

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**POISSON, ÜSTEL VE GUMBEL UÇ DEĞERLER DAĞILIM MODELLERİ KULLANILARAK BATI  
ANADOLU BÖLGESİ'NİN DEPREMSELLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeofizik Müh. Filiz Gizem AKIN**

**ŞUBAT 2020  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**POISSON, ÜSTEL VE GUMBEL UÇ DEĞERLER DAĞILIM MODELLERİ  
KULLANILARAK BATI ANADOLU BÖLGESİ'NİN DEPREMSELLİĞİNİN  
İNCELENMESİ**

**Filiz Gizem AKIN**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**"JEOFİZİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03 / 01 / 2020**

**Tezin Savunma Tarihi : 18 / 02 / 2020**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nilgün L. SAYIL**

**Trabzon 2020**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında  
Filiz Gizem AKIN tarafından hazırlanan**

**POISSON, ÜSTEL VE GUMBEL UÇ DEĞERLER DAĞILIM MODELLERİ  
KULLANILARAK BATI ANADOLU BÖLGESİ'NİN DEPREMSELLİĞİNİN  
İNCELENMESİ**

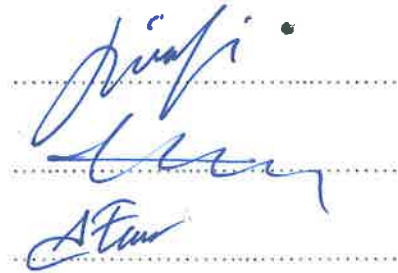
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 14 / 01 / 2020 gün ve 1837 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Fadime SERTÇELİK**

**Üye : Prof. Dr. Nilgün Lütfiye SAYIL**

**Üye : Doç. Dr. Ali ELMAS**



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında deprem bakımından oldukça aktif olan Türkiye'nin tehlikeli kabul edilen belirli bölgelerinde hasar ve can kaybı yaratabilecek depremlerin meydana gelme ihtimallerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma ile karşılaşılabilecek yıkıcı sonuçları en aza indirmek adına depremden önce ve sonra yapılması gereken afet yönetim planları oluşturulmak, deprem tehlikesinin az olduğu bölgeleri saptamak ve yerleşim kurmak, depremin yıkıcı etkilerine maruz kalınacak alanlardaki yapıların tasarım süreçlerine destek olacak bir kaynak hazırlanmaya çalışılmıştır.

Hazırlanma aşamalarında yardımlarını benden esirgemeyen ve her zaman destek olan çok değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Nilgün L. SAYIL'a anlayışı ve emeği için teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tecrübelerini benimle paylaşan ve her zaman destek olan Jeofizik Yüksek Mühendisi Kaan Hakan ÇOBAN'a ve her birinden ayrı ayrı çok şey öğrendiğim KTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde bulunan tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Yoğun tez çalışmalarım esnasında her konuda bana yardımcı olarak hoşgörü ve anlayış gösteren sevgili eşim Jeofizik Yüksek Mühendisi Özgenç AKIN'a ayrıca teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini hissettiğim ve üzerimdeki emekleri için her zaman minnet duyacağım annem Bilgen BAYINDIR ve babam Mahmut BAYINDIR'a, beni yetiştiren ve en değerli varlıklarım olan babaannem Hanife BAYINDIR ile dedem Muzaffer BAYINDIR'a sonsuz teşekkür ederim.

Filiz Gizem AKIN

Trabzon 2020

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Poisson, Üstel Ve Gumbel Uç Değerler Dağılım Modelleri Kullanılarak Batı Anadolu Bölgesi'nin Depremselliğinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım “Prof. Dr. Nilgün L. SAYIL”ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 18/02/2020

Filiz Gizem AKIN

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

POISSON, ÜSTEL VE GUMBEL UÇ DEĞERLER DAĞILIM MODELLERİ  
KULLANILARAK BATI ANADOLU BÖLGESİ'NİN DEPREMSELLİĞİNİN  
İNCELENMESİ

Filiz Gizem AKIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Nilgün L. SAYIL  
2020, 66 Sayfa

Dünyadaki en hareketli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde bulunan Türkiye, deprem aktivitesi bakımından oldukça etkin bir ülkedir. Ülkemizde yer alan Kuzey Anadolu Fay Zonu, Doğu Anadolu Fay Zonu, Bitlis Bindirme Zonu ve Batı Anadolu'da yer alan Graben Zonları gibi aktif deprem zonları geçmişte birçok yıkıcı deprem ürettiği gibi gelecekte de oluşacak depremlerde büyük can ve mal kaybına sebep olacağı bilinmektedir. Bu yıkıcı sonuçları minimuma çekmek için çeşitli istatistiksel çalışmalar yapılarak depremlerin önceden belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Türkiye'de en aktif bölgelerden birisi olan Batı Anadolu bölgesi nüfus yoğunluğu bakımından oldukça önemli ve yüksek deprem riskine sahip bir alan olarak görülmektedir. Bu nedenle Batı Anadolu bölgesi iki ana bölgeye ayrılmış ve üç farklı istatistiksel model (Poisson model, Üstel dağılım modeli ve Gumbel uç değerler modeli) uygulanarak deprem olma olasılıkları hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, bölgeler ve modeller arasında karşılaştırılarak yorumlanmış ve modellerin birbirlerinden farklı ya da benzer olduğu yanlar incelenmiştir. Yapılan olasılık çalışmalarında kuvvetli ( $M_w \geq 6.0$ ) ve büyük ( $M_w \geq 7.0$ ) depremler için üç modelin sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür.

Belirlenen iki bölge ve üç yöntem dikkate alındığında elde edilen sonuçlara bakılarak 1.bölgede magnitüdü  $M_w \geq 4.0$  olan depremlerin oluşma olasılıklarının daha yüksek, tekrarlanma periyodlarının ise daha kısa olduğu söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Poisson model, Üstel dağılım modeli, Gumbel uç değerler modeli, Depremsellik, Batı Anadolu, Türkiye

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE SEISMICITY OF THE WESTERN ANATOLIA BY  
USING POISSON, EXPONENTIAL AND GUMBEL EXTREME VALUES  
DISTRIBUTION MODELS

Filiz Gizem AKIN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Geophysical Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Nilgün L. SAYIL  
2020, 66 Pages

One of the most active earthquake zones in the world Alpine-Himalayan seismic zone located in Turkey, a country that is highly effective in terms of seismic activity. Active earthquake zones such as the North Anatolian Fault Zone, East Anatolian Fault Zone, Bitlis Thrust Zone located in our country and Graben Zones in Western Anatolia have produced many destructive earthquakes in the past and will cause great loss of life and property in future earthquakes. In order to minimize these destructive results, various statistical studies are aimed to determine earthquakes in advance.

Western Anatolia region, which is one of the most active regions in Turkey, is seen as an area with dense population and high earthquake risk. For this reason, Western Anatolia region was divided into two main regions and earthquake probability was calculated by applying three different statistical models (Poisson model, Exponential distribution model and Gumbel extreme values model). The results obtained in the study were compared in terms of regions and models and the situations where the models were different or similar from each other were examined. Probability studies have shown that the results of three models are consistent for strong ( $M_w \geq 6.0$ ) and large ( $M_w \geq 7.0$ ) earthquakes.

When the two regions and three methods are taken into consideration, it can be said that the earthquakes having a magnitude of  $M_w \geq 4.0$  are more likely to occur and the recurrence periods are shorter in the first region.

**Key Words:** Poisson model, Exponential Distribution Model, Gumbel extreme values model, Seismicity, Western Anatolian, Turkey

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iii
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	iv
ÖZET .....	v
SUMMARY .....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xi
SEMBOLLER DİZİNİ .....	xiii
1.GİRİŞ.....	1
2. ÇALIŞMA ALANININ DEPREMSELLİĞİ VE TEKTONİK YAPISI.....	5
2.1. Batı Anadolu'nun Genel Özellikleri.....	7
2.2. Batı Anadolu'da bulunan Önemli Tektonik Yapılar.....	8
2.2.1. Büyük Menderes Grabeni.....	8
2.2.2. Küçük Menderes Grabeni.....	9
2.2.3. Gediz Grabeni.....	9
2.2.4. Simav Grabeni.....	10
2.2.5. Fethiye-Burdur Fay Zonu.....	10
2.2.6. Gökova Grabeni.....	12
2.2.7. İzmir Fayı.....	12
2.2.8. Manisa Fayı.....	13
3. YÖNTEM .....	14
3.1. Poisson Modeli.....	14
3.1.1. Magnitüd-Frekans bağıntısı (G-R ilişkisi).....	17
3.2. Üstel Dağılım Modeli.....	19
3.3. Gumbel Uç Değerler Dağılım Modeli.....	21
4. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	24
4.1. Çalışma Alanının Belirlenmesi.....	24



4.1.1.	Kullanılan Deprem Kataloğunun Hazırlanması.....	25
4.2.	Poisson Modelin Uygulanması.....	27
4.3.	Üstel Dağılım Modelin Uygulanması.....	36
4.4.	Gumbel Uç Değerler Dağılım Modelin Uygulanması.....	40
5.	BULGULAR.....	51
5.1.	Poisson Model Uygulamasının Sonuçları.....	51
5.2.	Üstel Dağılım Model Uygulamasının Sonuçları.....	53
5.3.	Gumbel Modeli Uygulamasının Sonuçları.....	55
5.4.	Kullanılan İstatistiksel Modellerin Karşılaştırılması.....	58
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
7.	KAYNAKLAR.....	63
	ÖZGEÇMİŞ	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Türkiye ve yakın çevresinin yalınlaştırılmış tektonik haritası (Koçyiğit ve Deveci, 2007).....	6
Şekil 2.2. 1900-2018 yılları arasındaki $M \geq 4.0$ olan aletsel depremleri içeren Türkiye geneli deprensellik haritası.....	6
Şekil 2.3. Türkiye’yi şekillendiren ana yapılar ve bölgeler (Şengör, 1980).....	8
Şekil 2.4. Batı Anadolu grabenlerinin basitleştirilmiş haritası (Bozkurt, 2001).....	9
Şekil 2.5. Fethiye-Burdur fay yapısını ve bölgede olan depremleri gösteren harita.....	11
Şekil 2.6. Gökova grabeni ve Datça faylarını gösteren harita.....	11
Şekil 2.7. Ege denizi ve civarında meydana gelen tarihsel ve aletsel dönem önemli depremler ve faylar (Taymaz ve diğ., 2004’den derlenmiştir).....	13
Şekil 3.1. Farklı $\lambda$ değerleri için Poisson olasılık kütle fonksiyonu.....	15
Şekil 3.2. Depremlerin gerçek ve Poisson dağılım grafiği (Sayıl, 2015).....	16
Şekil 3.3. Farklı $\lambda$ değerleri için Üstel dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu.....	19
Şekil 3.4. Farklı $\lambda$ değerleri için Üstel birikimli dağılım fonksiyonu.....	20
Şekil 3.5. Gumbel I ve Gumbel III olasılık dağılımları, p: olasılık.....	21
Şekil 4.1. Çalışma alanında (dikdörtgen alanlar) meydana gelen aletsel (●) (1900-2019, $M_w \geq 4.0$ ) ve tarihsel (○) (M.Ö.496-1900, $I_0 \geq 9.0$ ) dönem depremlerinin episantr dağılım haritası.....	24
Şekil 4.2. Deprem sayılarının yıllara göre değişimi.....	26
Şekil 4.3. Çalışma alanında $M_s \geq 4.0$ olan tüm depremlerin zamana ve magnitüde göre dağılımı.....	26
Şekil 4.4. Batı Anadolu bölgesinde $M_w=4.0-5.0$ (solda) ve $M_w=5.0-6.0$ (sağda) için 119 yıllık bir zaman aralığında (1900 - 2019) gerçekleşen depremlerin kümülatif dağılımları.....	27
Şekil 4.5. 1.bölgede 0.5 birim magnitüd (sınıf) aralığı için EKK yöntemi ile kümülatif frekanslardan elde edilen magnitüd-frekans ilişkisi ve grafiği ( $R^2$ , ilişki katsayısı, $\sigma$ standart sapmadır).....	28
Şekil 4.6. 1.bölge için 0.1 birim magnitüd (sınıf) aralığı için EKK yöntemi ile kümülatif frekanslardan elde edilen magnitüd-frekans ilişkisi ve grafiği ( $R^2$ ; ilişki katsayısıdır, $\sigma$ ; standart sapmadır).....	31
Şekil 4.7. 2.bölge için 0.5 birim magnitüd (sınıf) aralığı için EKK yöntemi ile kümülatif frekanslardan elde edilen magnitüd-frekans ilişkisi ve grafiği ( $R^2$ ; ilişki	

