2
4.7	68	5.8	4	6.9	0
4.8	77	5.9	8	7.0	1
4.9	38	6.0	5	7.1	1
5.0	39	6.1	3	7.2	1

M: Deprem Büyüklüğü, N_i: Deprem Sayısı**Tablo 2.** Deprem Büyüklüklerine Karşılık Gelen Kümülatif Oluş Sayıları (1900-2022)

M ≥	N	M ≥	N	M ≥	N
4.0	1343	5.1	137	6.2	10
4.1	1144	5.2	112	6.3	9
4.2	984	5.3	83	6.4	8
4.3	839	5.4	62	6.5	7
4.4	721	5.5	54	6.6	7
4.5	592	5.6	41	6.7	7
4.6	456	5.7	36	6.8	5
4.7	359	5.8	30	6.9	5
4.8	291	5.9	26	7.0	3
4.9	214	6.0	18	7.1	2
5.0	176	6.1	13	7.2	2

M: Deprem Büyüklüğü, N: M'den Büyük (Kümülatif) Deprem Sayısı

**Şekil 5.** Tamlık Büyüklüğü (Mc) Belirlenmesi

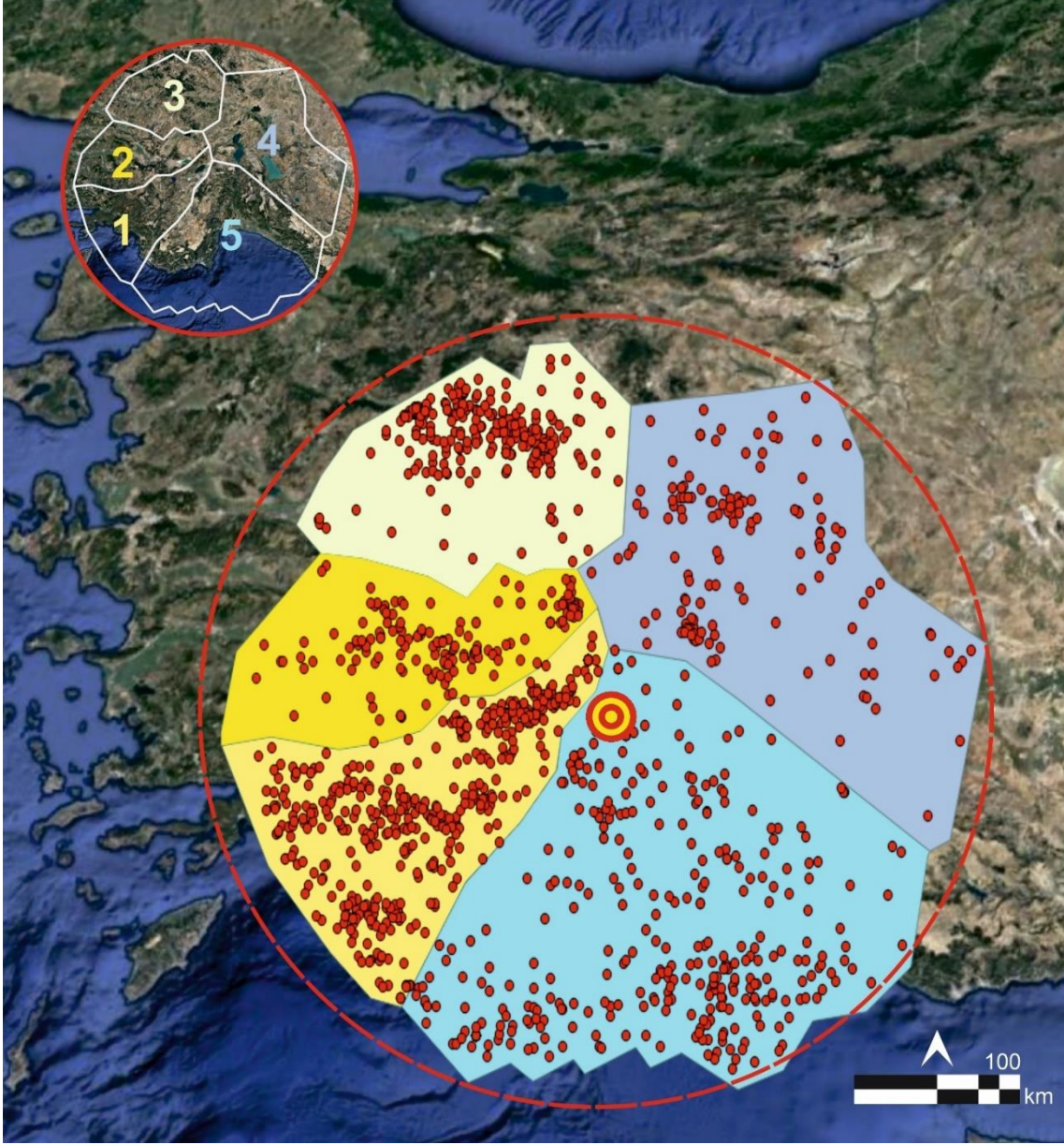
Sismik alan kaynaklarının tekrarlanma parametreleri, belirli bir bölgedeki birim zamanda gerçekleşen deprem büyüklüğü ile deprem sayısı arasındaki ilişkiyi ifade eden ve (1) bağıntısı ile gösterilen Gutenberg-Richter (1944) formülü ile hesaplanır. Bu eşitlik sayesinde büyüklüğü M_i veya üzeri olan depremin yıllık ortalama aşılma oranları $n(M_i)$, M_i ile belirtilen deprem büyüklüğüne eşit veya bu değerden büyük yıllık deprem sayıları (10^a) ve depremlerin göreceli oluş olasılıkları (b değeri) arasında ilişki kurulmaktadır (Kramer, 1996). Her sismik alan kaynağı için deprem olasılıklarını ortaya çıkarabilmek için Gutenberg-Richter (1944) parametrelerinin tümüne gereksinim duyulmaktadır.

