

## Gumbel Uç Değerler Yöntemi ile Ankara İli ve Yakın Civarının Deprem Tehlike Analizi

Bülent ÖZMEN<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0002-7043-8329

### Öz

Çalışmanın amacı, 1900 – 2020 yılları arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 4.0$  olan deprem verilerinden yararlanarak ve Gumbel Uç Değerler Yöntemi'ni kullanarak Türkiye'nin başkenti olan Ankara ilini depremsellik ve deprem tehlikesi açısından incelemek ve deprem tehlike parametrelerini belirlemektir. Ankara ilinin deprem tehlike analizi  $38^{\circ} - 42^{\circ}$  K enlem ve  $30^{\circ} - 35^{\circ}$  D boylam koordinatları ile sınırlandırılmış alan içinde yer alan sekiz kaynak bölge içine düşen depremlerden yararlanarak yapılmıştır. Her kaynak bölgede hasara neden olabilecek büyüklükteki depremlerin yinelenme aralıkları, olası maksimum deprem büyüklükleri ve farklı büyüklükteki depremlerin oluşma olasılıkları saptanmıştır. Ankara ili ve yakın civarı içinde gelecek 100 yıl içinde  $M_w \geq 7.0$  büyüklüğündeki bir depremin meydana gelme ihtimalinin Kuzey Anadolu Fay Zonu kaynak bölgesinde (Bölge 1) en yüksek olduğu (%90) ve bunun dönüş periyodunun 43 yıl olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Ankara, Deprem, Deprem tehlikesi, Gumbel yöntemi

## Earthquake Hazard Analysis of Ankara Province and Its Surroundings with Gumbel Extreme Values Method

### Abstract

The aim of the study is to examine Ankara, the capital of Türkiye, in terms of seismicity and earthquake hazard, and to determine earthquake hazard parameters, by using earthquake data with  $M_w \geq 4.0$  that occurred between 1900 and 2020 and using the Gumbel Extreme Value Method. The earthquake hazard analysis of Ankara province was made by using earthquakes falling in eight source regions within the area limited by the coordinates of  $38^{\circ} - 42^{\circ}$  N latitude and  $30^{\circ} - 35^{\circ}$  E longitude. Recurrence intervals of earthquakes large enough to cause damage in each source region, possible maximum earthquake magnitudes and probabilities of earthquakes of different magnitudes have been determined. It has been found that the probability of an earthquake with a magnitude of  $M_w \geq 7.0$  occurring in Ankara province and its immediate surroundings in the next 100 years is highest (90%) in the source region of the North Anatolian Fault Zone (Zone 1) and its return period is 43 years.

**Keywords:** Ankara, Earthquake, Earthquake hazard, Gumbel method

### 1. Giriş

Afrika, Arabistan ve Avrasya plakaları arasında yer alan ve bu levhaların sıkıştırması nedeniyle yılda yaklaşık olarak 25 mm kadar batıya doğru hareket eden Türkiye (Anadolu Plakası), Alp-

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

\* İlgili yazar/Corresponding author: buozmen@hotmail.com

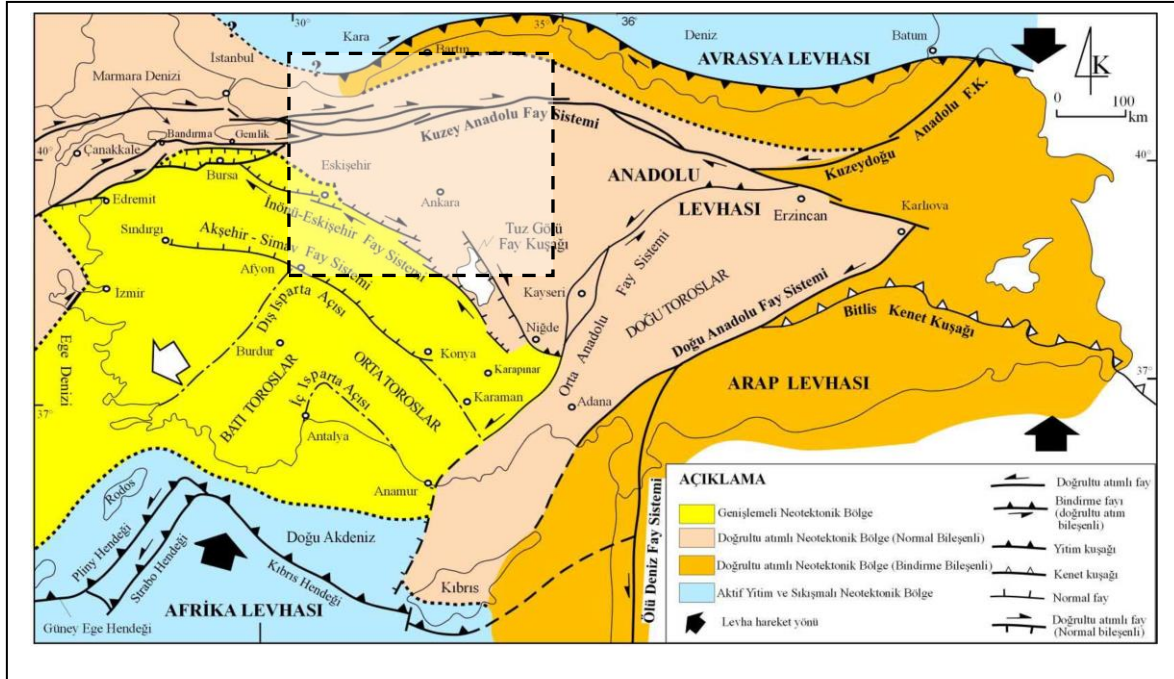
Gönderim Tarihi / Received Date: 21.11.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 30.11.2023

Bu makaleye atıf yapmak için- To cite this article

Özmen B. (2023). Gumbel Uç Değerler Yöntemi ile Ankara İli ve Yakın Civarının Deprem Tehlike Analizi. Resilience, 391-407

Himalaya deprem kuşağı içinde yer alır. Koçyiğit, (2008) fayların niteliklerine ve ürettikleri depremlerin özelliklerine göre Türkiye'yi dört farklı neotektonik bölgeye ayırmıştır (Şekil 1). Şekil 1'de görüldüğü gibi Ankara ilinin hemen batısı İnönü-Eskişehir ve Tuzgölü Fay Zonu ile iki farklı neotektonik bölgeye ayrılmış ve bu zonun batı, güneybatı ve güneyinde kalan bölge çekme türü bir neotektonik rejim ve verrev atımlı normal faylarla karakterize edilen genişlemeli neotektonik bölge şeklinde tanımlanmıştır. Bu fay zonlarının doğusu ve kuzeyinde kalan ve Ankara ilinin de içinde yer aldığı bölge ise sıkışma-genişleme türü bir neotektonik rejim ve doğrultu atımlı faylarla karakterize edilen normal bileşene sahip doğrultu atımlı neotektonik bölge olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Türkiye'deki aktif tektonik bölgeler (Koçyiğit, 2008)

Ankara doğudan gelen sıkıştırma ve batıya doğru genişleme rejimlerinin etkisi altındadır. Ankara ili ve civarında kuzey-güney (KG) ve kuzey-kuzeydoğu, güney-güneybatı (KKD-GGB) yönlü kısalma baskındır (Seyitoğlu vd., 2015). Ankara ve yakın civarındaki ana tektonik yapılar; kuzeyde Kuzey Anadolu Fay Zonu, Dodurga Fayı (Orta Fayı şeklinde de isimlendirilmektedir); batıda Eskişehir, Ilica, Yeniceoba ve Cihanbeyli Fay Zonları, güneyde Tuzgölü, Seyfe, Salanda ve Kaman fay Zonları, doğuda Çankırı Fayı (Eldivan-Elmadağ Tektonik Kaması şeklinde de isimlendirilmektedir), Kızılırmak ve Ezinepazarı Fayları olarak sıralanmaktadır. Ayrıca çalışma alanı içinde Bala Fayı, Karakeçili Fayı, Kesikköprü Fay Zonu, Elmadağ Fay Zonu, Çeltikçi Fay Zonu, Sarıoba-Ayaş Fay Zonu, Kazan Fay Zonu gibi faylarda mevcuttur. Fayların çoğu sol yönlü ve sağ yönlü doğrultu atımlı faylardan meydana gelmiştir. Bu fayların önemli bir kısmı levha içi faylar olarak kabul edilse de Eldivan-Elmadağ Tektonik Kaması gibi fayların Anadolu levhasının iç deformasyonundaki rolleri sismik tehlike değerlendirmesi açısından çok önemlidir (Seyitoğlu vd., 2009, 2015).