katsayısıdır. $\sigma$ ; standart sapmadır).....	32
Şekil 4.8. 2.bölge için 0.1 birim magnitüd (sınıf) aralığı için EKK yöntemi ile kümülatif frekanslardan elde edilen magnitüd-frekans ilişkisi ve grafiği ( $R^2$ ; ilişki katsayısıdır. $\sigma$ ; standart sapmadır).....	35
Şekil 4.9. 1. Bölge için $M_w$ - LogN grafiğinden EKK yöntemiyle bulunan ilişkinin sabitleri (a ve b değerleri). $R^2$ ; ilişki katsayısıdır. $\sigma$ ; standart sapmadır.....	42
Şekil 4.10. 2. Bölge için $M_w$ - LogN grafiğinden EKK yöntemiyle bulunan ilişkinin sabitleri (a ve b değerleri). $R^2$ ; ilişki katsayısıdır. $\sigma$ ; standart sapmadır.....	47
Şekil 5.1. Seçilen bölgelere göre Poisson dağılım modelden elde edilen tekrarlanma olasılıkları.....	53
Şekil 5.2. Seçilen bölgelere göre Poisson dağılım model ortalama tekrarlanma periyodları.....	53
Şekil 5.3. Seçilen bölgelere göre Üstel dağılım yıllık tekrarlanma olasılıkları.....	55
Şekil 5.4. Seçilen bölgelere göre Üstel dağılım ortalama tekrarlanma periyodları.....	55
Şekil 5.5. Seçilen bölgelere göre Gumbel uç değerler dağılım modeli için yıllık tekrarlanma olasılıkları.....	58
Şekil 5.6. Seçilen bölgelere göre Gumbel uç değerler dağılım modeli için ortalama tekrarlanma periyodları.....	58
Şekil 5.7. 1.ve 2. bölgeler için Poisson, Üstel ve Gumbel yöntemleri ile belirlenen $7.0 \geq M_w \geq 5.0$ aralığındaki magnitüdlere sahip depremlerin olasılıkları.....	59
Şekil 5.8. 1. ve 2.bölgeler için Poisson, Üstel ve Gumbel yöntemleri ile belirlenen $7.0 \geq M_w \geq 5.0$ aralığındaki magnitüdlere sahip depremlerin tekrarlanma periyodları.....	60

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 4. 1. 1.bölgedeki depremlerin 0.5 birim magnitüd aralığı içeren sınıflara göre dağılımları (N, normal frekans değeri) ve yığınsal frekans (Ni) değerleri.....	28
Tablo 4. 2. 1.bölge için 0.5 birim magnitüd (sınıf) aralıkları için EKK yöntemi ile hesaplanan a ve b değerleri kullanılarak $7.0 \geq M_w \geq 4.0$ için hesaplanmış olan sismik risk ve tekrarlama periyodu (Q) değerleri.....	29
Tablo 4. 3. 1.bölgedeki depremlerin 0.1 birim magnitüd aralığı içeren sınıflara göre dağılımları (N, normal frekans değeri) ve yığınsal frekans (Ni)değerleri (Ni) değerleri.....	29
Tablo 4. 4. 1.bölge için 0.1 birim magnitüd (sınıf) aralıkları için EKK yöntemi ile hesaplanan a ve b değerleri kullanılarak $4.0 \leq M_w \leq 7.0$ aralığındaki magnitüder için hesaplanmış olan sismik risk ve tekrarlama periyodu (Q)değerleri.....	31
Tablo 4. 5. 2.bölgedeki depremlerin 0.5 birim magnitüd aralığı içeren sınıflara göre dağılımları (N, normal frekans değeri) ve yığınsal frekans (Ni)değerleri.....	32
Tablo 4. 6. 2.bölge için 0.5 birim magnitüd (sınıf) aralıkları için EKK yöntemi ile hesaplanan a ve b değerleri kullanılarak $7.0 \geq M_w \geq 4.0$ için hesaplanmış olan sismik risk ve tekrarlama periyodu (Q) değerleri.....	33
Tablo 4. 7. 2.bölgedeki depremlerin 0.1 birim magnitüd aralığı içeren sınıflara göre dağılımları (N, normal frekans değeri) ve yığınsal frekans (Ni) değerleri.....	34
Tablo 4. 8. 2.bölge için 0.1 birim magnitüd (sınıf) aralıkları için EKK yöntemi ile hesaplanan a ve b değerleri kullanılarak $4.0 \leq M_w \leq 7.5$ aralığındaki magnitüder için hesaplanmış olan sismik risk ve tekrarlama periyodu (Q) değerleri.....	36
Tablo 4. 9. 1.bölgede Üstel dağılım modeli için belirlenen sınıf aralıklarına karşılık gelen deprem sayıları ( $f_i$ ) ve kümülatif (toplam) değere oranları (%).....	37
Tablo 4. 10. 1. bölgede Üstel dağılım modeli için deneysel $F_{mg}(X)$ , kuramsal $F_{mb}(X)$ dağılım fonksiyonları, beklenen olasılıklar (Fi) ve ortalama tekrarlama periyodları.....	38
Tablo 4. 11. 2.bölgede Üstel dağılım modeli için belirlenen sınıf aralıklarına karşılık gelen deprem sayıları (fi) ve kümülatif (toplam) değere oranları(%).....	38
Tablo 4. 12. 2.bölgede Üstel dağılım modeli için deneysel $F_{mg}(X)$ , kuramsal $F_{mb}(X)$ dağılım fonksiyonları, beklenen olasılıklar (Fi) ve ortalama tekrarlama	

periyodları.....	39
Tablo 4. 13. 1.bölge için 1900-2019 süresince oluşan depremlerin yıllara göre en büyük magnitüdüleri.....	40
Tablo 4. 14. 1.bölge için 1900-2019 sürecinde meydana gelen depremlerin Gumbel modeli ile yıllık maksimum dağılımı hesapları. Deprem bulunmayan yıllar için $M_{max}=4.2$ alınmıştır.....	41
Tablo 4. 15.1.bölge için Gumbel uç değer dağılımı ile deprem tekrarlanma aralıkları (Tr) ve yıllık oluş sayıları (N).....	43
Tablo 4. 16. Gumbel uç değer dağılım yöntemi ile 1. Bölge için 100 yıllık sürede 10'ar yıllık zaman aralıklarıyla hesaplanan risk değerleri .....	44
Tablo 4. 17. 2.bölge için 1900-2019 süresince oluşan depremlerin yıllara göre en büyük magnitüdüleri.....	45
Tablo 4. 18. 2.bölge için 1900-2019 sürecinde meydana gelen depremlerin Gumbel yıllık maksimum dağılımı hesapları. Deprem bulunmayan yıllar için $M_{max}=4.2$ alınmıştır.....	46
Tablo 4. 19.2.bölge için Gumbel uç değer dağılımı ile deprem tekrarlanma aralıkları (Tr) ve yıllık oluş sayıları (N).....	48
Tablo 4. 20. Gumbel uç değer dağılım yöntemi ile 2. Bölge için 100 yıllık sürede 10'ar yıllık zaman aralıklarıyla hesaplanan risk değerleri.....	49
Tablo 5.1. 1.bölge için EKK yöntemi ile hesaplanan a ve b değerleri kullanılarak 0.5 birim aralıklarla $M_w \geq 4.0$ için hesaplanmış olan sismik risk ve tekrarlanma periyodu değeri (Q).....	52
Tablo 5.2. 2.bölge için EKK yöntemi ile hesaplanan a ve b değerleri kullanılarak 0.5 birim aralıklarla $M_w \geq 4.0$ için hesaplanmış olan sismik risk ve tekrarlanma periyodu değeri (Q).....	52
Tablo 5.3. 1. bölgede Üstel dağılım modeli için beklenen yıllık tekrarlanma olasılıkları ve ortalama tekrarlanma periyodları.....	54
Tablo 5.4. 2.bölgede Üstel dağılım modeli için yıllık tekrarlanma olasılıkları ve ortalama tekrarlanma periyodları.....	54
Tablo 5.5. 1. bölgede 100 yıl içerisinde 10'ar yıllık aralıklarla hesaplanan ortalama tekrarlanma periyodu (Tr) ve deprem tekrarlanma olasılıkları.....	56
Tablo 5.6. 2. bölgede 100 yıl içerisinde 10'ar yıllık aralıklarla hesaplanan ortalama tekrarlanma periyodu (Tr) ve deprem tekrarlanma olasılıkları.....	57

## SEMBOLLER DİZİNİ

D-B	: Doğu-Batı
F(n)	: Aralık geçiş olasılığı
$\tilde{F}(X_i)$	: Sıra medyan değerleri
$f_i$	: Üstel dağılım model için frekans dağılımı
$F_{MG}$	: Deneysel dağılım fonksiyonu
$F_{MB}$	: Kuramsal dağılım fonksiyonu
$F_i$	: Depremlerin yıllık tekrarlanma sayıları
$f(x)$	: Üstel dağılım fonksiyonu
G-B	: Güney-Batı
GGB	: Güney – Güneybatı
K-G	: Kuzey-Güney
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
$k_i$	: Olayların meydana gelme sayısı
KKB	: Kuzey-Kuzeybatı
Km	: Kilometre
M	: Magnitüd
$M_s$	: Yüzey Dalgası Magnitüdü
mm	: Milimetre
mm/yıl	: Milimetre/yıl
$M_w$	: Moment Magnitüdü
$M_d$	: Süre Magnitüdü
$M_b$	: Cisim Dalgası Magnitüdü
$M_L$	: Lokal Magnitüd
$n(M)$	: Depremlerin yıllık ortalama oluş sayıları
$N_c$	: Yığımsal Frekans
Q	: Tekrarlama periyodu
$R(M)$	: Deprem riski
T	: Zaman
$X(t)$ , $X(n)$	: Stokastik Süreç
$\pi(t)$	: t zamanındaki durumların olasılıkları
$\Delta$	: Boyutları aynı olan iki matrisin karşılıklı elamanlarının çarpımını

- $\Delta t$  : Yıl aralığı  
 $\beta$  : Şekil parametresi  
 $\gamma$  : Yer parametresidir  
 $\lambda_i$  : Poisson dağılımın parametresi  
● : Meydana gelen aletsel depremler  
○ : Meydana gelen tarihsel depremler



## 1.GİRİŞ

Dünyanın oluşumundan günümüze kadar, sismik olarak aktif bölgelerde depremlerin ardışık bir şekilde ortaya çıktığı, bu depremler sonunda da milyonlarca insanın hayatını kaybettiği ve yerleşim yerlerinin yok olduğu bilinmektedir. Türkiye de dünya üzerinde oldukça etkin bir deprem kuşağında yer almaktadır. Alp-Himalaya deprem kuşağı olarak adlandırılan bu bölgede geçmişte birçok yıkıcı deprem meydana geldiği gibi gelecekte de oluşacak depremler büyük can ve mal kaybına neden olacaktır. Bu yıkıcı sonuçları en aza indirmek adına depremden önce ve sonra yapılması gereken afet yönetim planları oluşturulmalı ve sismolojik açıdan detaylı çalışmalar yapılmalıdır. Deprem Bölgeleri Haritasına göre, yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir.