$$\log n(M_i) = a - b \cdot M_i \quad (1)$$

$n(M_i)$: birim zaman başına M_i veya daha büyük büyüklükteki olay sayısı (aşılma oranı)

a : alanın genel depremselliğini tanımlayan değer (aktivite)

b : göreceli oluş olasılıklarını ifade eden değer

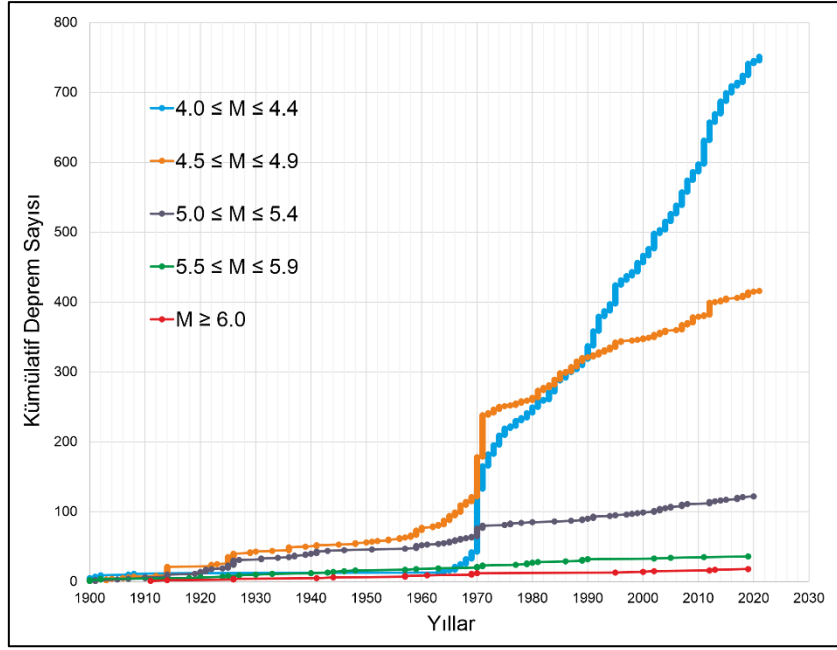


Şekil 6. Çalışma Kapsamındaki Belirlenen Sismik Alan Kaynaklar ve Bölgede Meydana Gelen Bütün Depremlerin Noktasal Olarak Gösterimi

Her sismik alan kaynağına ait parametrelere ulaşabilmek için, deprem verilerinin her kaynak için sınıflandırılması gerekmektedir. Her bölgede gerçekleşen depremler için deprem büyüklüğü (M_i), tamamlanma yılı (T) ve deprem sayısı (N_i 1-5) Tablo 4’te verilmektedir.

Tablo 3. Deprem Büyüklük Sınıflarına Göre Oluş Sayıları ve Tamamlanma Süreleri

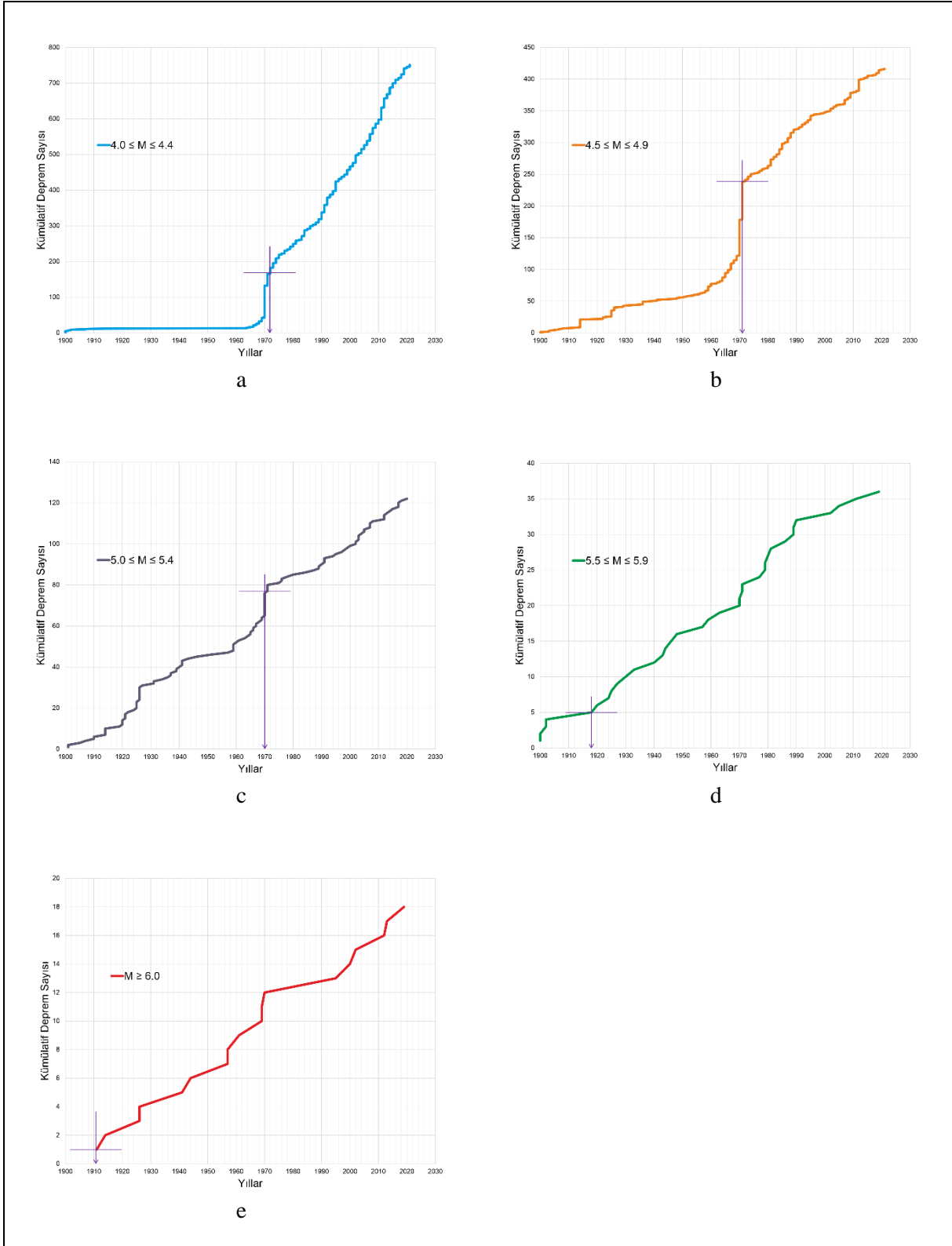
Deprem Büyüklük Sınıfı	Deprem Sayısı	Tamamlanma Yılı (T)	Fark (t, yıl)
$4.0 \leq M \leq 4.4$	751	1972	50
$4.5 \leq M \leq 4.9$	416	1971	51
$5.0 \leq M \leq 5.4$	122	1970	52
$5.5 \leq M \leq 5.9$	36	1918	104
$M \geq 6.0$	18	1911	111