Çalışmanın amacı Ankara ili ve yakın civarı içinde ve sismotektonik bölge olarak kabul edilen yerlerde meydana gelmiş magnitüdü  $M_w \geq 4.0$  olan deprem verilerinden yararlanarak her bir sismotektonik bölge için Gumbel bağıntısındaki  $\alpha$  ve  $\beta$  parametrelerini bulmak, bu parametrelerden yararlanarak her kaynak bölge için farklı büyüklüklerdeki depremlerin meydana gelme olasılıklarını, tekrarlanma aralıklarını ve olası maksimum deprem büyüklüklerini tahmin etmektir. Ankara ili ve yakın civarının deprensellik analizi,  $38^0 - 42^0$  K

enlem ve 30° – 35° D boylam koordinatları ile sınırlandırılmış ve sismik kaynak bölge olarak belirlenmiş yerlere düşen deprem verilerinden yararlanarak her bölge için ayrı ayrı yapılmıştır.

Gumbel (1935, 1958) tarafından önerilen yöntemde her yılda meydana gelen depremlerden en büyüğü alınmaktadır. Hiç deprem kaydı olmayan yıllar içinde alt sınır olarak kabul edilen bir büyüklük değeri belirlenmektedir. Gumbel uç değerler yöntemi üç tipten oluşmakta ve bu dağılımlardan Gumbel I ve Gumbel III dağılımları deprem tehlike analizlerinde kullanılmaktadır. Gumbel tarafından geliştirilmiş olan ve deprem verilerinin eksik olduğu durumlarda da kullanılabilen Gumbel Uç Değerler Yöntemi bu özelliği nedeniyle birçok araştırmacı tarafından tercih edilmiş ve gerek dünyada gerekse Türkiye’de bu yöntem kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin Epstein ve Lomnitz (1966) tarafından California; Karnik and Hübnerova (1968) tarafından Avrupa; Shakal ve Willis (1972) tarafından Kuzey Pasifik çevresi; Mittal vd., (2008), Ameer vd., (2004) tarafından Irak; Vyas vd., (2005) tarafından Sikkim-Hindistan; Shanker vd., (2007) tarafından Hindukush-Pamir-Himalaya ve Chandigar-Hindistan; Ahmed vd., (2010) tarafından Pakistan; Yadav vd., (2011) tarafından Hindistan’ın kuzeydoğusu; Chen vd., (2012) tarafından Tayvan; Mohammadi ve Bayrak (2016) tarafından İran Plateausu; Theodoros, M.T., vd., (2016) tarafından Himalayanın kuzey batısı; Rehman ve Burton (2020) tarafından Pakistan için çalışmalar yapılmıştır. Türkiye ve Türkiye’nin farklı bölgeleri için ise; Erguvanlı ve Özaydın (1978) tarafından Kuzey Anadolu Fay Zonu, Yüksel (1985) tarafından Türkiye’nin Güneybatı bölgesi, Tezcan (1988) tarafından Marmara bölgesi, Burton (1990) tarafından Türkiye, Tezcan vd., (1991) tarafından İstanbul, Çetinkaya (1993) tarafından Karadeniz bölgesi, Çetinkaya vd., (1993) tarafından Ankara, İstanbul ve İzmir, Çobanoğlu vd., (2006) tarafından Doğu Akdeniz bölgesi, Bayrak vd., (2007, 2008) tarafından Türkiye, Öztürk vd., (2008) tarafından Türkiye, Firuzan (2008) tarafından Batı Anadolu ve Çobanoğlu ve Alkaya (2011) tarafından Denizli ili, Özmen (2015) İç Anadolu bölgesi, Bayrak vd., (2015) tarafından Ağrı ili, Bayrak vd., (2015) tarafından Doğu Anadolu Fay Zonu, Hiçyılmaz ve Sezer (2020) tarafından Afyonkarahisar ili için yapılan çalışmalar örnek olarak verilebilir.

Ankara ili için sismik ve tektonik parametreler arasındaki olası ilişkileri ortaya koyan bu tür çalışmalar oldukça kısıtlı sayıdadır. Bölgede meydana gelen deprem verileri ve diri fay bilgilerinden yararlanarak yapılacak bu çalışma ile Ankara ve yakın civarındaki güncel ve gelecek deprem potansiyeli için önemli bir bakış açısı sağlanacaktır.

## 2. Yöntem

Türkiye için hazırlanmış olan deprem katalogları incelendiği zaman geçmiş yıllara ait deprem verilerinde özellikle 1980 yılı ve öncesinden geriye doğru gidildikçe deprem sayısında bir azalma olduğu, tam ve eksiksiz deprem verilerine ulaşmanın çok güç olduğu bilinen bir gerçektir. Özellikle 1900’li yılların başlarından ortalarına doğru gerek Türkiye’de gerekse Dünya’da deprem kayıt istasyonlarının yeterli sayıda olmaması nedeni ile deprem kayıtları tam olarak kaydedilememiş ve veri setleri tam olacak şekilde hazırlanamamıştır. Bu nedenle sadece yıllık en büyük deprem verilerini esas alarak deprem tehlike parametrelerini hesaplamaya olanak sağlayan Gumbel Uç Değerler Yöntemi birçok araştırmacı tarafından tercih edilen bir yöntem olmuştur.

Gumbel tarafından önerilen uç değerler yöntemine göre, yıllık maksimum deprem büyüklüklerinin yıllık dağılımları aşağıdaki gibi olmaktadır (Tezcan vd., 1996 ve Shanker vd., 2007).

$$G(M) = \exp[-\alpha(\exp^{-\beta M})] \quad (1)$$

M: Depremin büyüklüğü (magnitüdü)

$\alpha$ ,  $\beta$ : Regresyon katsayıları

G(M): Bir yılda büyüklüğü M'den büyük depremlerin aşılma olasılığı

Eşitlik 1'in çift logaritması alınarak Eşitlik 2 elde edilir (Shanker vd., 2007).

$$\ln(-\ln G) = \ln \alpha - \beta M \quad (2)$$

En küçük kareler yöntemi kullanılarak eşitlik 2 deki  $\alpha$  ve  $\beta$  regresyon katsayıları ve bu katsayılarından ve aşağıdaki eşitliklerden (3, 4, 5 ve 6 eşitlikleri) yararlanarak; yıllık modal maksimum büyüklük ( $u$ ), tekrarlanma aralığı ( $T_m$ ) ve "t" yıl zaman süresi içinde depremlerin meydana gelme olasılığı ( $R_t(m)$ ) hesaplanabilmektedir (Shanker vd., 2007 ve Yadav vd, 2011).

$$u = \ln \frac{\alpha}{\beta} \quad \text{ve} \quad u_t = \ln \frac{(\alpha t)}{\beta} = u + \ln \frac{T}{\beta} \quad (3)$$

$$\ln(Nm) = \ln \alpha - \beta M \quad (4)$$

$$T_m = \frac{1}{Nm} = \exp\left(\frac{\beta M}{\alpha}\right) \quad (5)$$

$$R_t(M) = 1 - \exp^{-\alpha \exp(-\beta M)} \quad (6)$$

$\alpha$  ve  $\beta$  katsayılarını hesaplayabilmek için öncelikle her yıl meydana gelen en büyük depremler  $M_1, M_2, M_3, \dots, M_N$  belirlenir ve artan sırada dizilerek bir veri seti oluşturulur. Daha sonra her depremin gözlenme olasılığı  $G = \frac{i}{(N+1)}$  eşitliği kullanılarak hesaplanır (Gumbel, 1958).