Türkiye'nin sismik olarak aktif bölgelerinden Batı Anadolu bölümü karmaşık tektonik yapısı nedeniyle geçmişte birçok deprem oluşturmuş ve gelecekte de deprem oluşturma potansiyeli yüksek bir bölgedir. Gelecekte oluşabilecek bu depremlerin jeolojik ve jeofiziksel olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu incelemelerin yapılabilmesi için ülkemizdeki aktif faylar ele alınarak depremleri iyi bir şekilde kaydetmeyi sağlayacak gözlem istasyon ağlarının olması gerekmektedir. Buradan elde edilen veriler işlenerek deprem parametreleri belirlenmelidir. Bu çalışmalar sonucunda ileride olabilecek depremlerin olasılıkları belirlenmeye çalışılabilir. Çalışmada elde edilen verilere göre binalar deprem tehlikesine göre dizayn edilebilir, kurulacak yaşam alanları seçilebilir ve en az hasarla deprem tehlikesi atlatılabilir.

Deprem tehlikesinin belirlenmesinde kullanılmak amacıyla birçok deprem oluşum modeli geliştirilmiştir. İstatistiksel deprem oluşum modelleri mevcut deprem verilerinin miktarı artarken, daha fazla önem kazanmaktadır. Bu modeller, büyük deprem olaylarının veri kümelerini herhangi bir bölge için istatistiksel parametrelere indirgeyerek belirli bir bölgedeki deprem oluşumlarını, tekrarlanma sürelerini, maksimum yer hareketlerini ve deprem tehlikesini tahmin etmek için kullanılabilir (Cornell, 1968). Deprem oluşum sürecini temsil etmek için ileri sürülen istatistiksel modellerden en yaygın olanı, büyük depremler dâhil olmak üzere tüm depremlerin mekân ve zamandan bağımsızlığını varsayan Poisson modelidir; yani bir yerde meydana gelen deprem, bir sonraki zaman biriminde aynı yerde benzer bir



deprem olasılığını etkilemez. Modeli ilk olarak Cornell (1968) sonrasında ise Caputo (1974), Shah ve Movassate (1975) ve Bath (1978) çalışmalarında kullanmışlardır. İstatistiksel veriler Poisson modelin özellikle büyük magnitüdü depremler için uygun bir model olduğunu göstermektedir. Bu modelin başlıca eksikliği depremlerin zaman-mekân boyutunda bir ana şok etrafında kümeleşme eğilimlerini ve ardışık depremler arasındaki enerji birikimini yansıtmamasıdır. Geçmişte yapılan çalışmalara bakıldığında, geniş alanlar için Poisson modelin güvenilir sonuçlar verdiği, ancak küçük alanlarda depremlerin birbirinden bağımsız oluşu nedeniyle iyi sonuçlar vermediği anlaşılmıştır (Olivera, 1974). Bölgesel sismisite söz konusu olduğunda temel sürecin, ortalama sismisite oranının (a-değeri) ve verilen deprem büyüklüğü ile tekrarlama aralıklarının ölçeklendirmesini (b-değeri) belirleyen iki parametrelili bir model olarak Gutenberg-Richter (1954) tarafından tanımlanan G-R magnitüd-frekans dağılımına uyduğu varsayılmaktadır. Belirli bir bölge için, bu iki parametrenin değerleri, gözlemsel deprem verilerine eğri uydurularak tahmin edilir. Gözlemsel veri kümesi her zaman, deprem geçmişinin sadece küçük bir altkümesi (veya örnekleme) olduğundan ve gözlemsel hatalar (örneğin yanlış veya yüksek hata paylı magnitüd belirlemesi) içerebildiğinden, model parametrelerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi beklenemez.

Ayrıca, gözlemsel değerlerin tam aralığının yeterli örneklerini içermeyen bir veri seti kullanıldığında da yanlış model parametreleri belirlenecektir. Sismisite özellikle bu sınırlamada sorun yaşar, çünkü tarihsel deprem katalogları genellikle büyük magnitüdü (G-R dağılımının aşırı değerleri) için tamamlanır, ancak daha küçük magnitüdü için tam değildir. Yani tarihsel kataloglar daha çok büyük magnitüdü içermektedir. Bu durumda kullanılacak modellerden birisi ilk olarak Nordquest (1945) tarafından ileri sürülen daha sonra Gumbel (1958), Knopoff ve Kagan (1977) ve Burton (1979, 1981) tarafından uygulanan Gumbel uç değerler dağılımı modelidir. Bu model maksimum magnitüdü depremlerin oluşma olasılıklarının “Uç Değerler Teorisi” kullanılarak belirlenmesini içerir. Uç değerler kuramı gözlenen en büyük deprem magnitüdülerinin birbirinden bağımsız olduğunu varsayar ve yöntemin en büyük avantajı deprem oluşumlarının istatistiksel analizinde verilerin eksik olması durumunda da kullanılabilir olmasıdır.

Deprem dizilerini, gerilme enerjisinin açığa çıkma mekanizmaları (elastik rebound teorisi) olarak göstermek için kullanılan olasılıksal modellerden birisi de Hagiwara (1975) ile Kiremidjian ve Anagnos (1980) tarafından önerilen Markov modelidir. Markov modeli gelecekteki depremlerin geçmiş depremlere bağımlı olduğu varsayımını öngördüğü için, aynı yapısal süreksizliklerin olduğu alanlarda başarılı sonuçlar vermiştir. Yani Markov Modelin zaman ve konum bağımlılığı vardır ve olayların kendinden önce gerçekleşen olaylara bağlı

olmalarından dolayı tek-adım bellek özelliği göstermektedir. Buna karşın Semi- Markov modelinde ise sadece konuma bağlı olma özelliği vardır, yani depremlerin zamansal boyutta seçilen her birim zamanda olması beklenemez. Ardışık olaylar arasında geçen zamanın bir önceki ve gelecekte olacak olaylara bağlı olmasından dolayı Semi-Markov model çok-adım bellek özelliği göstermektedir (Howard, 1971). Deprem tahmini için kullanılan modellerden birisi de Üstel dağılım modelidir (Utsu, 1984). Pasari ve Dikshit (2014), Pasari (2015) bu modeli farklı bölgeler için uygulamış ve deprem kataloglarında en uygun tahmini veren model olarak değerlendirmişlerdir.

Bugüne kadar çeşitli istatistiksel deprem oluşum modelleri kullanılarak Batı Anadolu bölgesinin deprem tehlikesi araştırılmıştır: Bağcı (1996, 2000), 1900-1999 yılları arasında bölgede meydana gelen 4.0 veya daha büyük magnitüdeki depremleri inceleyerek İzmir ili ve çevresi için bir magnitüd-frekans bağıntısı geliştirmiş, Poisson ve Gumbel dağılım modellerini kullanarak gelecekteki depremlerin tekrarlama olasılığını belirlemeye çalışmıştır. Altınok (1991) Semi-Markov modeli kullanarak Batı Anadolu bölgesini, Pınar ve diğ. (1999) Ege bölgesi için Markov modelini kullanarak deprem olma olasılığını incelemişlerdir. Burton ve diğ. (2004) Ege bölgesi ve Yunanistan'ı içeren deprensellik çalışmasında Gumbel uç değerler modelini kullanmış, Ege yayı için orta şiddetteki ( $M=5.5$ ) depremlerin ortaya çıkma ihtimalinin yüksek, nispeten büyük yıkıcı deprem sıklığına sahip olduğunu göstermiştir. Sayıl ve Osmaşahin (2008) Poisson modeli uygulayarak Batı Anadolu'da en yüksek deprem olasılığını Bodrum (%63.2) için hesaplamışlardır. Sayıl (2013) Batı Anadolu'yu 13 sismik zona ayırarak kuvvetli ( $M \geq 6.0$ ) ve büyük ( $M \geq 7.0$ ) depremler için uzun dönem deprem kestirimi çalışması yapmış, en yüksek riski Gölhisar-Dalaman-Rodos için belirlemiştir. Talbi ve diğ. (2019) magnitüdü  $M \geq 5.0$  ve  $M \geq 6.0$  olan depremlerle olay içi ortalama sürenin varyansa oranı olarak tanımlanan moment oranı yöntemini kullanarak Türkiye ve çevresinin deprenselliğini araştırmışlar ve Girit adasının doğusundaki Ege yayı yitim bölgesi boyunca yüksek tehlike belirlemişlerdir. Çoban ve Sayıl (2019) farklı dağılım modellerini (Üstel, Weibull, Gamma, Log-normal ve Rayleigh dağılımı) kullanarak Batı Anadolu'da deprem olasılıklarını incelemişlerdir.

Bu tez kapsamında deprem üretme bakımından aktif olan Batı Anadolu bölgesi farklı istatistiksel model ve yöntemlerle araştırılıp sonuçlara göre deprem tahmini çalışması yapmak amaçlanmaktadır. İnceleme alanının seçiminde jeolojik yapı, fay sistemleri ve episantr dağılımları göz önüne alınmış ve Batı Anadolu bölgesi iki bölüme ayrılmıştır. Çalışma alanında 1900-2019 yılları arasında magnitüdü  $M_s \geq 4.0$  olan depremlerden yararlanılmıştır. Poisson dağılım modeli, Üstel dağılım modeli ve Gumbel Uç Değerler dağılım modeli

kullanılarak bölgenin deprenselliği incelenmiş ve gelecek 100 yıl içerisinde 10 ar yıllık periyotlarda depremlerin olasılıkları hesaplanmıştır.

Tez içeriğine bakıldığında Giriş bölümünün ardından alışma Alanının Tektonik Yapısı kısmında seçilen inceleme alanı hakkında detaylı bilgiler verilmektedir. Sonrasında Yöntem bölümünde kullanılan istatistiksel yöntemler açıklanmaktadır. Yapılan alışmalar bölümünde bahsedilen yöntemlerin uygulanma aşaması ve bu aşamada yapılan hesaplamalar ve elde edilen değerlerden bahsedilmiştir. Son olarak Sonuçlar ve Tartışma bölümünde yapılan uygulamaların grafiksel sonuçları, yöntemlerin karşılaştırmaları ve değerlendirmeler sonucunda yapılan yorumlar yer almaktadır.