Şekil 7. Deprem Büyüklük Sınıflarına Göre Kümülatif Deprem Sayıları

Tablo 4. Deprem Büyüklüklerinin Tamamlanma Yılları ve Sismik Alan Kaynaklarına Göre Oluş Sayıları

i	M_i	T	$N_i(1)$	$N_i(2)$	$N_i(3)$	$N_i(4)$	$N_i(5)$
1	4.0	1972	56	24	29	23	67
2	4.1	1972	45	18	27	18	52
3	4.2	1972	46	16	34	15	34
4	4.3	1972	34	6	37	12	29
5	4.4	1972	48	11	29	16	25
6	4.5	1971	45	19	30	10	32
7	4.6	1971	36	7	27	9	18
8	4.7	1971	19	13	13	6	17
9	4.8	1971	31	14	13	5	14
10	4.9	1971	13	3	8	7	7
11	5.0	1970	17	6	4	3	9
12	5.1	1970	8	4	5	3	5
13	5.2	1970	9	4	3	2	11
14	5.3	1970	9	5	1	3	3
15	5.4	1970	1	3	1	1	2
16	5.5	1918	5	1	3	2	2
17	5.6	1918	0	1	2	0	2
18	5.7	1918	0	2	1	2	1
19	5.8	1918	0	0	0	1	3
20	5.9	1918	3	1	1	1	2
21	6.0	1911	1	1	1	1	1
22	6.1	1911	2	0	0	0	1
23	6.2	1911	0	0	0	0	1
24	6.3	1911	1	0	0	0	0
25	6.4	1911	0	1	0	0	0
26	6.5	1911	0	0	1	1	0
27	6.6	1911	0	0	0	0	0
28	6.7	1911	0	0	0	0	0
29	6.8	1911	1	0	0	0	1
30	6.9	1911	0	0	0	0	0
31	7.0	1911	1	0	0	0	0
32	7.1	1911	1	0	0	0	0
33	7.2	1911	0	0	1	0	0
		Σ	432	160	271	141	339



Şekil 8. Deprem Büyüklük Sınırlarına Göre Kümülatif Deprem Sayıları. **a.** $4.0 \leq M \leq 4.4$ **b.** $4.5 \leq M \leq 4.9$
c. $5.0 \leq M \leq 5.4$ **d.** $5.5 \leq M \leq 5.9$ **e.** $M \geq 6.0$

Oluş Sıklığı ve Deprem Büyüklüğü Dağılımı (Frequency-Magnitude Distribution, FMD) ile belirlenebilen a ve b sabitlerinin hesaplanmasında en küçük kareler yöntemi (least squares method) ve en büyük olasılık yöntemi (maximum likelihood method) gibi yöntemler kullanılabilir. Bu çalışmada bu yöntemleri kullanan bağıntılar (Utsu, 1966; Aki, 1965; Weichert, 1980) kullanılmıştır. Utsu (1966), en büyük olasılık tahmini ile verilen örnek tahminindeki güven sınırlarını ifade eden b değerini (2) bağıntısı ile tanımlamıştır. M_0 değeri, depremlerin tamamlanma sürelerinden sonraki en küçük deprem büyüklüğünü ifade ettiğinden en küçük deprem büyüklüğü tamlık

büyüklüğüne eşit olarak ($M_0 = Mc$) kullanılmıştır. Meydana gelen depremlerin büyüklük değerlerinin oluş adetleri ile çarpılması ve tüm bu değerlerinin toplamının toplam oluş sayısına bölünmesi ile elde edilen ağırlıklı deprem büyüklükleri ortalaması (3) bağıntısı ile tanımlanmıştır.

$$b = \frac{\log_{10} e}{(\bar{M} - M_0)} \quad (2)$$

b : göreceli oluş olasılıklarını ifade eden değer
 \bar{M} : deprem büyüklüklerinin ağırlıklı ortalaması (3)
 M_0 : en küçük deprem büyüklüğü (=Mc)

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i \cdot N_i)}{N} \quad (3)$$

M_i : deprem büyüklüğü
 N_i : deprem büyüklüğünün oluş sayısı
 N : toplam oluş sayısı

Aki (1965), β değerini (4) bağıntısı ile tanımlamış ve deprem büyüklükleri cinsinden (5) bağıntısı ile ifade etmiştir.

$$\beta = b \cdot \ln 10 \quad (4)$$

$$\beta = \frac{1}{\bar{M} - M_0} \quad (5)$$

Weichert (1980) referans depremin olasılığını, β değerini (Aki, 1965) kullanarak (6) bağıntısı ile ifade etmiş aynı zamanda tüm depremlerin yıllık ortalama aşılma oranını (7) bağıntısı ile tanımlamıştır. Son olarak Gutenberg-Richter (1944) bağıntısında kullanılmak üzere, M_i büyüklüğündeki depremin yılda ortalama aşılma oranını (8) bağıntısı ile elde etmiştir.

$$q_i = \frac{\exp(-\beta \cdot M_i)}{\sum_{i=1}^N \exp(-\beta \cdot M_i)} \quad (6)$$

q_i : depremin oluş olasılığı

$$N_a = \frac{N \cdot [\sum_{i=1}^N \exp(-\beta \cdot M_i)]}{\sum_{i=1}^N [T_i \cdot \exp(-\beta \cdot M_i)]} \quad (7)$$

N_a : yıllık ortalama aşılma oranı (en küçük deprem büyüklüğü için)
 T_i : deprem büyüklüğüne ait tamamlanma yıl farkı

$$n(M_i) = N_a \cdot q_i \quad (8)$$

$n(M_i)$: M_i 'den büyük depremlerin yılda ortalama aşılma oranı

Bir bölgedeki sismik hareketlerin oluş oranlarını tahmin etmek, bölgenin deprenselliğini modellemek için hemen hemen tüm sismik tehlike çalışmalarında Homojen Poisson Modeli uygulanmaktadır. Poisson sürecinin, ilgili yer hareketi parametrelerinin aşılma olasılıklarının hesaplanmasında geçerli olduğu varsayılmaktadır. Buna göre, bir P olayının olasılığı, yer hareketi $n(M_i)$ 'nin yıllık aşılma oranı ve öngörülen süre ile ilgili olup (8) bağıntısı ile ifade edilmektedir. Bu aşamaya kadar Gutenberg-Richter (1944) parametrelerinden ikisi olan $n(M_i)$ ve b değeri elde edilmiş olup, (1) bağıntısı kullanılarak üçüncü terim olan a değeri de elde edilebilmektedir. (1) bağıntısı, negatif eğimli standart bir $y = -m \cdot x + n$ doğru denklemi ile benzerdir. Bu benzerlik sayesinde a ve b değerleri $\log(n(M_i)) - M_i$ dağılımı ile de elde edilebilmektedir (Şekil 9a-e). Bu denklemlerde $n = a$ ve $m = b$ olduğu görülmektedir.