Bu eşitlikte N, ele alınan toplam deprem sayısını "i" ise;  $M_1, M_2$  gibi farklı büyüklükteki depremlerin sayısını göstermekte ve 1 den N'ye kadar değişmektedir. Deprem kaydı bulunmayan yıllar için alt sınır olarak kabul edilen bir büyüklük değerinin alınması yöntemi kullanılmıştır (Tezcan vd., 1996).

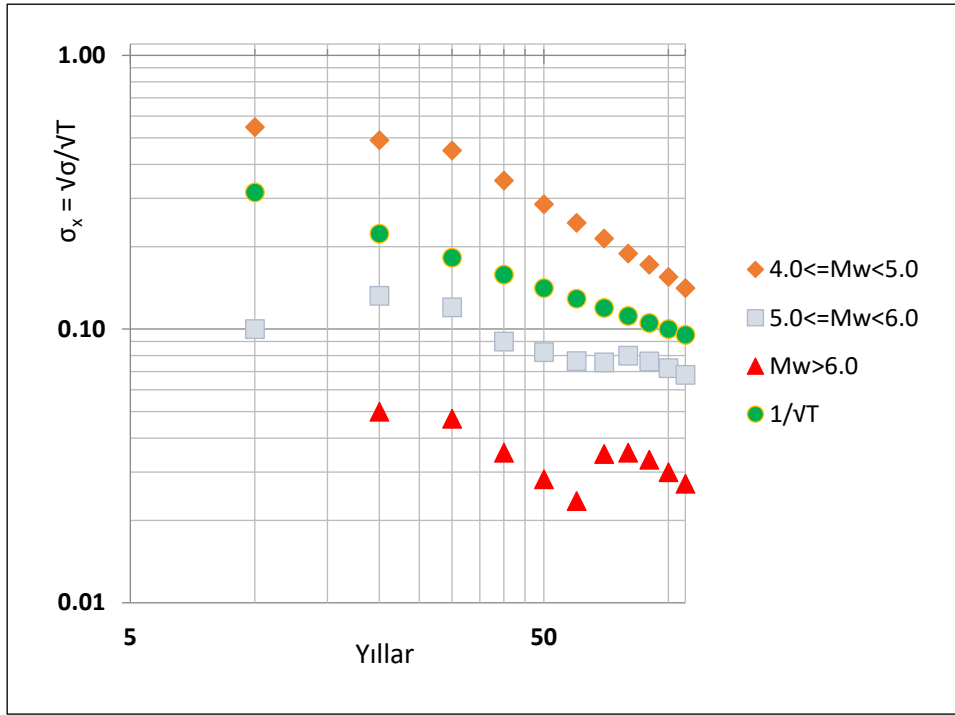
## 2.1. Deprem verileri ve sismik kaynak bölgeler

Deprem tehlike analizinin başlangıç noktası, inceleme alanı olarak seçilen bölge ve yakın civarındaki aktif fay ve deprem verilerinden yararlanarak hasara neden olabilecek büyüklükte deprem üretme potansiyeli olan sismik kaynak bölgelerin konumlarının ve bunlara ilişkin deprem tehlike parametre değerlerinin belirlenmesidir. Bunun için öncelikle Ankara ve yakın civarı için; Şaroğlu vd., (1992), Pampal ve Kozlu (2000), Seyitoğlu (2007), Koçyiğit (1991, 2000, 2001, 2008), Dirik ve Göncüoğlu (1996), Çemen vd., (1999), Dirik (2001), Özsayın ve Dirik (2007), Gökten ve Varol (2010), Kürçer (2012), Emre vd., (2013), Kürçer ve Gökten (2014a, 2014b), Emre vd., (2018), Esat vd., (2021) tarafından aktif fayları belirlemeye yönelik olarak yapılan çalışmalardan yararlanarak mümkün olan en eksiksiz aktif fay haritası hazırlanmıştır (Şekil 2). İnceleme sahası içindeki önemli yapılar kuzeyde, doğu-batı gidişli ve Türkiye'nin en aktif fayı olan ve Avrasya levhası ile Anadolu levhacığını ayıran sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu, güneyde Niğde'den başlayıp Paşadağı'na (Ankara) kadar uzanan kuzeydoğu-güneybatı gidişli yaklaşık 220 km uzunluğundaki çok küçük oranda sağ yanal doğrultu atım bileşenine sahip yüksek açılı normal bir fay olan Tuzgölü Fay Zonu, batıda, kuzeybatı-güneydoğu gidişli sağ yanal doğrultu atımlı ve normal bileşenli İnönü-Eskişehir Fay Zonu, güneydoğuda, kuzeybatı gidişli sağ yanal doğrultu atımlı Salanda ve Seyfe Fay Zonları, doğuda, Kuzey Anadolu Fayından ayrılarak güneybatı-kuzeydoğu yönünde



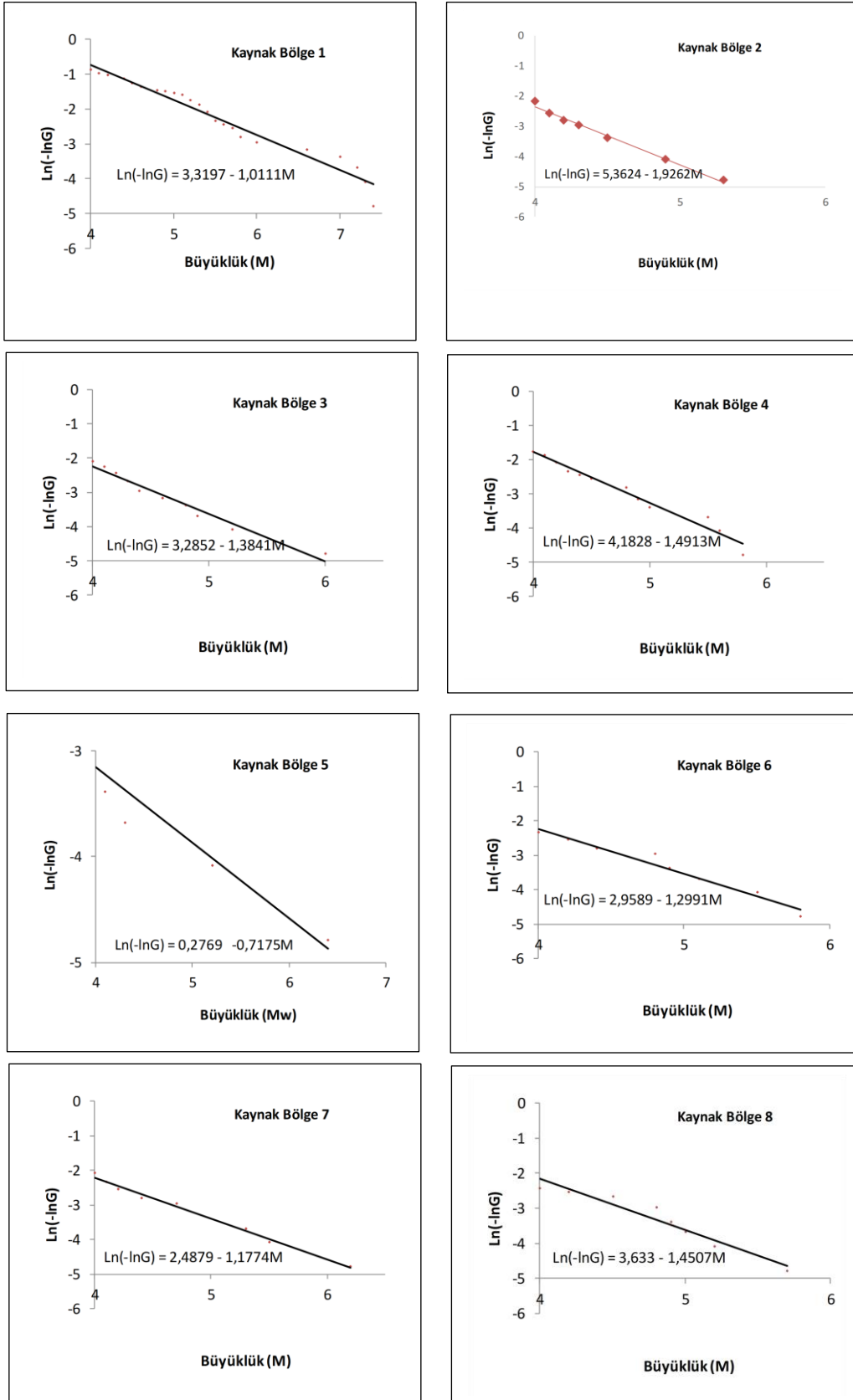
1 nolu kaynak bölge sağ yönlü doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu, 2 nolu kaynak bölge doğu kenarı bindirmeli, batı kenarı ise normal faylı Eldivan-Elmadağ Tektonik Kaması (Emre vd., 2018 tarafından bu fay Çankırı Fayı olarak isimlendirilmiştir.), 3 nolu kaynak bölge sol yönlü doğrultu atımlı Dodurga Fay Zonu (Emre vd., 2018 tarafından bu fay Orta Fayı olarak isimlendirilmiştir.), 4 nolu kaynak bölge sağ yönlü doğrultu atımlı Ezinepazarı Fayı ve Kızılırmak Fay Zonu (Emre vd., 2018 tarafından bu fay Sungurlu Fayı olarak isimlendirilmiştir.), 5 nolu kaynak bölge sağ yönlü doğrultu atımlı Seyfe Fay Zonu, Salanda Fay Zonu ve çok küçük oranda sağ yanal doğrultu atım bileşenine sahip yüksek açılı normal bir fay olan Tuzgözü Fay Zonu, 6 nolu kaynak bölge doğrultu atımlı ve normal faylardan oluşan Cihanbeyli ve Yeniceoba Fay Zonu ve 7 nolu kaynak bölge normal faylardan oluşan Eskişehir Fay Zonu, 8 nolu kaynak bölge Bala ve Karakeçili Fay Zonunun etkisi altındadır.