## 2. ÇALIŞMA ALANININ DEPREMSELLİĞİ VE TEKTONİK YAPISI

Tamamıyla Alp kıvrım kuşağında yer alan ülkemizde, her jeolojik zaman ve hatta her jeolojik devire ait çeşitli birimler bulunmaktadır. Ülkemizin kabuk tabakası, çeşitli jeolojik devirlerde dağ oluşumu (orojenez), kütle halinde alçalma-yükselme (epirojenez) ve düşey ve yatay yönde yer hareketlerine uğramıştır. Bu yer hareketleri sonucunda yüzlerce km. uzunluğunda kırık hatları oluşmuştur. Bu kırıklardan çıkan lavların birikmesi ile volkanik birimler ve volkanik dağlar oluşmuştur. III. Jeolojik zamanda Alp kıvrım hareketleri şiddetli bir evreye girmiş ve buna bağlı olarak Tetis birikim alanları hızla yükselerek Kuzey Anadolu ve Toros dağ kuşaklarını meydana getirmiştir. III. Jeolojik zamanın sonu ile IV. zamanın başlarında yükselme sonucu Anadolu aşağı yukarı bugünkü görünümünü almıştır. Günümüzde Ege Denizi'nin bulunduğu kara parçası (Egeid) bloklar halinde çökmüş Akdeniz'in sularının işgaline uğramıştır. Egeid kara parçasında yer alan yüksek alanlar Ege Adalarını meydana getirmiştir.

Depremlerin istatistiksel çalışmalarında yapılan bölge seçimlerinde jeolojik ve jeomorfolojik özellikler, depremlerin episantr dağılımları fay sistemleri ve depremsellikleri gibi konular göz önüne alınmaktadır. Dünya üzerinde yer alan önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya dağ oluşum kuşağı, Afrika/Arabistan ve Hindistan Levhalarının kuzeye doğru hareketi ve sonunda Avrasya Levhası ile çarpışması sonucu meydana gelmiştir. Arabistan levhası Avrasya levhası sabit alındığında göreceli olarak yılda yaklaşık olarak 25 mm hızla KB yönüne doğru, Afrika levhası da yaklaşık olarak yılda 10 mm hızla kuzeye doğru ilerlemesi sonucunda, Anadolu levhası Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Zonları boyunca saatin tersi yönünde batıya kaçmaktadır (McKenzie, 1978, McClusky ve diğ., 2000). Kalafat (1998), Anadolu levhasının batıya doğru olan bu kaçıışı, Ege'de Yunan makaslama kuşağının engellemesi ve D-B doğrultulu basınç ve bunu karşılamaya yönelik olarak da K-G yönlü genişleme rejiminin doğmasına sebep olduğunu belirtmiştir (Şekil 2.1).

Türkiye aktif Alp-Himalaya kuşağı üzerinde yer almakta olup, yüksek depremsellik seviyesine sahiptir. Batı Anadolu bölgesi de dünyanın en çok deprem olan yerlerinden biridir. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsünün (KOERI) (URL-1) hazırlamış olduğu 1900-2018 yılları arasında magnitüdü  $M \geq 4.0$  olan depremleri içeren Türkiye geneli depremsellik haritasında Batı Anadolu'da ve Ege denizinde fazla sayıda

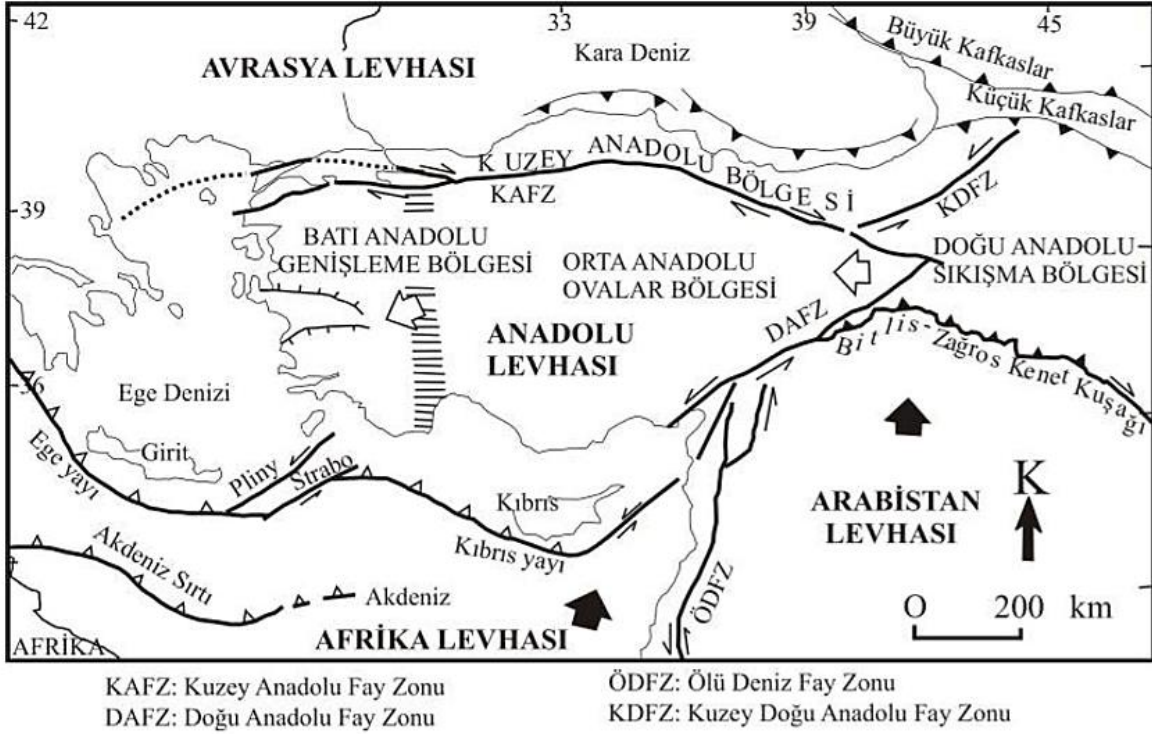


## 2.1. Batı Anadolu'nun Genel Özellikleri

Genişleme tektoniği etkisindeki Batı Anadolu'da, oligosen sonunda başlayan K-G açılması sonucunda Ege Denizi ortaya çıkmıştır. Ege Denizinin altında yer alan kabuk kalınlığı Anadolu'ya ve Yunanistan'a doğru artış göstermektedir (Okay, 2001). Batı Anadolu, Neotektonik dönemle beraber gelişen horst-graben yapıları ve aktif volkanizma etkisi sebebiyle jeotermal ve hidrotermal aktivitede öncü olan bir durumdadır. Bölge, kuzeyde sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu, güneyde ise Ege-Batı Kıbrıs yayı boyunca süren sıkışma tektoniğinin etkisi altındadır. Normal ve eğim atımlı pek çok fayın bulunduğu bölgede farklı büyüklüklerde ve şekillerde grabenler oluşmuştur. Bunların başlıcaları Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz grabenleridir. Bu alanlar D-B yönlü doğrultu atımlı faylarla sınıflandırılan birçok bloklardan oluşmaktadır ve bu blokların arasında D-B uzanımlı grabenler bulunmaktadır. Grabenlerle ilgili fay düzlemi çözümleri genel olarak K-G yönünde olan bir gerilmeyi göstermektedir (McKenzie, 1972). Batı Anadolu'daki açılma rejimi köken olarak Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fayları boyunca Anadolu bloğunun batı yönüne kaçması ile ilişkilendirilmektedir (Şengör ve Kidd, 1979; Şengör, 1980; Şengör ve diğ., 1985).

Bu kıtasal çarpışma geniş bir deformasyon zonu oluşturmuştur. Anadolu-Ege bloğu saatin tersi yönünde bir hareketle Ege yayına doğru kaçmaktadır ve bu hareketin kuzey sınırını Kuzey Anadolu Fay Zonu belirlemektedir. Güney sınırı ise doğuda Doğu Anadolu Fay Zonu, güneyde ise Kıbrıs ve Ege yayları oluşturmaktadır. Anadolu-Ege bloğunun rotasyonel hareketinin iki sebebi bulunmaktadır. İlk olarak Doğu Anadolu'da Avrasya ve Arap levhalarının çarpışması sonucunda kıtasal Anadolu bloğunun batı yönüne ilerlemesi, ikincisi ise Ege yayındaki batan okyanus kabuğunun ağırlığı nedeniyle arkın güneye geri çekilmesi sonucunda Batı Anadolu ve Ege Denizi'nde oluşan KKD-GGB genişlemedir (Şekil 2.3). Batı Anadolu ve Ege Denizi'ndeki kuzey-güney gerilmesinin hızı güncel GPS verilerine bakıldığında 15mm/yıl civarındadır.





Şekil 2.3. Türkiye'yi şekillendiren ana yapılar ve bölgeler (Şengör, 1980).

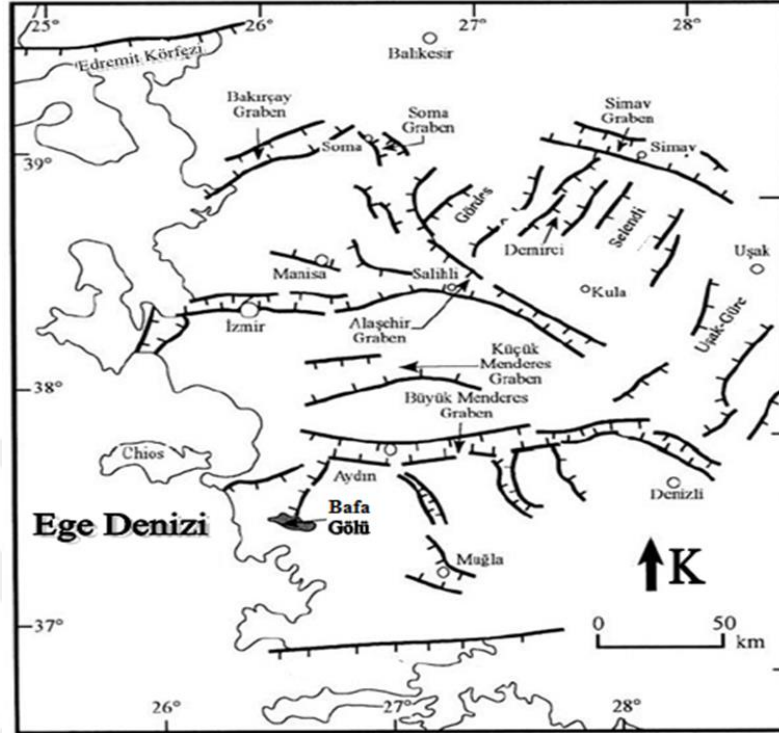
## 2.2. Batı Anadolu'da Bulunan Önemli Tektonik Yapılar

Bölgede K-G yönündeki genişleme tektoniğine bağlı olarak D-B yönünde birçok graben gelişmektedir. Bu grabenlerin başlıcaları Gediz, Büyük ve Küçük Menderes, Bakırçay grabenleridir. Bunlarla beraber İzmir'in kuzeyinde KD-GB hatlar D-B yapılara göre önem kazanmaktadır. Fay sistemlerine bağlı olarak Batı Anadolu'da oldukça yoğun bir deprem aktivitesinin olduğu anlaşılmaktadır. Bu yüzyılda gerçekleşen depremler incelendiğinde çok önemli bölümünün belli tektonik yapılarda oluştuğu görülmektedir (Şekil 2.4).