Son aşamada, istenilen sürede (t) meydana gelme ihtimali bulunmak istenen depremin (M_P) olasılığı belirlenebilmektedir. Bu sebeple referans deprem büyüklüğünün yıllık aşılma oranını ($n(M_P)$) belirleyebilmek için a ve b değerleri (1) bağıntısında kullanılarak (10) bağıntısı elde edilmektedir.

$$P = 1 - e^{-n(M_P) \cdot t} \quad (9)$$

$$n(M_P) = 10^{a-b \cdot M_P} \quad (10)$$

P : bir depremin olasılığı

$n(M_P)$: M_P büyüklüğündeki depremin yılda ortalama aşılma oranı

t : depremin meydana gelmesi için öngörülen süre

BULGULAR

Sismik tehlike parametreleri, bahsedilen metodoloji uygulanarak her sismik alan kaynağı için ayrı ayrı tespit edilmektedir. Ayrıca her sismik alan kaynağı için, en küçük deprem büyüklüğünü ifade eden M_0 parametresinin $M_0 = M_c = 4.0$ olarak kullanıldığı da tekrar belirtilmelidir.

Deprem büyüklüklerinin ağırlıklı ortalamasını hesaplamak için Tablo 4'teki deprem büyüklüğü ve deprem sayısı dikkate alınmıştır. \bar{M} , b ve β değerlerini hesaplamak için sırasıyla (3), (2), (4) bağıntıları kullanılabilir. Bu tamamen kullanıcının takdirine bırakılmaktadır. Bu çalışmada (3) bağıntısı ile \bar{M} değeri bulunduktan sonra (5) bağıntısı ile β değerine doğrudan ulaşılmış, b değeri (10) bağıntısına kadar kullanılmayacağı için bu değer ilgili aşamada (4) bağıntısından çekilerek elde edilmiştir. Daha sonra β değeri kullanılarak her bir deprem büyüklüğünün tekil olasılığı ve bölgenin yıllık ortalama aşılma oranı sırasıyla (6) ve (7) bağıntıları ile hesaplanmıştır. Son olarak da (8) bağıntısı ile M_P 'den büyük depremlerin yılda ortalama aşılma oranı kümülatif olarak elde edilmiştir.

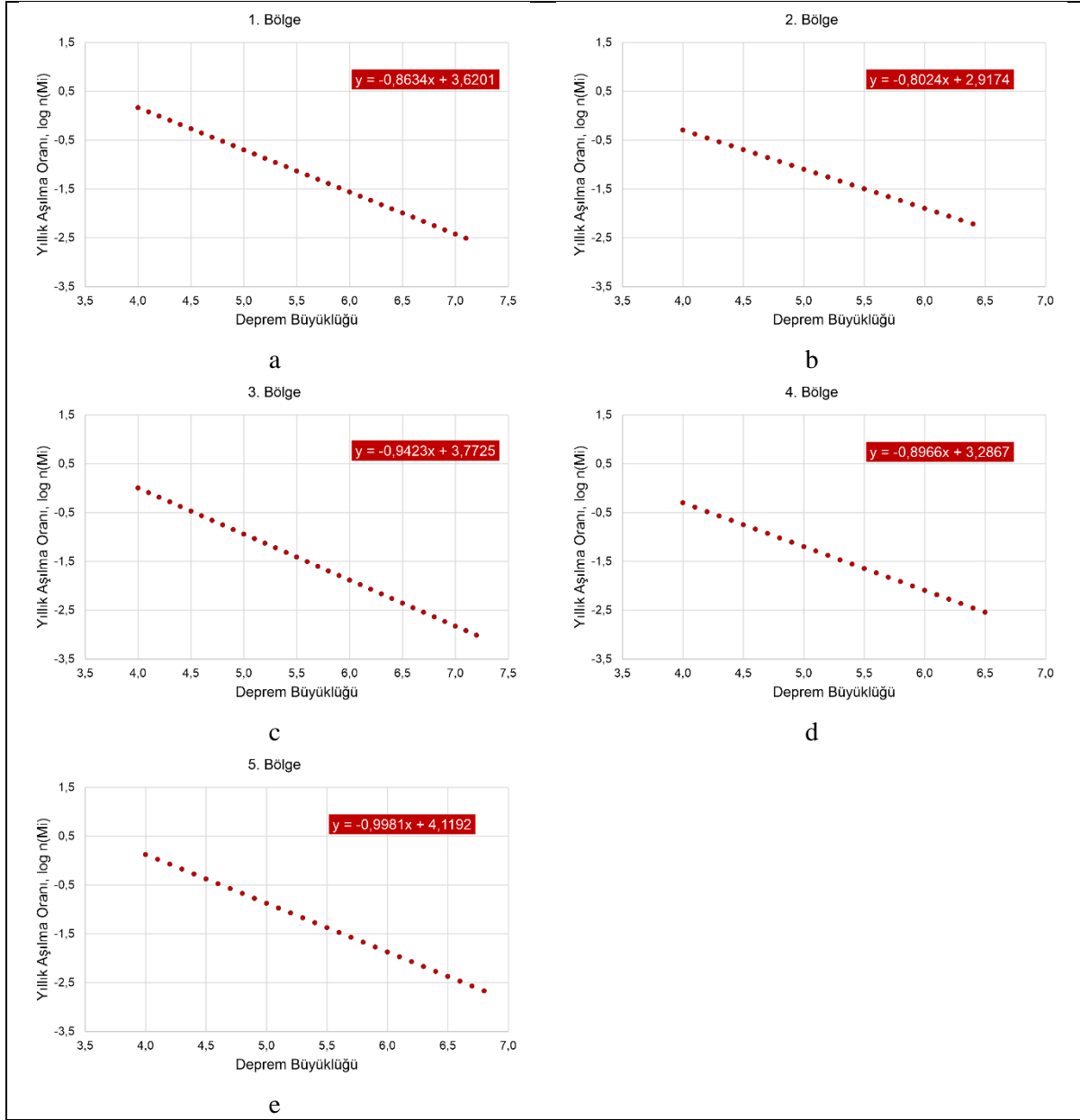
Her sismik alan kaynak için bulunan ve o bölge için değişmeyen; ağırlıklı deprem büyüklükleri ortalaması, en büyük ve en küçük deprem büyüklükleri, β değeri ve yıllık ortalama aşılma oranı ile hesaplanan a ve b değerleri Tablo 5'te verilmiştir. b değeri (4) bağıntısından çekilerek (11) bağıntısı aracılığıyla, a değeri ise (1) bağıntısında herhangi bir (M_i , $n(M_i)$) çifti kullanılarak bulunmuştur. Örneğin; M_i yerine en küçük deprem büyüklüğü olan 4.0 ve $n(M_i)$ yerine de $M_i = 4.0$ için hesaplanan $n(M_i)$ değeri konularak hesaplama yapılabilmektedir.