Türkiye için şimdiye kadar Ergin vd., (1967); Öcal, (1968), Alsan vd., (1975); Pınar ve Lahn, (2001); Gencoğlu vd., (1990), Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü gibi araştırmacı ve kurumlar tarafından çok sayıda deprem kataloğu hazırlanmıştır. Bu kataloglardaki verilerin homojen olmaması, her birinin ayrı standartta hazırlanmış olması gibi nedenlerle deprem tehlike analizlerinde doğrudan kullanılması çeşitli sakıncalara neden olmaktadır. Bu nedenle Kalafat vd., (2011 ve 2021) tarafından 1900 – 2020 yıllarına ait ve yukarıda sayılan sakıncaları giderecek şekilde Türkiye ve yakın çevresi için yeni bir deprem kataloğu hazırlanmıştır. Deprem verilerinin homojen olması, her birinin aynı standartta olması ve daha önceki kataloglardan yararlanarak mümkün olan en eksiksiz deprem verilerini içerecek şekilde hazırlanması nedeniyle çalışmamızda bu katalog kullanılmıştır. Katalog 1900 – 2020 yılları arasında meydana gelmiş ve  $M \geq 4.0$  olan 11436 deprem verisini içermektedir. Büyüklüğü düşük olan depremlerin geçmiş yıllarda deprem kayıt istasyonlarının az olması nedeniyle geriye doğru gidildikçe sayılarının da azaldığı görülmektedir. Geçmiş yıllara ait büyük depremlerin verileri sağlıklı bir şekilde tutulurken, daha küçük depremler için bu durum her zaman böyle olmamaktadır. Bunun için Stepp (1972), deprem tehlike analizi için kullanılan deprem verilerinin belirli zaman aralıkları için tamlık analizinden geçirilmesi gerektiğini belirtmiş ve bununla ilgili istatistiksel bir yöntem önermiştir. Bu çalışmada kullandığımız katalogun kalitesini kontrol etmek için Stepp (1972) yöntemi kullanılmış ve 1900-2020 yıllarındaki veriler için tamlık analizi yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemi uygulayabilmek için inceleme sahamız içine düşen tüm depremler büyüklük ( $M_w$ ) ve zaman ( $T$ ) olarak sınıflandırılmıştır. Bu işlemlerden sonra, her bir zaman aralığına ( $T$ ) düşen ortalama deprem adedi ( $\lambda$ ) ve bu aralık için ortalama değerden sapma miktarı ( $\sigma_\lambda$ ) bulunmuş ve Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Ankara ili ve yakın civarı için tamlik analizi

Tamlık analizi inceleme sahası içine düşen  $M_w \geq 4.0$  olan 309 deprem verisi kullanılarak yapılmıştır. Ortalama değerden sapma miktarı Stepp (1972) tarafından geliştirilen  $\sigma_\lambda = \sqrt{\lambda}/\sqrt{T}$  ilişkisinden yararlanarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada zaman aralığı (T) 10 yıl ve deprem büyüklükleri 1 artacak şekilde sınıflandırma yapılmıştır. Şekil 3'te görüldüğü gibi  $1/\sqrt{T}$  dağılımında herhangi bir sapma görülmediği için deprem kataloğunun çalışma bölgemiz için yapılacak olan deprem tehlike analizinde kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.



Şekil 4. Sismik kaynak bölgeler için büyüklük (M) ve  $\ln(-\ln G)$  arasındaki ilişkiler



Tablo 2. Her sismik kaynak bölge için Gumbel ( $\ln \alpha$  and  $\beta$ ) parametreleri

Kaynak Bölgeler	$\ln \alpha$	$\beta$
1	3.3197	1.0111
2	5.3624	1.9262
3	3.2852	1.3841
4	4.1828	1.4913
5	0.2769	0.7175
6	2.9589	1.2991
7	2.4879	1.1774
8	3.6330	1.4507

### 3. Ankara İçin Deprem Tehlike Analizi

Yukarıda açıklanan yöntemlerden yararlanarak her kaynak bölge için  $\ln \alpha$ ,  $\beta$  parametreleri en küçük kareler yöntemi kullanılarak bulunmuştur (Şekil 4 ve Tablo 2).

1-6 numaralı eşitlikler kullanılarak her kaynak bölgede farklı yıllar içinde oluşabilecek olası maksimum deprem büyüklükleri, ortalama dönüş periyotları ve gelecek yıllar içinde farklı büyüklüklerdeki depremlerin meydana gelme olasılıkları hesaplanarak Tablo 3 – 6'da gösterilmiştir. En sık gözlenen modal yıllık maksimum büyüklük ( $u$ ) her kaynak bölge için Eşitlik 3'ten yararlanarak hesaplanmış ve Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Her sismik kaynak bölge için modal yıllık maksimum büyüklük ( $u$ )

Bölge 1	Bölge 2	Bölge 3	Bölge 4	Bölge 5	Bölge 6	Bölge 7	Bölge 8
3.3	2.8	2.4	2.8	1.0	2.3	2.1	2.5

Tablo 4. Her sismik kaynak bölge için farklı zaman aralığında oluşabilecek olası en büyük deprem büyüklükleri