### 2.2.1. Büyük Menderes Grabeni

Büyük Menderes grabeni yaklaşık 200 km uzunluğunda olup Denizli ile Ege Denizi arasındadır. Bu grabenin ana fayı kuzey kenarı boyunca uzanmaktadır. Büyük Menderes grabeni tarihsel dönemde birçok deprem üretmiştir. Özellikle 1899 da meydana gelen deprem yakın zamanda olan en büyük depremdir. 1955 Balat depreminde (M=6.7) Büyük Menderes grabeninin fay düzlemi çözümünde KD-GB yönünde sağ-yanal hareket gösterdiği gözlemlenmiştir. Sismik aktivitenin Denizli civarında yoğunlaşmakta olduğu görülmüştür. Bu

alanda yer alan antik şehirlerde ve morfolojisinde geçmiş depremlere bağlı deformasyonlara ve fay şevlerine rastlanmıştır ve günümüzde bu konuda çalışmalar devam etmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Batı Anadolu grabenlerinin basitleştirilmiş haritası (Bozkurt, 2001).

### 2.2.2. Küçük Menderes Grabeni

Küçük Menderes vadisinin güney kısmının batı yarısında kuzey yönünde eğimli bir fay görülmektedir (Şekil 2.4). 1928 yılındaki Torbalı depremine bu fayın neden olduğu sanılmaktadır (Westaway, 1993). Fay Efes Antik şehrinden geçerek Ege Denizi'ne kadar uzanmaktadır. Bu fay üzerinde meydana gelen depremler İzmir ve çevresi açısından önem taşımaktadır. 1928 depremi İzmir'de önemli hasarlar meydana getirmiştir.

### 2.2.3. Gediz Grabeni

Gediz grabeni Manisa'dan Pamukkale'ye kadar uzanmakta olan ve ortalama 200 km uzunluğundaki bir yapıdır (Şekil 2.4). Grabende ana fay güney kenar boyunca uzanmaktadır. 28 Mart 1969 da  $M=6.5$  büyüklüğündeki Alaşehir depremi burada meydana gelmiştir. Tarihsel depremlerin çoğu Denizli/Pamukkale, Büyük Menderes ve Gediz grabenleri etrafında



yoğunlaşmıştır. Gediz grabeninin batı ucunda yer alan faylar grabenin Kemalpaşa ve Manisa kollarını oluşturur. Manisa kolu doğu ucunda Turgutlu fayının KB devamlılığı şeklinde izlenen Manisa fayına bağlı olarak şekillenmiştir. Kemalpaşa kolundaki aktif yapıların başlıcaları ise graben ana sıyrılma fayı, Kemalpaşa fayı ve bir transfer yapısı olan Dağkızılca fayıdır.

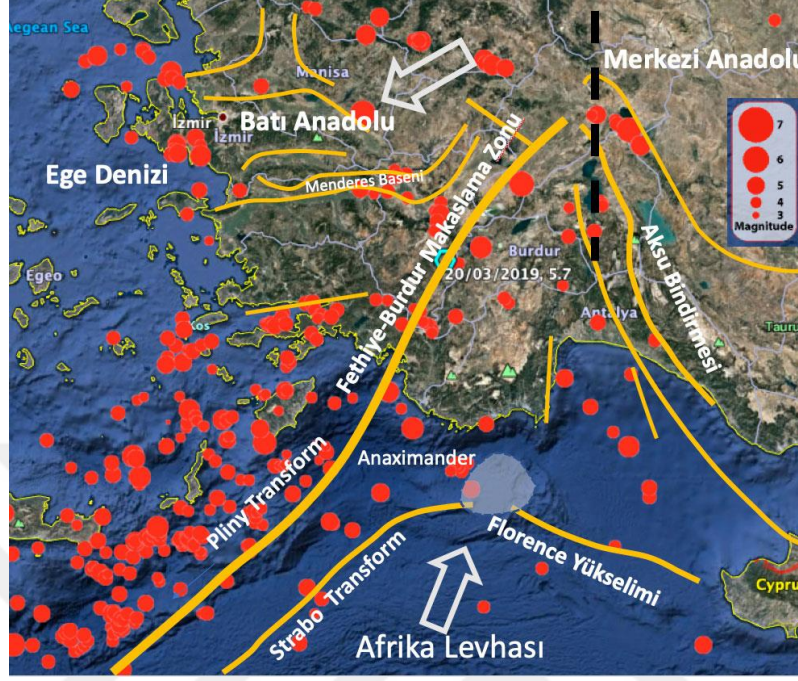
#### **2.2.4. Simav Grabeni**

Simav ovasını güneyden sınırlayan BKB-DGD yönlü fay, Simav grabeni olarak tanımlanmaktadır (Erer, 1977; Akdeniz ve Konak, 1979; Şaroğlu ve diğ., 1987). Simav fay zonunun yaklaşık 150 km uzunluğunda olduğu belirtilmiştir (Şekil 2.4). Şaroğlu ve diğ., (1987), Simav fayının sağ yönlü doğrultu atımlı faylara özgü tipik fay vadilerinin olduğunu açıklarken, Kadirioğlu ve diğ., (2014) bölgede oluşan depremlerin odak mekanizması çözümlerine ve ayrıntılı sismolojik gözlemlere dayanarak Simav Fay Zonunun günümüzde normal fay karakterinde çalıştığını belirtmişlerdir.

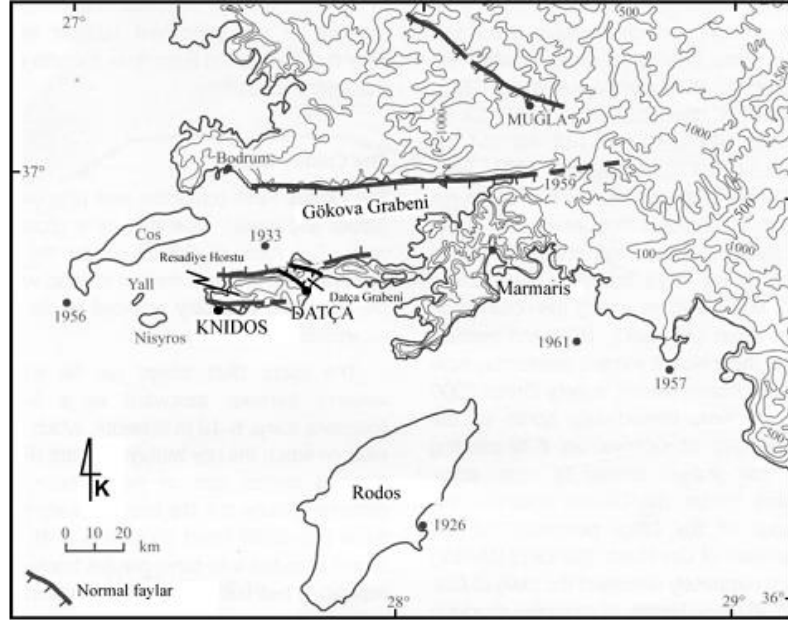
#### **2.2.5. Fethiye-Burdur Fay Zonu**

Burdur gölü ve çevresinde, Burdur havzasını doğudan ve batıdan sınırlayan KD-GB gidişli fay, Burdur fayı olarak tanımlanmıştır (Şaroğlu ve diğ., 1987). Fethiye-Burdur Fay Zonu normal bileşenli sol yönlü doğrultu atımlı bir faydır (Şekil 2.5). Buradaki sismik aktivite yoğundur ve küçük-orta ölçekli depremler üretmektedir. Burdur civarında son yüzyılda oldukça önemli iki deprem oluşmuştur (1914, M=7.0 ve 1971, M=6.2). Bunların dışında Fethiye-Burdur Fay Zonu, depremselliği oldukça fazla bir makaslama zonudur ve bu zonun içinde 22 Kasım 1963 Tefenni depremi (Ms=4.6), 13 Haziran 1965 Honaz (Denizli) depremi (Mw=5.9), 14 Ocak 1969 Fethiye-Kaş depremi (Mw=6.3), 12 Mayıs 1971'de (Mw=5.8) Burdur depremi ve artçı depremleri bölgede fazla sayıda hasar yaratmış ve insan kaybına sebep olmuş depremler şeklinde kayıtlara geçmiştir. Depremlerin çoğu normal ve oblik fay çözümleri vermektedir. Fethiye-Burdur Fay Zonunun orta kesiminde Çameli, Gölhisar ve Acıpayam basenleri yerleşmiştir. Bu basenler yoğun şekilde genç çökeller içermektedirler. Morfolojik ve jeolojik olarak çok belirgin olan Acıpayam baseninde 20 Mart 2019'da Mw=5.7 büyüklüğünde kuvvetli bir deprem meydana gelmiş ve çok sayıda kırsal yapıda hasara neden olmuştur. Depremi çok sayıda artçı deprem izlemiştir. Depremin fay düzlemi

çözümü KB-GD doğrultulu normal faylanmadır ve Acıpayam baseninin uzanımı ile tam uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 2.5. Fethiye-Burdur fay zonunu ve bölgede olan depremleri gösteren harita