$$b = \beta \cdot \log_{10} e \quad (11)$$

Tablo 5. Her Sismik Alan Kaynağı (Bölge) için Bulunan Sabit Değerler

	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge
\bar{M}	4.50	4.54	4.46	4.48	4.44
$M_{\text{büyük}}$	7.1	6.4	7.2	6.5	6.8
$M_{\text{küçük}}$	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
β	1,98803	1,84758	2,16974	2,06442	2,29831
N_a	8,12422	2,99544	5,16141	2,67684	6,51074
a	3,62007	2,91743	3,77247	3,28666	4,11921
b	0,86339	0,80239	0,94230	0,89657	0,99814

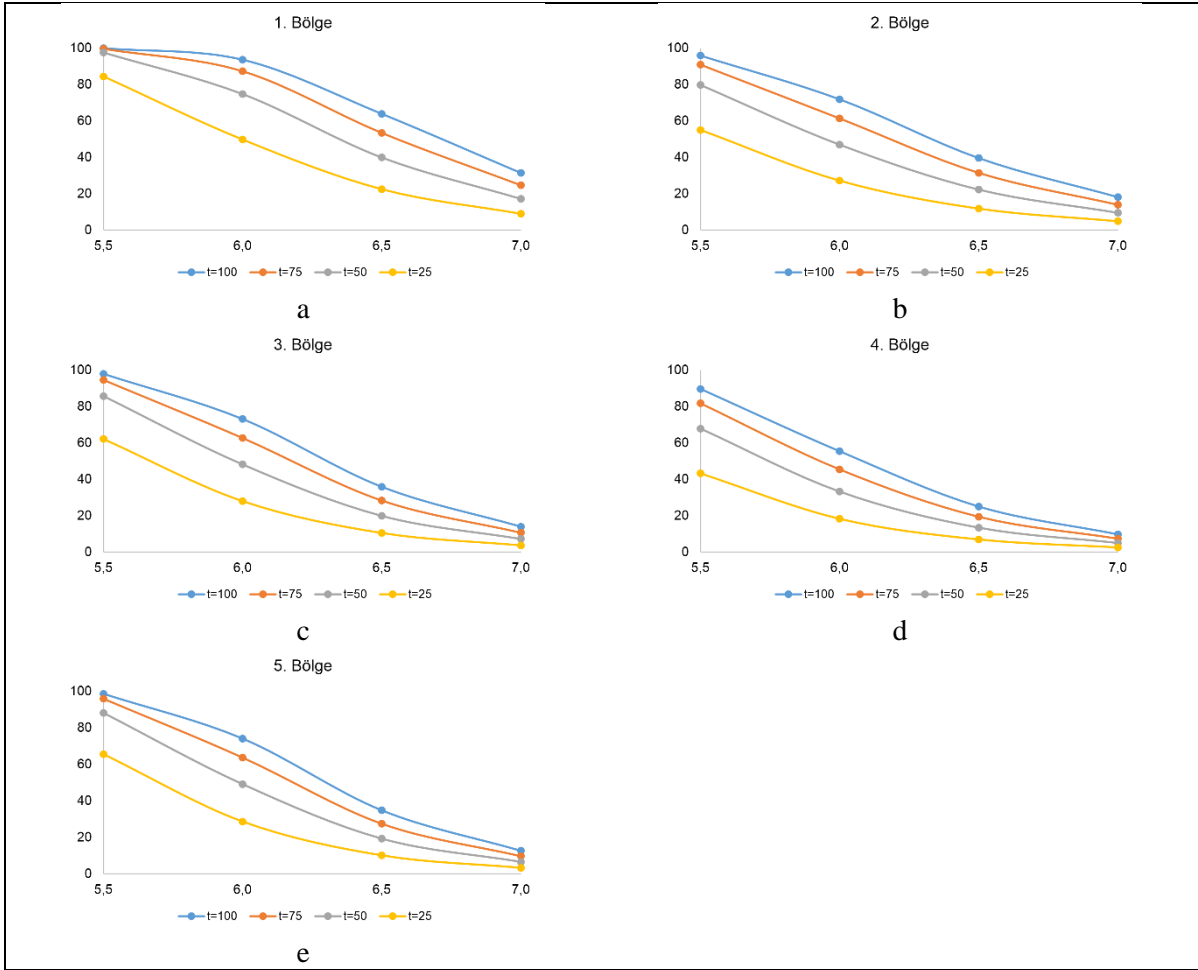
Depremlerin olasılık hesabında ise, olasılığı istenen depremin (M_P) yılda ortalama aşılma oranı ($n(M_P)$), hesaplanan veya grafik ile tespit edilen a ve b değerleri kullanılarak (10) bağıntısı ile elde edilmektedir. Daha sonra yılda ortalama aşılma oranı, depremin meydana gelmesi için öngörülen süre ile birlikte (9) bağıntısında kullanılarak nihai deprem olasılığına erişilmektedir (Tablo 6 ve Şekil 10a-e). Ayrıca tüm bölgeler için $t = 100, 75, 50, 25$ yıllık deprem olasılıkları tekil grafikler ile karşılaştırılmıştır (Şekil 11a-e)