Yıl	Olası en büyük deprem büyüklükleri (Mw)							
	Bölge 1	Bölge 2	Bölge 3	Bölge 4	Bölge 5	Bölge 6	Bölge 7	Bölge 8
10	5.6	4.0	4.0	4.3	3.6	4.1	4.1	4.1
20	6.2	4.3	4.5	4.8	4.6	4.6	5.0	4.6
30	6.6	4.5	4.8	5.1	5.1	4.9	5.0	4.8
40	6.9	4.7	5.0	5.3	5.5	5.1	5.2	5.0
50	7.2	4.8	5.2	5.4	5.8	5.3	5.4	5.2
60	7.3	4.9	5.3	5.6	6.1	5.4	5.6	5.3
70	7.5	5.0	5.4	5.7	6.3	5.5	5.7	5.4
80	7.6	5.1	5.5	5.7	6.5	5.7	5.8	5.5
90	7.7	5.1	5.6	5.8	6.7	5.7	5.9	5.6
100	7.8	5.2	5.7	5.9	6.8	5.8	6.0	5.7

Her kaynak bölge için gelecek 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 yıl için en olası maksimum deprem büyüklükleri Eşitlik 4'ten yararlanarak hesaplanmış ve Tablo 4'de sunulmuştur. Tablo 4 incelendiği zaman gelecek 100 yıl içinde oluşabilecek en olası maksimum depremin Mw 7.8 büyüklüğünde olduğu ve bununda Kuzey Anadolu Fay Zonunun orta kesimi ile ilişkili olan Bölge 1'de olduğu görülmektedir. Diğer kaynak bölgelerde ise gelecek 100 yıl içinde beklenen en olası maksimum deprem büyüklükleri Mw = 5.2 – 6.8 arasında değişmektedir.

Tablo 5. Her sismik kaynak bölgedeki ortalama dönüş periyodu (Tm)

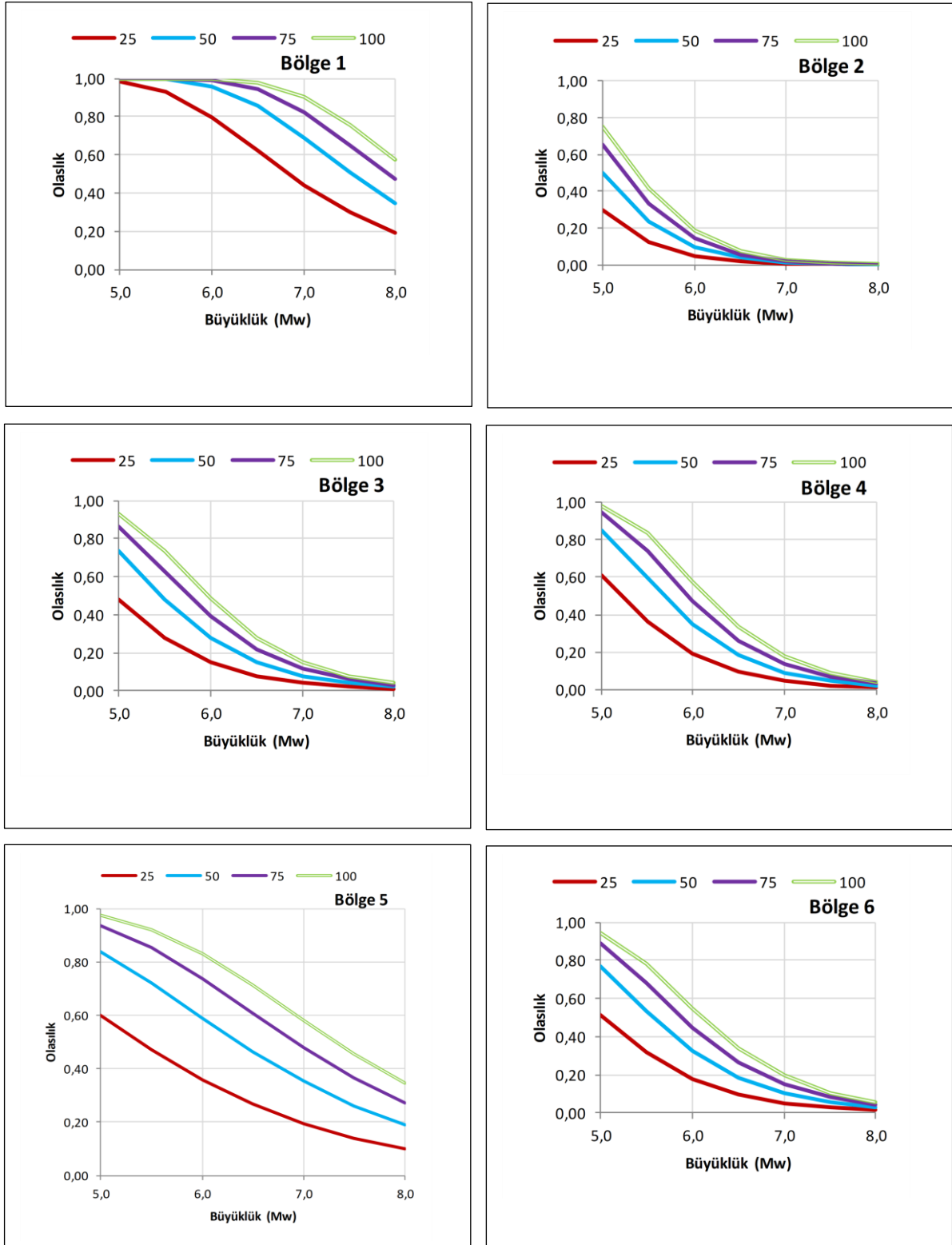
Büyüklik (Mw)	Ortalama dönüş periyodu (Tm)							
	Bölge 1	Bölge 2	Bölge 3	Bölge 4	Bölge 5	Bölge 6	Bölge 7	Bölge 8
4.0	2.1	10.4	9.5	5.9	13.4	9.4	9.2	8.8
4.5	3.4	27.3	19	12.5	19.1	17.9	16.6	18.1
5.0	5.7	71.4	37.9	26.4	27.4	34.3	29.9	37.4
5.5	9.4	187.1	75.7	55.7	39.2	65.8	53.9	77.2
6.0	15.6	490.2	151.3	117.3	56.2	125.9	97.2	159.4
6.5	25.9	1284.2	302.3	247.3	80.4	241.1	175.1	329.2
7.0	42.9	3364.4	604	521.3	115.1	461.6	315.4	679.9
7.5	71.1	8814	1206.6	1098.8	164.7	883.9	568.3	1404.2

Her kaynak bölge için 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 ve 7.5 büyüklüğündeki depremlerin ortalama tekrarlanma aralıkları Eşitlik 5'ten yararlanarak hesaplanmış ve Tablo 5'te verilmiştir. Mw  $\geq$  7.0 büyüklüğündeki bir depremin dönüş periyodu en düşük (43 yıl) Bölge 1'de, ikinci en düşük (115 yıl) olarak da Bölge 5'de bulunmuştur. Diğer kaynak bölgelerle kıyaslandığında Bölge 2'nin sismik olarak en az aktif, hasara neden olabilecek bir deprem üretme potansiyelinin en düşük ve Mw  $\geq$  7.0 olan depremlerin tekrarlanma aralığının (3365 yıl) çok uzun olduğu görülmektedir.