Şekil 2.6. Gökova grabeni ve Datça faylarını gösteren harita

### 2.2.6. Gökova Grabeni

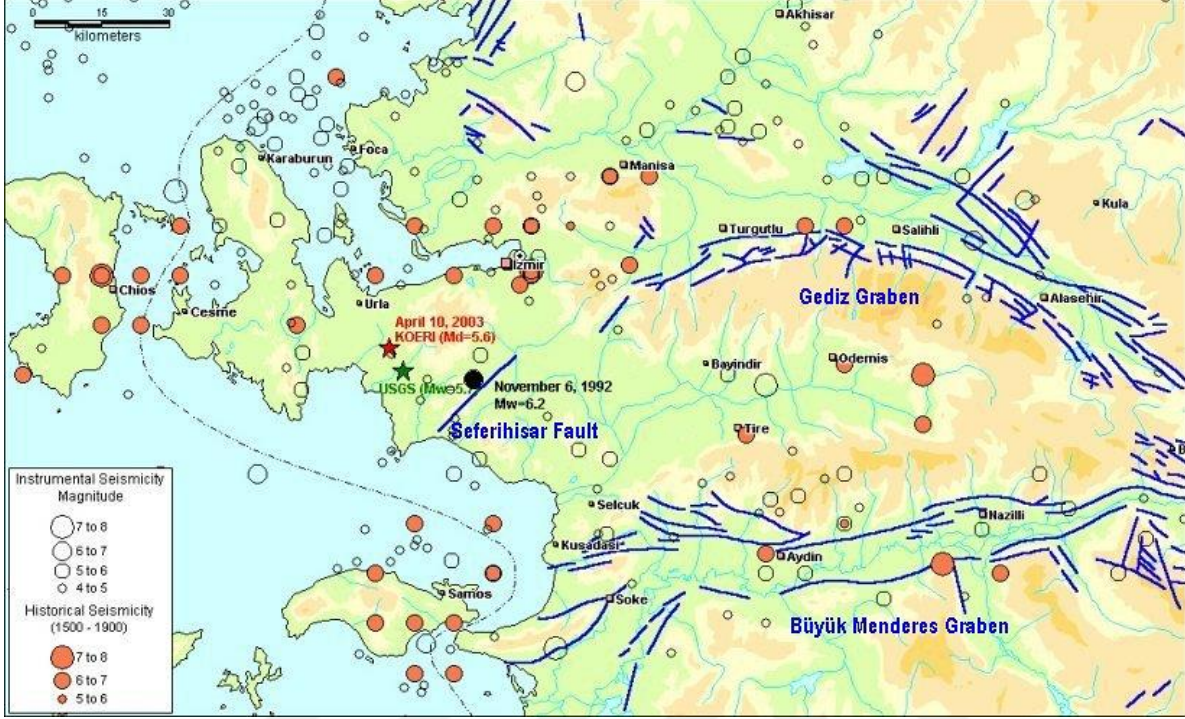
Bölgedeki en önemli ve en genç yapısal unsur olan D-B doğrultusundaki Gökova grabeni, Datça yarımadası ile Bodrum yarımadası arasında yer almaktadır (Şekil 2.6). Grabenin kuzey kenarı, fay düzlemi oldukça dik normal bir fayla kontrol edilirken, güney kenarı kavisli (listrik) yapıdaki Datça Fayı ile kontrol edilmektedir (Kurt ve diğ., 1999). Gökova grabeninin oluşumu ve yaşı hakkında farklı fikirler ileri sürülmüştür. Ancak Gökova grabeninin güney kenarını kontrol eden Datça Fayı aynı zamanda Datça grabeninin Geç Pliyosen yaşlı dolgusunu kesmektedir. Bu da Datça Fayı'nın ve dolayısı ile Gökova grabeninin Geç Pliyosen sonrası meydana geldiğini kanıtlamaktadır. Ayrıca bölgedeki sismik aktivite bu fayın günümüzde de aktif olduğunu göstermektedir.

### 2.2.7. İzmir Fayı

İzmir körfezinin doğusunda, bu körfezi güneyden morfolojik olarak sınırlandıran D-B uzanımlı fay İzmir fayı olarak adlanmıştır (Emre ve Barka, 2000). İzmir ve çevresinde sismik aktivite ortalama 10-15 km derinlikte meydana gelmektedir. Depremlere neden olan fay uzunlukları yaklaşık 10 km civarındadır. İzmir fayı, İzmir körfezini morfolojik olarak güneyden sınırlandıran D-B yönlü faydır. İzmir çöküntüsü Miyosen yaşlı sedimanter ve volkanik kayalardan oluşan Yamanlar dağ kütlesi tarafından sınırlandırılır. Fayın güney bloğu ise morfolojik olarak yüksektir. Fayın morfolojisi Kuvaterner içinde aktif olduğunu göstermektedir. Yoğun bir yerleşim alanı olması nedeniyle fay ile alakalı veriler sınırlıdır, fakat genel jeomorfolojik yapısının normal faylara özgü olduğu belirtilmektedir. İzmir fayı batı ucunda ikiye ayrılmaktadır. Güney kolu KD-GB doğrultulu ve sağ yönlü doğrultu atımlı Seferihisar fayının doğrultusunda son bulur (Şekil 2.7). KB'ya yönelen kuzey kol ise olasılıkla İzmir körfezi tabanında Çiçekadaları ile Uzunada doğusunda yer alan KKB-GGD doğrultulu fay zoneyle bağlantılıdır.

Aletsel dönem kayıtları İzmir kenti yakın çevresinde yoğun bir deprem aktivitesini belirler. İzmir fayı boyunca belirli periyotlarda izlenen mikrodremler fayın doğu yarısında yoğunlaşır (Akıncı ve diğ., 2000) (Şekil 2.7). İzmir ilinde lokal hasar yapmış olan orta büyüklükteki 1974 (M=5.3) ve 1977 (M=5.5) depremlerinin dışmerkez lokasyonları İzmir fayına yakındır. Bu iki depremde de il merkezindeki yapıların hasar görmüş olması dikkat çekicidir. 1977 depreminin fay düzlemi çözümünden normal faylanma mekanizması elde

edilmiştir. Ancak sismolojik veriler bu depremlerin kaynağının İzmir fayı olup olmadığına yorumlanamamaktadır.



Şekil 2.7. Ege denizi ve civarında meydana gelen tarihsel ve aletsel dönem önemli depremler ve faylar (Taymaz ve diğ., 2004'den derlenmiştir).

### 2.2.8. Manisa Fayı

Manisa Fayı Gediz grabeninin kuzeybatı kolunda yer alan normal bir faydır (Şekil 2.7). Turgutlu ile Manisa batısındaki Muradiye arasında yaklaşık 40 km uzunluğundadır. Fay yapısı KB gidişli olup geniş bükümlerden oluşan kavisli bir uzanım sunar. Turgutlu-Manisa arasındaki fay KB doğrultusunda uzanan tek bir çizgisellikten oluşur. Manisa fayı Gediz grabeninin orta kesiminde graben tabanındaki Holosen dolguları ile güneydeki PliyoKuvaterner çökelleri arasında yer alan Turgutlu fayının batı devamını oluşturmaktadır.

### 3. YÖNTEM

Deprem aktivitesi fazla olan bölgelerdeki risk analizleri depremi oluş sıklığının ve tekrarlanma periyodunun belirlenmesi bakımından oldukça önemlidir. Bu nedenle çeşitli istatistiksel deprem oluşum modelleri tanımlanmıştır: Poisson modeli, Üstel Dağılım modeli ve Gumbel uç değerler modeli bu amaçla sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir.

#### 3.1. Poisson Modeli

Deprem risk hesaplamalarında bugüne kadar birçok model kullanılmıştır. En yaygın olarak kullanılan yöntem Poisson model'dir. Modelin temel özelliği olayların oluşumunu uzay ve zaman boyutunda bağımsız varsayıdır. Poisson modeli, genelleştirilmiş doğrusal bir model olarak belirtilmektedir. Belirli bir zaman ya da bir yerde olan olayların sayısının (bağımlı değişken) hesaplanmasında Poisson modeli kullanılmaktadır (Lloyd, 1999).

$$k_i \sim \text{Poisson}(\lambda_i) \quad i=1,2,\dots \dots \dots N \quad (3.1)$$

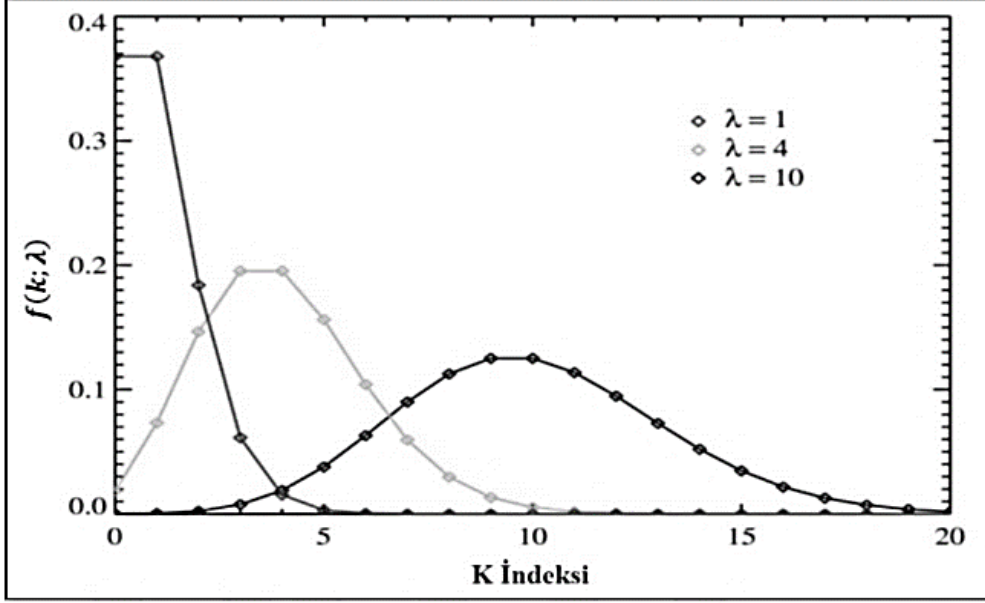
Buradan  $k_i$  olayların meydana gelme sayısının Poisson dağılımın parametresi  $\lambda_i$  ile ilişkilendirildiği varsayılmakta ve açıklayıcı değişkenlerin bir vektörü ile ortalama  $\mu_i$  arasında bir ilişki kurulması amaçlanmaktadır. Bunun yapılmasındaki sebep, Poisson modelin şeklini ve yöntemin farklı özelliklerini tanıtmaktır.

Poisson modelde, bağımlı değişken  $y$ 'nin Poisson dağılımı gösterdiğini varsaymaktadır.  $\lambda$  parametresi ile Poisson olasılık dağılımının tanımı (3.2) bağıntısıyla yapılmaktadır.

$$f(k; \lambda) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad , \quad k = 0, 1, \dots \dots \dots \infty \quad (3.2)$$

Bu bağıntıda,  $k_i$  istenen olayların oluşma sayısıdır. Poisson dağılımı tek parametrelili bir dağılım olarak bilinmektedir ve parametresi  $\lambda_i$ 'dir. Farklı  $\lambda$  değerleri için Poisson olasılık kütle fonksiyonu Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



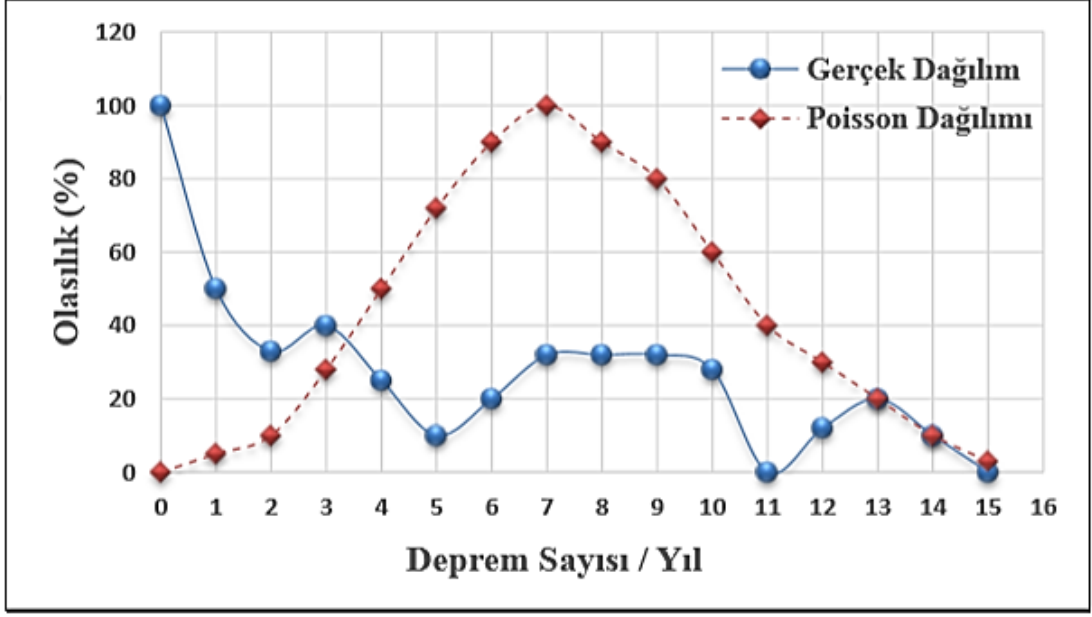


Şekil 3.1. Farklı  $\lambda$  değerleri için Poisson olasılık kütle fonksiyonu

Poisson yöntemi genellikle sık gerçekleşmeyen olayların oluş sayısını modellemek için kullanılmakta olan bir modeldir. Bu modelde deprem oluşumunun bir Poisson süreci olduğu ve  $M_i$  magnitüdlerinin birbirinden bağımsız ve eşit olacak şekilde dağıldığı kabul edilir. Bu kabul altında,  $\delta t$  zaman aralığında magnitüdü  $M'$ 'den büyük  $N$  depremin oluş olasılığı (3.3) bağıntısı ile tanımlanmaktadır. Burada  $\lambda$ , birim zamandaki deprem sayısıdır.