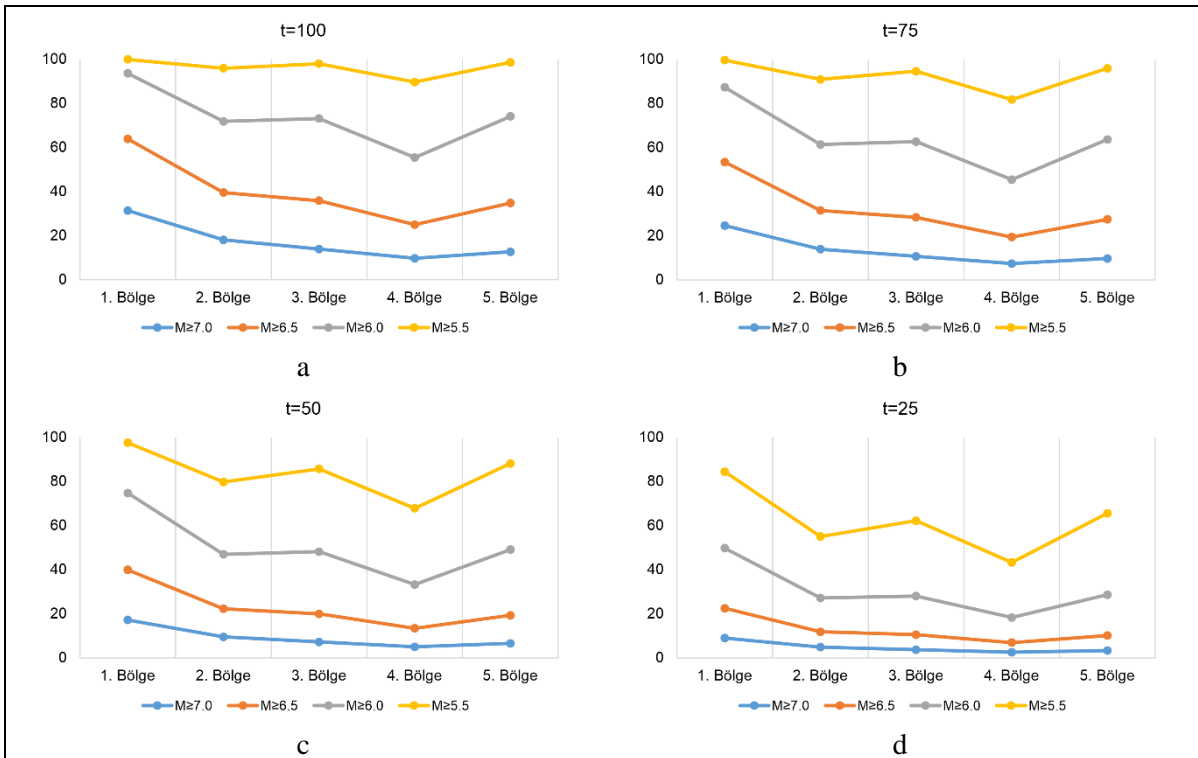
Şekil 9. Bütün Sismik Alan Kaynakları için a ve b Değerlerinin Grafik Yöntem ile Bulunması.
a. 1. Bölge **b.** 2. Bölge **c.** 3. Bölge **d.** 4. Bölge **e.** 5. Bölge

Tablo 6. Tüm Bölgeler için t = 25, 50, 75, 100 Yıllık $M \geq 5.5$ Deprem Olasılıkları

t	1. Bölge				t	2. Bölge			
	$M \geq 5.5$	t = 75	$M \geq 6.5$	$M \geq 7.0$		$M \geq 5.5$	$M \geq 6.0$	$M \geq 6.5$	$M \geq 7.0$
t = 100	99,94	93,62	63,89	31,41	t = 100	95,90	71,86	39,55	18,11
t = 75	99,62	87,31	53,42	24,63	t = 75	90,88	61,36	31,44	13,92
t = 50	97,57	74,75	39,91	17,18	t = 50	79,75	46,95	22,25	9,51
t = 25	84,42	49,75	22,48	8,99	t = 25	54,99	27,16	11,82	4,87
t	3. Bölge				t	4. Bölge			
	$M \geq 5.5$	$M \geq 6.0$	$M \geq 6.5$	$M \geq 7.0$		$M \geq 5.5$	$M \geq 6.0$	$M \geq 6.5$	$M \geq 7.0$
t = 100	97,95	73,13	35,86	13,94	t = 100	89,64	55,41	25,00	9,74
t = 75	94,59	62,68	28,33	10,65	t = 75	81,74	45,44	19,41	7,40
t = 50	85,69	48,16	19,91	7,23	t = 50	67,82	33,23	13,40	5,00
t = 25	62,17	28,00	10,51	3,68	t = 25	43,27	18,28	6,94	2,53
t	5. Bölge								
	$M \geq 5.5$	$M \geq 6.0$	$M \geq 6.5$	$M \geq 7.0$					
t = 100	98,59	74,08	34,81	12,68					
t = 75	95,90	63,67	27,45	9,67					
t = 50	88,12	49,09	19,26	6,55					
t = 25	65,53	28,65	10,14	3,33					



Şekil 10. Tüm Bölgeler için $t = 25, 50, 75, 100$ yıllık $M \geq 5.5$ Deprem Olasılıkları. a. 1. Bölge b. 2. Bölge c. 3. Bölge d. 4. Bölge e. 5. Bölge



Şekil 11. Tüm Bölgeler için Yıllara Göre $M \geq 5.5$ Deprem Olasılıkları. a. $t = 100$ b. $t = 75$ c. $t = 50$ d. $t = 25$

TARTIŞMA

Sismik tehlike analizleri tek başına yeterli sonuçlara ulaşılmasını sağlıyor gibi görünse de deprem olasılıkları için kesin bir sonuca varabildiği söylenemez. Sismik tehlike analizlerindeki amaç, öngörülen sürede belirlenen bir bölgede meydana gelebilecek depremlerin gerçekleşmesinin tahmini değerlendirilmesinden ibarettir. Analizin en başında yapılan sismik alan kaynaklarının ayrıştırılması aşamasından başlayarak çok titiz bir çalışma gerektirmekte, bu aşamada bile bölgeleme işleminin ideal ve herkesçe benimsenmiş bir yolu ne yazık ki bulunmamakta, uygulayıcının kişisel kararı olarak uygulanmaya devam edilmektedir (Wiemer vd., 2009). Bölgeleme işleminin sadece depremsellik verilerinden veya sadece ana tektonik özelliklerden faydalanarak yapılabildiği gibi bu çalışmada olduğu gibi her ikisinin de kullanılarak yapıldığı görülebilmektedir. Analizin gerçekçi sonuçlara ulaşabilmesi, depremsellik verilerinin yanı sıra tektonik özelliklerden faydalanarak yapılabildiği gibi bu çalışmada olduğu gibi her ikisinin de kullanılarak yapıldığı görülebilmektedir. Analizin gerçekçi sonuçlara ulaşabilmesi, depremsellik verilerinin yanı sıra tektonik özelliklerden faydalanarak yapılabildiği gibi bu çalışmada olduğu gibi her ikisinin de kullanılarak yapıldığı görülebilmektedir. Bir sismik tehlike analizi için dört aşama uygulanabilmektedir. Bunlar, sismik kaynak bölgelerinin karakterizasyonu, sismik tehlike parametrelerinin tahmini, uygun sönümlenme ilişkilerinin seçimi ve bölgeler için sismik tehlikenin değerlendirilmesidir (Kartal vd., 2014a,b).