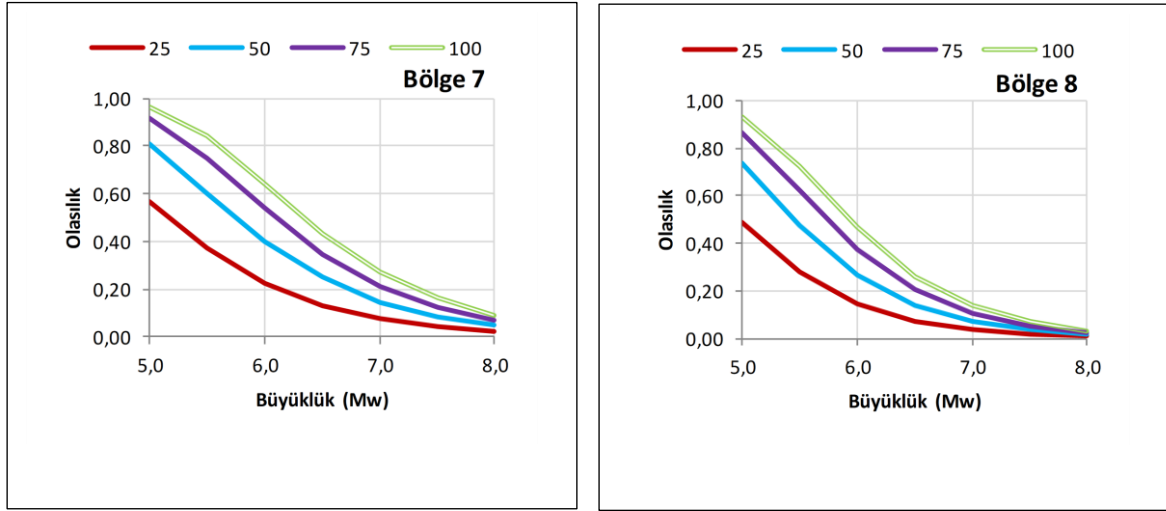
Her kaynak bölge için 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 ve 7.5 büyüklüğündeki depremlerin gelecek 25, 50, 75 ve 100 yıl içinde meydana gelme olasılıkları Eşitlik 6'dan yararlanarak hesaplanmış ve Tablo 6 ve Şekil 5'de gösterilmiştir.

Tablo 6. Farklı zaman aralıklarında farklı büyüklükteki depremlerin meydana gelme olasılığı

Bölge	Yıl	Büyüklik (Mw)							
		5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	
Bölge 1	25	0,99	0,93	0,80	0,62	0,44	0,30	0,19	
	50	1,00	1,00	0,96	0,86	0,69	0,51	0,35	
	75	1,00	1,00	0,99	0,95	0,83	0,65	0,47	
	100	1,00	1,00	1,00	0,98	0,90	0,76	0,57	
Bölge 2	25	0,30	0,13	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	
	50	0,50	0,23	0,10	0,04	0,01	0,01	0,00	
	75	0,65	0,33	0,14	0,06	0,02	0,01	0,00	
	100	0,75	0,41	0,18	0,07	0,03	0,01	0,00	
Bölge 3	25	0,48	0,28	0,15	0,08	0,04	0,02	0,01	
	50	0,73	0,48	0,28	0,15	0,08	0,04	0,02	
	75	0,86	0,63	0,39	0,22	0,12	0,06	0,03	
	100	0,93	0,73	0,48	0,28	0,15	0,08	0,04	
Bölge 4	25	0,61	0,36	0,19	0,10	0,05	0,02	0,01	
	50	0,85	0,59	0,35	0,18	0,09	0,04	0,02	
	75	0,94	0,74	0,47	0,26	0,13	0,07	0,03	
	100	0,98	0,83	0,57	0,33	0,17	0,09	0,04	
Bölge 5	25	0,60	0,47	0,36	0,27	0,20	0,14	0,10	
	50	0,84	0,72	0,59	0,46	0,35	0,26	0,19	
	75	0,94	0,85	0,74	0,61	0,48	0,37	0,27	
	100	0,97	0,92	0,83	0,71	0,58	0,46	0,35	
Bölge 6	25	0,52	0,32	0,18	0,10	0,05	0,03	0,01	
	50	0,77	0,53	0,33	0,19	0,10	0,05	0,03	
	75	0,89	0,68	0,45	0,27	0,15	0,08	0,04	
	100	0,95	0,78	0,55	0,34	0,19	0,11	0,06	
Bölge 7	25	0,57	0,37	0,23	0,13	0,08	0,04	0,02	
	50	0,81	0,60	0,40	0,25	0,15	0,08	0,05	
	75	0,92	0,75	0,54	0,35	0,21	0,12	0,07	
	100	0,96	0,84	0,64	0,44	0,27	0,16	0,09	
Bölge 8	25	0,49	0,28	0,15	0,07	0,04	0,02	0,01	
	50	0,74	0,48	0,27	0,14	0,07	0,03	0,02	
	75	0,87	0,62	0,38	0,20	0,10	0,05	0,03	
	100	0,93	0,73	0,47	0,26	0,14	0,07	0,03	



Şekil 5. Farklı zaman aralıkları için farklı büyüklükteki depremlerin oluşma olasılıkları (Bölge 1 – Bölge 6 için)



Şekil 6. Farklı zaman aralıkları için farklı büyüklükteki depremlerin oluşma olasılıkları (Bölge 7 ve 8)

Gelecek 100 yıl içinde  $M_w \geq 7.0$  olan depremin meydana gelme olasılıklarına bakıldığında olasılığın Bölge 1'de en yüksek (%90), Bölge 5'te ikinci en yüksek (%46), Bölge 3, 4, 6 ve 7 da orta (%8, %9, %11 ve %16), Bölge 2 ve Bölge 8 de en düşük (%1 ve %7) olduğu görülür. Öztürk vd. (2008) tarafından aynı yöntem kullanılarak Türkiye için yapılmış olan çalışmada da bu bölgenin (Bölge 1) deprem üretme potansiyelinin çok yüksek olduğu ve  $M_w \geq 7.0$  olan bir depremin gelecek 100 yıl içinde meydana gelme olasılığının %92 ve dönüş periyodunun 39 yıl olduğu bulunmuştur. Bölge 1 için her iki çalışmada elde edilen sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Öztürk vd. (2008) Eskişehir Fay Zonu ile ilişkili olarak belirlemiş oldukları kaynak bölgede 100 yıl içinde olası maksimum deprem büyüklüğünü 6.2 olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada bu değer 6.0 olarak bulunmuş ve iki çalışmanın sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür.

Çalışma kapsamında belirlenmiş olan sismik kaynak bölgeler deprem tehlike parametreleri açısından kıyaslandığında elde edilen sonuçlar arasında önemli farklılıklar olduğu görülür. Bu farklılıklar her sismik kaynak bölgenin ilişkili olduğu fayların kayma hızı ile doğru orantılıdır. Kayma hızları ile ilgili yapılan çalışmalarda Kuzey Anadolu Fay zonunun  $24 \pm 1$  mm/yıl (Erturaç ve Tüysüz, 2009), Eskişehir fay zonunun 2-3 mm/yıl (Şaroğlu vd., 2005), Ezinepazarı fayının 4 mm/yıl (Seyitoğlu, 2007), Orta (Dodurga) fayının 2.3 mm/yıl (Koçyiğit vd., 2001) ve Tuzgölü Fay zonunun 1 mm/yıl (Aktuğ vd, 2013) kayma hızına sahip olduğu değişik araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Beklenildiği gibi kayma hızı arttıkça tekrarlanma aralıkları arasında süre kısaltmakta, en olası maksimum deprem büyüklükleri ve depremlerin meydana gelme olasılıkları artmaktadır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Ankara ilinin deprem tehlikesi parametreleri inceleme sahası içinde meydana gelen 309 deprem verisinden yararlanarak ve Gumbel uç değerler yöntemini kullanarak sekiz kaynak bölge için belirlenmiştir. Büyük deprem üretme potansiyelinin en fazla Bölge 1 de, en düşük Bölge 2 de olduğu bulunmuştur.

İnceleme sahasındaki sismik bölgeler birbiriyle karşılaştırıldığında gelecek 100 yıl içinde  $M_w \geq 7.0$  olan depremin meydana gelme olasılığının en fazla (% 90), ortalama dönüş periyodunun en düşük (43 yıl) ve olası en büyük maksimum deprem büyüklüğünün ( $M_w 7.8$ ) en yüksek olduğu bölgenin Bölge 1 olduğu bulunmuştur. Bölge 1 Ankara ili için en önemli tehdit kaynağıdır.

Gelecek 100 yıl içinde oluşabilecek en olası maksimum deprem büyüklükleri Bölge 1'de Mw 7.8, Bölge 2'de Mw 5.2, Bölge 3'te Mw 5.7, Bölge 4'te Mw 5.9, Bölge 5'de Mw 6.8, Bölge 6'da Mw 5.8, Bölge 7'de Mw 5.9 ve Bölge 8'de Mw 5.7 olarak bulunmuştur.