$$P(N; \delta t) = \frac{\lambda t^N e^{-\lambda \delta t}}{N!}, \quad (3.3)$$

Gerçek dağılımın maksimum değeri Poisson dağılımının altında uzanmaktadır ve eğrinin uç bölümlerinde onu kesmektedir. Bu sebeple gerçek dağılımın Poisson dağılımından sapması ya da iki dağılım arasındaki fark ortalama değer etrafında pozitif ve iki uça negatif olmaktadır (Şekil 3.2). Bu durumda, bir deprem gerçekleştiğinde başka deprem olma olasılığı artmaktadır ya da bilinmeyen sebeplerle bir grup ya da deprem fırtınası biçiminde olma olasılığı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.2. Depremlerin gerçek ve Poisson dağılım grafiği (Büyüksaraç ve diğ., 2018)

Poisson modelinde yığınsal frekans dağılımı, yani  $(\delta t)$  zaman aralığında  $N$  veya daha az deprem olması olasılığı (3.4) bağıntısı ile gösterilir.

$$F(n; \delta t) = \sum_{k=0}^N \frac{(\lambda \delta t)^k}{k!} e^{-\lambda \delta t} \quad (3.4)$$

Poisson sürecinde deprem oluşları arasındaki zamanlar negatif üstel dağılım gösterirler:

$$P(t) = -\lambda e^{-\lambda t} dt \quad (3.5)$$

$P$  parametresi, iki deprem arasında verilen bir zaman aralığının,  $(t, t + dt)$  zaman aralığı içine düşme ihtimalidir. Buna karşılık gelen yığınsal dağılım fonksiyonu (3.6) bağıntısında belirtilmiştir.  $F(t)$ , iki deprem arasında verilmiş bir zaman aralığının  $t$  veya daha az olma olasılığıdır.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3.6)$$

Poisson modele göre bir sonraki depremin oluşması için geçen başlama zamanının dağılımı, bir önceki depremin oluşundan itibaren geçen zamandan etkilenmez. Yapılan istatistiksel çalışmalarda Poisson modelin büyük magnitüde sahip depremlerde geçerli olduğu gözlemlenmiştir.

### 3.1.1. Magnitüd-Frekans Bağntısı (G-R İlişkisi)

Gutenberg-Richter (1954) tarafından geliştirilen depremlerin büyüklüğüne göre dağılımını tanımlayan magnitüd-frekans bağntısı (G-R ilişkisi) deprem istatistiğinin temelini oluşturur. (3.7) bağntısı ile tanımlanan G-R ilişkisi günümüzde deprem aktivitesinin bir ölçütü olarak kullanılır.

$$\text{Log}N(M) = a - bM \quad (3.7)$$

Burada  $N$ , magnitüdü  $M$  ve daha büyük depremlerin kümülatif sayısını,  $M$  ise magnitüdü göstermektedir.

Magnitüd-frekans bağntısındaki  $a$  ve  $b$  sabit parametreler olup,  $a$ -parametresi sismik aktiviteyi açıklar; gözlem periyoduna, inceleme alanının büyüklüğüne ve deprem etkinliğinin seviyesine bağlı olarak değişir.  $b$ -parametresi doğrusal ilişkinin eğimi olup deprem oluşumunun fiziği ile ilgilidir ve incelenen bölgenin sismotektonik özelliklerini yansıtır. Düşük  $b$ -değeri daha kısa periyodlu tekrarlanma süresi anlamına gelmekte ve  $b$ -değeri büyük depremler öncesi azalmaktadır. Yani, hesaplanan  $b$ -değerinin büyüklüğü ve gerilim birikme seviyesi arasında ters bir ilişki vardır. Ayrıca,  $b$ -değerinin yanal olarak ve derinlikle değiştiği gözlenmiştir; Gutenberg Richter (1954) dünya ölçüsünde istatistik sonuçlara dayanarak, sığ depremler için  $b=0.9\pm0.02$ , orta ve derin depremler için  $b=1.2 \pm 0.2$  değerleri bulmuşlardır. Yine güncel araştırmalar, bindirme faylarındaki olayların normal faylanmaya göre daha düşük  $b$ -değerleri ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır, yani  $b$ -değeri odak mekanizmasına da bağlıdır. Seçilen uzun zaman dilimleri ve geniş alanların hesaplanması sonucu  $b$ -değeri 1'e yaklaşmaktadır. Türkiye'nin çeşitli bölgeleri için bulunan  $b$ -değerinin 0.52-0.93 arasında kaldığı, Ege bölgesindeki karakteristik fay zonları için 0.66-1.0 arasında olduğu belirlenmiştir (Alkan, 1979; Sayıl ve Osmaşahin, 2008; Sayıl, 2013).

En küçük kareler (EKK) yaklaşımı kullanılmasıyla  $a$ - ve  $b$ -parametrelerinin hesaplanması aşağıdaki bağntılarda gösterilmiştir:

$$\sum_{i=1}^n \text{Log}N_i = an - b \sum_{i=1}^n M_i \quad (3.8)$$

$$\sum_{i=1}^n M_i \cdot \text{Log}N_i = a \cdot \sum_{i=1}^n M_i - b \sum_{i=1}^n M_i^2 \quad (3.9)$$

Burada  $n$ , grup sayısını tanımlar. Belirli bir bölge ve zaman penceresi için  $a$  ve  $b$  parametreleri belirlendikten sonra, sismik tehlikenin beklenen maksimum büyüklüğü, geri dönüş periyodu gibi parametreleri zaten oluşmuş olur.



Gutenberg ve Richter (1954) formülü yığınsal frekanslar kullanılması halinde (3.10) bağıntısındaki gibi yazılabilir.

$$\text{Log}N_c(M) = a' - bM \quad (3.10)$$

Burada  $a' = a - \log(b \ln 10)$ . (3.10) bağıntısıyla verilen G-R ilişkisinde  $N_c$ , belirli bir deprem magnitudünden ( $M$ ) büyük olan olayların kümülatif sayısıdır (yığınsal frekans); (3.7) bağıntısındaki  $N$  ise,  $M \pm dM$  aralığındaki (artan veya aralıklı dağılım) magnitudlü olayların sayısıdır (normal frekans). Magnitud (sınıf) aralığını tanımlayan  $dM$  değerinin seçimi,  $b$ -değeri değerlendirmesinde çok önemli bir aşamadır. Bu nedenle,  $dM$ 'nin uygun bir seçimi, magnitud örneklemeyle mümkün olduğunca 0.1'e kadar alınabilir ve bu sayede her bir magnitud grubunda istatistiksel olarak çok sayıda olay arasında bir uzlaşma sağlanır. Her iki dağılım da küresel olarak ve/veya sınırlı bölgelerde (bölgeler, ülkeler) ve küçük (nüfus merkezleri, madenler, su rezervuarları) deprem dağılımlarını tanımlamak için kullanılmaktadır.

İstenen magnitudlü bir depremin, istenen bir periyot aralığı içinde olma olasılığı da hesaplanabilir. Gutenberg-Richter (1954) tarafından verilen magnitud-frekans ilişkisi;

$$N(M) = 10^{a-bM} \quad (3.11)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu ifadenin inceleme zaman periyodu  $T_1$ 'e bölünmesi ile;

$$\frac{N(M)}{T_1} = \frac{10^{a-bM}}{T_1} \quad (3.12)$$

elde edilir. İki tarafın da logaritması alınarak;

$$\text{Log}(N(M)/T_1) = a - bM - \text{Log}T_1 \quad (3.13)$$

$$n(M > M_1) = 10^{a-bM-\text{Log}T_1} \quad (3.14)$$

bulunur. Son ifadeden;

$$a'_1 = a' - \text{Log}T_1 \quad (3.15)$$

$$n(M) = 10^{a'_1-bM} \quad (3.16)$$

elde edilir. (3.16) bağıntısı yardımıyla belirli bir zaman içerisinde verilen bir  $M_1$  değerine eşit ya da daha büyük magnitudlü depremlerin yıllık ortalama sayısı  $n(M > M_1)$  hesaplanabilir (Tuksal, 1976). Herhangi bir bölgede,  $T_1$  yıllık bir gözlem aralığı için verilen bir  $M$  magnitudlü depremin  $T$  yıl içinde oluşma riski;

$$R(M) = 1 - e^{-n(M)T} \quad (3.17)$$

ve tekrarlama periyodu;

$$Q = \frac{1}{n(M)} \quad (3.18)$$

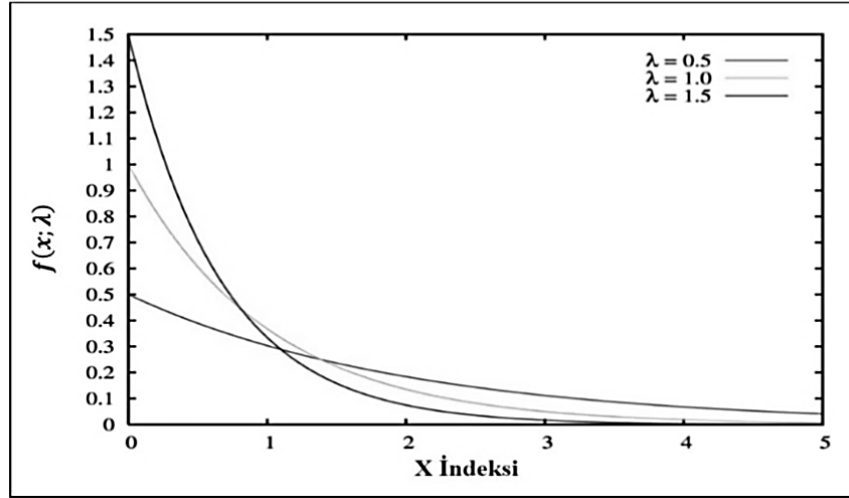
ilişkisi ile tanımlanır (Tabban ve Gençoğlu, 1975).