Deprem konusunda çalışan mühendisler, deprem kuvvetlerine dayanıklı binalar inşa etmeye ve olası deprem zamanını tahmin etmeye odaklanmaktadır. Bu tür çalışmalara devam edilmelidir ancak bu analizler ile birlikte sismik olarak aktif bölgelerdeki inşaatlar için uygun sahaların seçilmesi süreci birlikte ele alınmalıdır (Leventeli vd., 2020). Toprak zemin ile kaya zeminin mühendislik özelliklerinin çok farklı olması ve sismik dalgaların kayada hızlıca sönümlendiği gerçeği ile hareket ederek, elde edilen analiz sonuçlarına yer seçimi sürecinde mutlaka yerel zemin koşulları da dahil edilmelidir (Yılmaz vd., 2022). Örneğin zemin sıvılaşması olgusu, depremlerin yıkıcılığının en önemli faktörlerinden birisidir ve deprem sarsıntısı veya benzeri hızlı ve büyük yüklere tepki olarak zeminin direncinin, sertliğinin ve yoğunluğunun yitimi olarak tanımlanmaktadır. Depremler sırasında sismik dalgalar ve özellikle kayma dalgaları, suya doygun taneli tabakalardan geçerken gevşek taneciklerin hareket etmesini ve farklı bölgeye yerleşmesine sebep olmaktadır (Celep ve Kumbasar, 2000). Bu tür zeminlerde yapılaşma öncesi mutlaka sıvılaşma riski, taşıma kapasitesi ve dayanım kriterleri analiz edilmelidir (Alpaslan vd., 2017).

Yapı yönetmeliğinin önemli bir bileşeni olan sismik tehlikenin niceliği, belirli bir zaman aralığında bir sahada deprem kaynaklı yer sarsıntısı tehlikesini ve bunun riske dönüşmesini tanımlamak, yapıların, olası bir depremin neden olacağı yer sarsıntısına dayanacak şekilde inşa edilmesini sağlamaktadır (Harmandar, 2022). Sismik tehlike analizleri, risk analizleri için öncül birer çalışmadır. Bu sebeple inşaat faaliyetleri açısından vazgeçilemez bir noktada bulunmakta hatta analizler sonucunda var olan tasarım parametrelerinin güncellenmesi önerilebilmektedir (Eroglu Azak ve Tekin, 2015; Işık ve Kutanis, 2015). Çalışmalar sonucunda güncelleme önerildiği gibi var olan harita ve yönetmeliklerinin uygunluğu da dile getirilmekte, ancak daha dar alanda gerçekleşen bölgesel çalışmaların daha nitelikli sonuçlar verdiği belirtilmektedir (Karaca, 2017; İnce ve Kurnaz, 2018).

SONUÇLAR

Anadolu'nun deprem olgusu ile karşı karşıya olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Bu çalışmadaki sismik bölgeleştirmeler, aletsel dönemde elde edilen deprem verileri ve bölgelerdeki diri fayların varlığına dayanmaktadır. Deprem analizlerinde odak uzaklığı ve ortaya çıkan enerji miktarı ile birlikte yerel zemin koşullarının da hesaba katılması gerektiği unutulmamalıdır. Sismik tehlike analizlerine göre deprem tehlikesinin yüksek olduğu görülen bölgelerde, mühendislik yapılarının yer seçimi sürecinde tehlike analizleri sonuçlarının yanında yerel zemin koşullarının da (kaya / toprak) dikkate alınması gereklidir.

Sismik tehlike analizleri bir dizi bağlantı ile çözümlenmeler yapılmasından ibaret olup, analizler için seçilecek olan kaynak bölgeler analizlerin temelini oluşturmaktadır. Analizler öncesinde gerçekleştirilen bu seçim işlemi ile sismik kaynaklar nokta, çizgisel ya da alan olarak ifade edilebilmekte, kaynak belirleme sürecinde deprem verileri kadar bölgelerin tektonik yapısı da dikkate alınmalıdır. Bucak (Burdur) merkezli 440 km çaplı bir dairesel alan içinde gerçekleştirilecek analizler öncesinde, çalışma alanı hem tektonik yapı hem de tektonik geçmişteki deprem verileri dikkate alınarak beş sismik alan kaynağına bölünmüştür. Veri setinin tamlık büyüklüğü Gutenberg-Richter (1944) yasası kullanılarak ($M_c = 4.0$) tespit edilmiştir. Depremlerin yıllık aşılma oranları ve büyüklükleri dağılımı (FMD) ile belirlenebilen a ve b sabitlerinin hesaplanmasında en büyük olasılık yöntemi (maximum likelihood method) (Utsu, 1966) kullanılmış aynı zamanda bu iki parametre grafik yöntem ile de tespit edilmiş ve Gutenberg-Richter (1944) yasası için gerekli olan temel parametrelere ulaşılmıştır. Yer hareketi parametrelerinin aşılma olasılıklarının hesaplanmasında poisson modelinin geçerli olduğu varsayımından hareketle $M \geq 5.5$ olarak öngörülen depremlerin $t = 25, 50, 75, 100$ yıllık olasılık hesaplarında poisson modeli uygulanmıştır.

Tüm bölgeler analiz edildiğinde;

- $t = 100$ yıllık süre içinde tüm bölgelerin $M \geq 5.5$ deprem olasılıklarında belirgin bir fark görülmemekte, ancak $M \geq 7.0$, $M \geq 6.5$ ve $M \geq 6.0$ deprem olasılıklarında 1. bölge için yüksek değerler öne çıkmaktadır. Bu değerler 100 yıllık süre için 1. bölgeyi kritik olarak işaretlemektedir.
- Tüm zamanlar süresince, çalışma alanının kuzeyini temsil eden 2., 3. ve 4. bölgelerin deprem olasılıklarında yakın değerler görülmektedir. Aynı tektonik yapının devamını gösteren bu bölgeler için bu durumun beklenen şekilde tespit edildiği söylenebilmektedir.
- $t = 25$ yıllık süre içinde tüm bölgelerin $M \geq 6.5$ ve $M \geq 6.0$ deprem olasılıklarında yakın değerler görülmektedir ancak $M \geq 5.5$ ve $M \geq 6.0$ deprem olasılıklarında yine 1. bölge için göreceli yüksek değerler gözlenmektedir. Bu değerler 25 yıllık süre içinde beklenen $M \geq 5.5$ ve $M \geq 6.0$ depremleri özelinde 1. bölgeyi kritik olarak işaretlemektedir.
- Tüm zamanlar dağılımına bakıldığında öngörülen süre artırdıkça ($t = 100$) büyüklüğü fazla olan depremlerin, öngörülen süre azaldıkça da ($t = 25$) büyüklük olarak düşük olan depremlerin olasılıklarının arttığı, Gutenberg-Richter (1944) yasasına uygun olarak gözlenmektedir.