Mw 6.0 büyüklüğündeki bir depremin tekrarlanma aralığı Bölge 1'de 16 yıl, Bölge 2'de 490 yıl, Bölge 3'te 151 yıl, Bölge 4'de 117 yıl, Bölge 5'de 56 yıl, Bölge 6'da 126, Bölge 7'de 97 yıl ve Bölge 8'de 159 yıl olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen sonuçların Ankara ili için yapılacak deprem senaryosu çalışmalarına, mikrobölgeleme çalışmalarına, sivilaşma analizlerine, deprem tehlike haritalarının hazırlanması ve il afet risk azaltma ve deprem master planlarının hazırlanması çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Ankara ve yakın civarında tarihsel ve aletsel dönem içinde meydana gelen ve hasara neden depremler ile ilgili daha detay çalışmalar yapılarak eksiksiz bir deprem verisinin oluşturulması önerilir.

Ankara ve yakın civarında deprem üretme potansiyeli olan diri fayların belirlenmesine yönelik çalışmaların yapılması ve her bir fayın geçmişte üretmiş olduğu depremlere ait bilgilerin paleosismolojik çalışmalarla ortaya çıkarılması önerilir.

## Kaynaklar

Ahmed, N. Ahmed, Z. ve Akhtar, G. (2010). Investigation of seismic hazard in NW-Himalayas, Pakistan using Gumbel's first asymptotic distribution of extreme values. *Pakistan Journal of Meteorology*, 6(12), 31-39.

Aktuğ, B. Parmaksız, E. Kurt, M. Lenk, O. Kılıçoğlu, A. Gürdal, M.A. ve Özdemir, S. (2013). Deformation of central Anatolia: GPS implications. *Journal of Geodynamics*, 67, 78-96.

Alsan, E. Tezuçan, L. Bath, M. (1975). An Earthquake Catalogue for Turkey for the Interval 1913-1970. Kandilli Observatory Seismological Department and Sweden Seismological Institute, İstanbul.

Ameer, A.S. Sharma, M.L. Wason, H.R. ve Alsinawi, S.A. (2004, August). Seismic Hazard Characterization and Risk Evaluation Using Gumbel's Method of Extremes (G1 and G3) and G-R Formula for Iraq. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada.

Bayrak, Y. Öztürk, S. Koravos, G.C. Leventakis, G.A. ve Tsapanos T.M. (2007, October). A Quantitative Seismicity Analysis for Different Regions in Turkey and its Surroundings from Gumbel First Asymptotic Distribution and Gutenberg-Richter Relationship Using Instrumental Earthquake Catalogue. International Earthquake Symposium, Kocaeli-Türkiye.

Bayrak, Y. Öztürk, S. Koravos, G.C. Leventakis, G.A. ve Tsapanos T.M. (2008). Seismicity assessment for the different regions in and around Turkey based on instrumental data: Gumbel first asymptotic distribution and Gutenberg-Richter cumulative frequency law. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 109-122.

Bayrak, Y. Atmış, A.N. Temelli, F. Mohammad, H. Bayrak, E. Yılmaz, Ş. ve Türker, T. (2015). An evaluation of earthquake hazard parameters in and around Ağrı, Eastern Anatolia, Turkey. *Eastern Anatolian Journal of Science*, 1(1), 01-09.

Bayrak, E. Yılmaz, Ş. Softa, M. Türker, T. ve Bayrak, Y. (2015). Earthquake hazard analysis for East Anatolian fault zone, Turkey. *Nat Hazards*, 76. 1063-1077.

Burton, P.W. (1990). Pathways to seismic hazard evaluation: extreme and characteristic earthquakes in areas of low and high seismicity. *Natural Hazards*, 3, 275-291.

Chen, K. Tsai, Y. Chang, W. ve Cheng, C. (2012). Short note probability for simulating future earthquakes with  $M_w \geq 6.0$  in Taiwan for seismic hazard for the earthquake catalog from 1900 to 2008. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102(5), 2252-2256.

Çemen, İ. Göncüoğlu, M.C. ve Dirik, K. (1999). Structural evolution of the Tuzgölü basin in central Anatolia, Turkey. *Journal of Geology*, 107, 693-706.

Çetinkaya, N.N. (1993, March). Earthquake Risk Analysis for Black Sea Region. 2. National Earthquake Engineering Conference, İstanbul.

Çetinkaya, N.N. Durgunoğlu, H.T. Kulaç, H.F. ve Karadayılar, T. (1993, March). Comparison of Earthquake Risk Analyses for Ankara, İstanbul ve İzmir Regions. 22. National Earthquake Engineering Conference, İstanbul.

Çobanoğlu, İ. Bozdağ, Ş. Dinçer, İ. ve Erol, H. (2006). Statistical approaches to estimating the recurrence of earthquakes in the eastern Mediterranean region. *İstanbul Univ. Eng. Fac. Earth Sciences Journal*, 19(1), 91-100.

Çobanoğlu, İ. ve Alkaya, D. (2011). Seismic risk analysis of Denizli (Southwest Turkey) region using different statistical models. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(11), 2662-2670.

Dirik, K. ve Göncüoğlu, M.C. (1996). Neotectonic characteristics of central Anatolia. *Int. Geology Review*, 38, 807-817.

Dirik, K. (2001). Neotectonic evolution of the Northwestward arched segment of the central Anatolian fault zone, central Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 14, 147-158.

Emre, Ö. Duman, T.Y. Özalp, S. Elmacı, H. Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F. (2013). Active Fault Map of Turkey with an Explanatory text 1:1,250,000 scale [Özel sayı]. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Series 30.

Emre, Ö. Duman, T.Y. Özalp, S. Şaroğlu, F. Olgun, Ş. Elmacı, H. ve Çan, T. (2018). Active fault database of Turkey. *Bull Earthq Eng*, 16, 3229-3275.

Epstein, V. ve Lomnitz, C. (1966). A model for the occurrence of large earthquakes. *Nature*, 211(5052), 954-956.

Ergin, K. Güçlü, U. Uz, Z. (1967). Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (Milattan Sonra 11 yılından 1964 sonuna kadar). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Erguvanlı, A. Özaydın, K. (1978, October). The seismicity of North Anatolian fault zone. Turkey Civil Engineering 7. Technical Congress, Ankara.

Erturaç, M.K. Tüysüz, O. (2009, April). The Neogene stratigraphy and neotectonic evolution of the Amasya region: Middle section of the convex arc of the North Anatolian fault system. 62. Turkey Geological Congress, Ankara.

Esat, K. Seyitoğlu, G. Aktuğ, B. Kaypak, B. ve Ecevitoğlu, B. (2021). The northwest central Anatolian contractional area: A neotectonic deformation zone bounded by major strike-slip fault zones in the Anatolian plate. *Tectonophysics*, 805.

Firuzan, E. (2008). Statistical earthquake frequency analysis for western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 741-762.

Gencoğlu, S. İnan, E. Güler, H. (1990). Türkiye'nin Deprem Tehlikesi. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara.

Gökten, E. ve Varol, B. (2010). General geology of the region and seismic sources. Başokur, A (Ed.), *Geological-Geophysical-Geotechnical Properties of Soil West of the City of Ankara and Dynamic Behavior* (s. 12-32). Ankara University.

Gumbel, L.J. (1935). Les valeurs extremes des distribution statistiques. *Ann Inst H Poincare*, 5, 815-826.

Gumbel, L.J. (1958). *Statistics of extremes*, Columbia University Press, New York, America.

Hiçyılmaz, M. ve Sezer, S. (2020). Earthquake hazard analysis with Poisson and Gumbel Distribution models for Afyonkarahisar province. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(1).