Bütün bu gözlemlerden sonra, hem tektonik veri geçmişi (deprenselliği) hem de içerisinde yer alan Fethiye-Burdur Fay Zonu sebebiyle çalışma alanının 1. bölgesinin deprem olasılıkları açısından en kritik bölge olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı), 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>
- AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı), 2022. 1900-20xx Deprem Kataloğu ($M \geq 4.0$) <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu>
- Aki, K. (1965). Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits. *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo*, 43, 237-239.
- Alpaslan, N., Balci, M. C., & Öncül, N. (2017) Evaluation of Liquefaction Potential of the Alluvial Soil with Initial Acceleration Method, Province of Batman Case. *Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies*, 11, 361-369.
- Bilim, F. (2019). The correlation of b-value in the earthquake frequency-magnitude distribution, heat flow and gravity data in the Sivas Basin, central eastern Turkey. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 9(1), 11-15. <https://doi.org/10.17678/beuscitech.467269>
- Celep, Z., & Kumbasar, N. (2000). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. Beta Dağıtım, İstanbul.
- Danciu, L., & Giardini, D. (2015). Global Seismic Hazard Assessment Program - GSHAP legacy. *Annals of Geophysics*, 58(1), S0109. <https://doi.org/10.4401/ag-6734>
- Dipova, N., & Cangir, B. (2011). Antalya ili yerleşim alanının deprenselliğinin araştırılması. *Geological Engineering Journal*, 35(2), 93-114.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., & Şaroğlu, F. (2013). Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye. ISBN: 978-605-5310-56-1
- Eroğlu Azak, T., & Tekin, S. (2015). Probabilistic seismic hazard maps for Adana province in Turkey. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 7(1), 103-120. <https://doi.org/10.24107/ijeas.251242>
- Giardini, D. (1999). The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) - 1992/1999. *Annali di Geofisica*, 42(6), 957-974.
- Giardini, D., Grünthal, G., Shedlock, K. M., & Zhang, P. (1999). The GSHAP Global Seismic Hazard Map. *Annali di Geofisica*, 42(6), 1225-1230.

- Giardini, D., Basham, P., & Berry, M. (1992). The global seismic hazard assessment program. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 73(48), 518-518. <https://doi.org/10.1029/91eo00383>
- Gutenberg, B., & Richter, C.F. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34, 185-188.
- Harmandar, E. (2022). Spectral-based Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Fethiye, Muğla. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 96(1), 376-385. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.14797>
- Işık, E., & Kutanis, M. (2015). Determination of local site-specific spectra using probabilistic seismic hazard analysis for Bitlis Province, Turkey. *Earth Sci. Res. J.*, 19(2), 129-134. <https://doi.org/10.15446/esrj.v19n2.50101>
- İnce, Y., & Kurnaz, T. F. (2018). Probabilistic seismic hazard analysis of Kahramanmaraş Province, Turkey. *Arab J Geosci*, 11(5), 97. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3434-5>
- Karaca, H. (2017). Güncel veriler ve olasılıksal sismik tehlike analizi kullanarak Eskişehir için sismik tehlike haritası ve ivme eğrileri elde edilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1), 243-251. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.300615>
- Kartal, R. F., Beyhan, G., Keskinsezer, A., & Kadirioglu, F. T. (2014a). Seismic hazard analysis of Mersin Province, Turkey using probabilistic and statistical methods. *Arab J Geosci*, 7(10), 4443-4459. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1104-1>
- Kartal, R. F., Beyhan, G., & Keskinsezer, A. (2014b). Seismic hazard analysis of Sinop province, Turkey using probabilistic and statistical methods. *J. Earth Syst. Sci.*, 123(3), 565-579. <https://doi.org/10.1007/s12040-014-0424-1>
- Kayabali, K. (2002). Modeling of seismic hazard for Turkey using the recent neotectonic data. *Engineering Geology*, 63(3-4), 221-232. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00082-5](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00082-5)
- Kayabali, K. (1995). Sismik tehlike analizi: Teori ve uygulama. *Jeoloji Mühendisliği*, 46, 28-43.
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice-Hall, NJ, 653 pp
- Leventeli, Y., Yilmazer, O., & Yilmazer, I. (2020). The importance of effective land use planning for reduction in earthquake catastrophe. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(19), 1010. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06042-x>
- Mignan, A., Jiang, C., Zechar, J. D., Wiemer, S., Wu, Z., & Huang, Z. (2013). Completeness of the Mainland China Earthquake Catalog and Implications for the Setup of the China Earthquake Forecast Testing Center. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103(2A), 845-859. <https://doi.org/10.1785/0120120052>
- Mulargia, F., Gasperini, P., & Tinti, S. (1987). A procedure to identify objectively active seismotectonic structures. *Bolletino di Geofisica teorica ed applicata*, 29(114), 147-164.
- Uçar, F., Aktürk, Ö., & Azak, T. E. (2016). Estimation of The Seismic Hazard Parameters of The City of Antalya, Southwest Turkey. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM 2016), vol. 3, (pp. 483-490).
- Utsu, T. (1966). A statistical significance test of the difference in b-value between two earthquake groups. *Journal of Physics of the Earth*, 14(2), 37-40.
- Yilmazer, İ., Yilmazer, Ö., & Leventeli, Y. (2022). Depremler Kayada Yıkılmaz ve Ovalar Stratejik Ürün Kaynağıdır. *Geosound*, 55(1), 165-189.
- Weichert, D. (1980). Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 70(4), 1337-1346.
- Wiemer, S., Giardini, D., Fäh, D., Deichmann, N., & Sellami, S. (2008). Probabilistic seismic hazard assessment of Switzerland: best estimates and uncertainties. *Journal of Seismology*, 13(4), 449-478. <https://doi.org/10.1007/s10950-008-9138-7>
- Woessner, J., & Wiemer, S. (2005). Assessing the Quality of Earthquake Catalogues: Estimating the Magnitude of Completeness and Its Uncertainty. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(2), 684-698. <https://doi.org/10.1785/0120040007>