Kalafat, D. Güneş, Y. Kekovalı, K. Kara, M. Deniz, P ve Yilmazer, M. (2011). *A revised and extended earthquake catalogue for Turkey since 1900 (1900-2010;  $M \geq 4.0$ )*. İstanbul: Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Publication.

Kalafat, D. Güneş, Y. Kekovalı, K. Kara, M. Deniz, P ve Yilmazer, M. (2021). *A revised and extended earthquake catalogue for Turkey since 1900 (1900-2010;  $M \geq 4.0$ )*. İstanbul: Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Publication (unpublished).

Karnik, V. ve Hübnerova, Z. (1968). The probability of occurrence of largest earthquakes in the European area. *Pure and Applied Geophysics*, 70(1), 61-73.

Koçyiğit, A. (1991). Changing stress orientation in progressive intracontinental deformation as indicated by the neotectonics of the Ankara region (NW Central Anatolia). *TPJD Bülteni*, 3(1), 43-55.

Koçyiğit, A. (2000). General neotectonic characteristics and seismicity of central Anatolia, Haymana-Tuzgölü-Ulukışla basins. *Appl study (Workshop), Turk Pet Geol Spec Publ*, 5, 1-26.

Koçyiğit, A. Rojay, B. Cihan, M. ve Özacar, A. (2001). The June 6, 2000 Orta (Çankırı, Turkey) earthquake: sourced from a new antithetic sinistral strike-slip structure of the North Anatolian fault sytem, the Dodurga fault zone. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 10, 69-82.

Koçyiğit, A. ve Özacar, A.A. (2003). Extensional neotectonic regime through the NE edge of the outer Isparta angle, SW Turkey: New field and seismic data. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12, 67-90.

Koçyiğit, A. (2008). Earthquake sources in Ankara and its surrounding. Pampal, S. ve Özmen, B. (Yay. Haz.) Workshop for Earthquake Hazard and Risk of Ankara, Ankara: Gazi Üniversitesi.

Kürçer, A. (2012). *Neotectonic Characteristics and Paleoseismology of Tuz Gölü Fault Zone, Central Anatolia, Turkey* (Doktora tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

Kürçer, A. ve Gökten, E. (2014a). Paleoseismological three dimensional virtual photography method, case study: Duru-2012 trench, Tuz gölü fault zone, central Anatolia, Turkey. *Geological Bulletin of Turkey*, 57(1), 45-71.

Kürçer, A. ve Gökten, E. (2014b). Neotectonic-period characteristics, seismicity, geometry and segmentation of the Tuz gölü fault zone. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 149, 19-68.

Mittal, A. Dharmaraju, R. ve Deviel, G. (2008, October). Estimation of probable occurrence of earthquake in Chandigarh region, India. The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), India.

Mohammadi, H. ve Bayrak, Y. (2016). An evaluation of earthquake hazard parameters in the Iranian plateau based on the Gumbell III distribution. *J Seismol*, 20, 615-628.

Öcal, N. (1968). Türkiye'nin Sismisitesi ve Zelzele Coğrafyası 1850-1960 Yılları İçin Türkiye Zelzele Kataloğu. Milli Eğitim Bakanlığı İstanbul Kandilli Rasathanesi, İstanbul.

Özmen, B. (2015). Assessment of the statistical earthquake hazard parameters for the central Anatolia region, Turkey. *Arab J Geosci*, 8, 6341-6351. DOI 10.1007/s12517-014-1591-8.

Özsayın, E. ve Dirik, K. (2007). Quaternary activity of the Cihanbeyli and Yeniceoba fault zones: İnönü-Eskişehir fault system, central Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 471-492.

Öztürk, S. Bayrak, Y. Çınar, H. Koravos, G.C.ve Tsapanos, T.M. (2008). A quantitative appraisal of earthquake hazard parameters computed from Gumbel I method for different regions in and around Turkey. *Nat Hazards*, 47, 471-495.

Pampal, S. ve Kozlu, B. (2000). Seismicity of Ankara. *Turkey Engineering News Magazine*, 409, 25-31.

Pınar, N. Lahn, E. (2001). Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Rehman, K. ve Burton, P.W. (2020). Seismicity and seismic hazard parameters in and around Pakistan. *J Seismol*, 24, 635-653. <https://doi.org/10.1007/s10950-020-09917-4>.

Seyitoğlu, G. (2007). Neotectonics Structures Around Ankara: Eldivan-Elmadağ Tectonic Junction and Kırıkkale-Erbaa Fault. TMMOB Chamber Geology Engineering Technical Series-4, Ankara.

Seyitoğlu, G. Aktuğ, B. Karadenizli, L. Kaypak, B. Şen, Ş. Kazancı, N. Işık, V. Esat, K. Parlak, O. ve Varol, B. (2009). A late Pliocene-Quaternary pinched crustal wedge in NW central



Anatolia, Turkey: a neotectonic structure accommodating the internal deformation of the Anatolian plate. *Geol Bull Turkey*, 52, 121-154.

Seyitoğlu, G. Ecevitoglu, B. Kaypak, B. Güney, Y. Tün, M. Esat, K. Avdan, U. Temel, A. Çabuk, A. Telsiz, S. ve Aldaş, G.G.U. (2015). Determining the main strand of the the Eskişehir strike-slip fault zone using subsidiary structures and seismicity: a hypothesis tested by seismic reflection studies. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24, 1-20. doi:10.3906/yer-1406-5.

Shakal, A.F. ve Willis, D.E. (1972). Estimated earthquake probabilities in the North Circum-Pacific area. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 62(6), 1397-1410.

Shanker, D. Yadav, R.B.S. ve Singh, H.N. (2007). On the seismic risk in the Hindukush-Pamir-Himalaya and their vicinity. *Curr Sci*, 92(11), 1625-1630.

Erturaç, M.K. Tüysüz, O. (2009, April). The Neogene stratigraphy and neotectonic evolution of the Amasya region: Middle section of the convex arc of the North Anatolian fault system. 62. Turkey Geological Congress, Ankara.

Step, J.C. (1972, March). Analysis of the completeness of the earthquake sample in the Puget Sound area and its effect on statistical estimate of earthquake hazard. *Proc. Inter. Conf. Seattle, USA*.

Şaroğlu, F. Emre, Ö. ve Kuşçu, İ. (1992). Active Fault Map of Turkey. General Directorate of Mineral Research and Exploration.

Şaroğlu, F. Emre, Ö. Doğan, A. ve Yıldırım, C. (2005, January). Eskişehir Fault Zone ve Earthquake Potential. *Eskişehir Fault Zone and Seismicity Workshop, Expanded Abstract Book, Eskişehir*.

Tezcan, S. (1988). Marmara region peak ground acceleration forecasts. *Earthquake Research Bulletin*, 62, 45-60.

Tezcan, S. Acar, Y. ve Çivi, A. (1991, May). Seismic Risk Analysis for İstanbul, TMMOB Civil Engineering Chamber İstanbul and Earthquake Symposium, İstanbul.

Theodoros, M.T. Yadav, R.B.S. Olasoglou, E.M. ve Singh, M. (2016). Assessment of the relative largest earthquake hazard level in the NW Himalaya and its adjacent region. *Acta Geophysica*, 64(2), 362-378. DOI: 10.1515/acgeo-2016-0008.

Vyas, M. Nath, S.K. Pal, I. Sengupta, P. ve Mohanty, W.K. (2005). GSHAP revisited for the prediction of maximum credible earthquake in the Sikkim region, India. *Acta Geophysica Polonica*, 53(2), 143-152.

Yadav, R.B.S. Tripathi, J.N. Shanker, D. Rastogi, B.K. Das, M.C. ve Kumar, V. (2011). Probabilities for the occurrences of medium to large earthquakes in Northeast India and adjoining region. *Nat Hazards*, 56, 145-167.

Yüksel, F.A. (1985). Earthquake activity and earthquake risk analyses of Southwest of Turkey. *İstanbul Univ. Eng. Fac. Earth Science Journal*, 5(1-2), 169-184.