### 3.2. Üstel Dağılım Modeli

$X > 0$  olmak üzere sürekli bir rastgele değişken kabul edilsin. Eğer  $\lambda > 0$  için  $X$  rastgele değişkeni aşağıdaki gibi bir dağılıma sahip olursa,  $X$  rastgele değişkenine üstel dağılımı rassal değişken ve  $f(x)$  fonksiyonuna Üstel dağılım fonksiyonu denir.

$$f(x; \lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (3.19)$$

Buradaki  $\lambda > 0$  dağılım için tek parametre olarak ifade edilmektedir ve oran parametresi olarak isimlendirilmektedir. Eğer  $X$  rastgele değişken bu Üstel dağılımı tanımlarsa  $X \sim \text{Üstel}(\lambda)$  şeklinde ifade edilir. Farklı  $\lambda$  değerleri için Üstel dağılım olasılık yoğunluğu fonksiyonunun grafiksel gösterimi Şekil 3.3'de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 3.3. Farklı  $\lambda$  değerleri için Üstel dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu

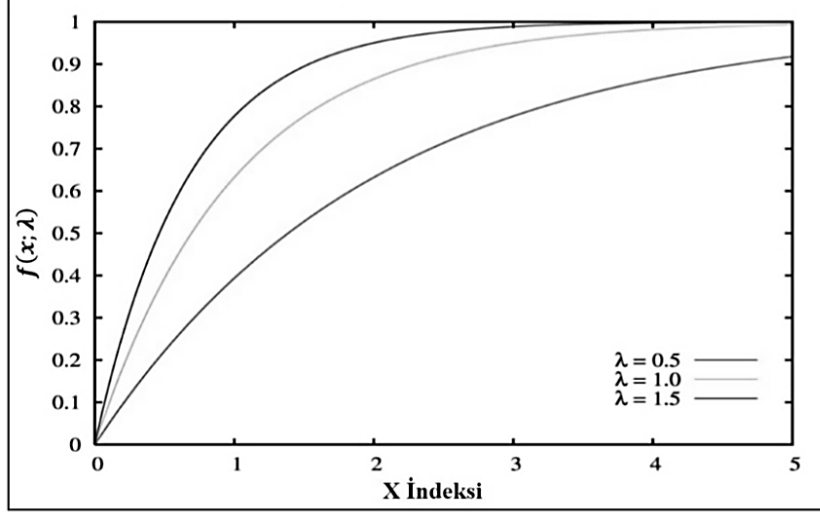
Farklı parametreler için Üstel dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu şöyle tanımlanır;

$$f(x; \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-x/\beta}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (3.20)$$

Burada  $\beta > 0$  bir ölçek parametresidir. Üstel dağılımın birikimli dağılım fonksiyonu ise aşağıdaki bağıntıyla tanımlanır.

$$F(x; \lambda) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (3.21)$$

Farklı  $\lambda$  değerleri için Üstel birikimli dağılım fonksiyonu ise Şekil 3.4'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 3.4. Farklı  $\lambda$  değerleri için Üstel birikimli dağılım fonksiyonu

Deprem olaylarının incelenmesinde Üstel dağılım modeli: X, M magnitüd değerine sahip rastgele değişken olarak kabul edilsin. Böylece Üstel dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu şu şekilde tanımlanır.

$$f_m(x) = \lambda e^{-\lambda(x-\theta)} \quad \lambda > 0 \quad \theta \leq X < +\infty \quad (3.22)$$

Üstel yoğunluk dağılım fonksiyonundaki  $\lambda$  parametresinin değeri (3.23) bağıntısı ile tanımlanmaktadır:

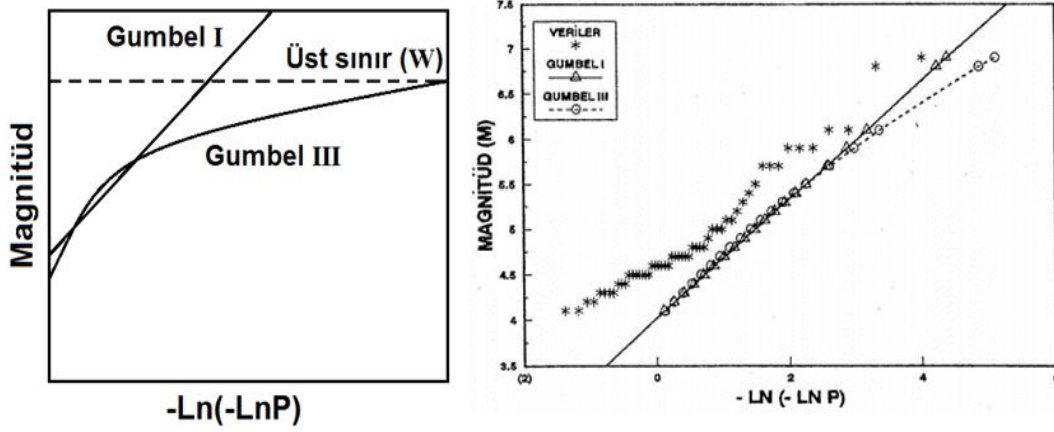
$$\lambda = (\bar{x} - \theta)^{-1} \quad (3.23)$$

Burada  $\bar{x}$ ; birçok deprem verisinden elde edilen ortalama magnitüd ve  $\theta$ ; en küçük magnitüd değerini göstermektedir. Üstel olasılık yoğunluk fonksiyonunun kullanılmasıyla X rastgele değişkeninin dağılım fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir (Sayıl, 2015).

$$F_M(x) = \int_{\theta}^x \lambda e^{-\lambda(U-\theta)} dU = 1 - e^{-\lambda(x-\theta)} \quad \theta \leq X < +\infty \quad (3.24)$$

### 3.3. Gumbel Uç Değerler Dağılım Modeli

Maksimum magnitüdü depremlerin oluşma olasılıklarının “Uç Değerler Teorisi” kullanılarak tespit edilebileceği çalışma ilk olarak Nordquist (1945) tarafından yapılmıştır. En büyük deprem magnitüdüne uygulanan Gumbel teorisinin matematiği birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Knopoff ve Kagan, 1977; Burton, 1979, 1981). Gumbel (1958) tarafından bulunan uç değerler teorisinin avantajı, deprem oluşumlarının istatistiksel analizinde verilerin eksik olması durumunda da kullanılabilmesidir. Genelde, Gumbel teorisi daha önceden belirlenen aralıklarda, en büyük magnitüd değerleri kullanılarak deprem verilerinin sıralanmasında kullanılmaktadır.  $G(m)$ , uç değerlerin üç ayrı asimptotik dağılımlarından biri olarak tanımlanabilmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Gumbel I ve Gumbel III olasılık dağılımları, p: olasılık

Uç değerlerin asimptotik dağılımlarından birincisi olan Gumbel I,

$$G1(m) = e^{-e^{-A(m-B)}} \quad (3.25)$$

olarak ifade edilmektedir. Bu dağılımda iki parametre vardır. A, sabit katsayı ve B ise model uç değerinin karakteristiğidir. Deprem verilerinin eksik olması durumunda, Gumbel III aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$G3(m) = e^{-(W-M)/(W-U)^K} \quad M < W$$

$$= 1 \quad M > W \quad (3.26)$$

Bu üç parametrelili dağılımın grafiksel davranışı kavisleşen eğri şeklindedir ve bu eğride K, kavisleşme parametresi, W, uç değerlerin aralığının üst sınırı ve U tekrarlanan uç değerlerin karakteristik değeridir. Maksimum magnitüdü depremlerin tekrar oluşmasının risk analizi Burton (1979) tarafından Gumbel III modeli kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda maksimum magnitüdü depremlerin oluşma olasılıklarında, üst sınır olması

gerektiği belirlenmiş ve W değişkeninin önemi belirtilmiştir. Gumbel olasılık dağılımının bulunabilmesi için mevcut deprem verileri içerisinde n yıl içerisindeki “i” inci en büyük magnitüdü depremin yeri aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir:

$$G_i(m) = i/(n + 1) \quad (3.27)$$

(3.27) bağıntısından hesaplanan olasılık dağılımları kullanılarak, dönüş periyodunun (T(M), yıl olarak) bulunması mümkündür. T(M) dönüş periyodu, gözlenen M’ye eşit veya ondan büyük olan maksimum depremin bulunduğu aralıktaki ortalama değerdir ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$T_i(M) = (R)^{-1} ; R = 1 - G_i(M) \quad (3.28)$$

Gumbel I doğrusal bir davranış göstermesine rağmen, Gumbel III aşağı doğru kavisleşen bir eğri davranışı göstermektedir ve K, kavislenme asimptotu için az zaman olasılıklarında veya yüksek dönüşüm periyodlarında W’ya doğru kavislenme parametresi olarak tanımlanmaktadır. İnceleme bölgesinde oluşan depremlerin magnitüdlерinin en büyük değerlerinin tekrarlanma sayıları Poisson olasılık dağılımı ile hesaplanmaktadır. Gumbel (1958) tarafından tanımlanan bu üstel dağılım fonksiyonu aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir;

$$G(M) = e^{-\alpha e^{-\beta M}} \quad (3.29)$$

Burada  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayıları bölgenin sismisitesine bağlı ilişki katsayıları ve M ise magnitüdtür. Gumbel bağıntısı Gutenberg-Richter (1942) tarafından geliştirilen magnitüdfrekans ilişkisi olarak tanımlanan (3.7) bağıntısı ile çok yakından ilişkilidir. Bu ilişkiler aşağıdaki gibi kısaca özetlenmiştir.

$$N = \alpha e^{-\beta M} \quad (3.30)$$

$$G(M) = e^{-N} \quad (3.31)$$

$$N = -\ln G(M) \quad (3.32)$$

$$a = \text{Log} \alpha \quad (3.33)$$

$$b = \beta \text{Log} e \quad (3.34)$$

Gumbel dağılım fonksiyonunun katsayılarını bulmak için yıllık maksimum deprem magnitüdleri n adet yıl için küçükten büyüğe doğru dizilir ve her bir j.inci magnitüde j/(n+1) olasılık derecesi verilir. (3.32) bağıntısı kullanılarak her magnitüd için LogN değeri hesaplanır. En küçük kareler (EKK) yöntemiyle M-LogN eğrisinden bir doğru geçirilir. Bu doğru denkleminde elde edilen a ve b regresyon katsayıları yardımıyla (3.33) ve (3.34) bağıntılarından Gumbel regresyon katsayıları ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) bulunur. M magnitüdü bir depremin tanımlanan zaman aralığında (T, yıl) oluşma olasılığı ise (3.35) bağıntısı ile hesaplanır.

$$\text{Risk} (\%) = (1 - e^{-N(m)T(\text{yıl})}) \quad (3.35)$$

İnceleme alanındaki yıllık ortalama magnitüd değeri aşağıdaki bağıntı ile bulunur:

$$M_0 = M_{min} + 1/\beta \quad (3.36)$$

Yıllık maksimum magnitüden inceleme bölgesinde en sık meydana gelen değerine “Modal Maksima” ( $\bar{M}_{max}$ ) denir ve bu belli bir geçmişe ait zaman aralığında en sık oluşmuş depremin büyüklüğüdür. Bu büyüklük (3.37) bağıntısı ile tanımlanır:

$$\bar{M}_{max} = \ln\alpha/\beta \quad (3.37)$$

İnceleme bölgesinde yıllık zaman içerisinde meydana gelebilecek en büyük magnitüd için,

$$\text{Log}N = a - bM + \text{Log}T_r \quad (3.38)$$

bağıntısında N yerine 1 konulduğunda  $M_{max}$  değerini veren aşağıdaki bağıntı elde edilir:

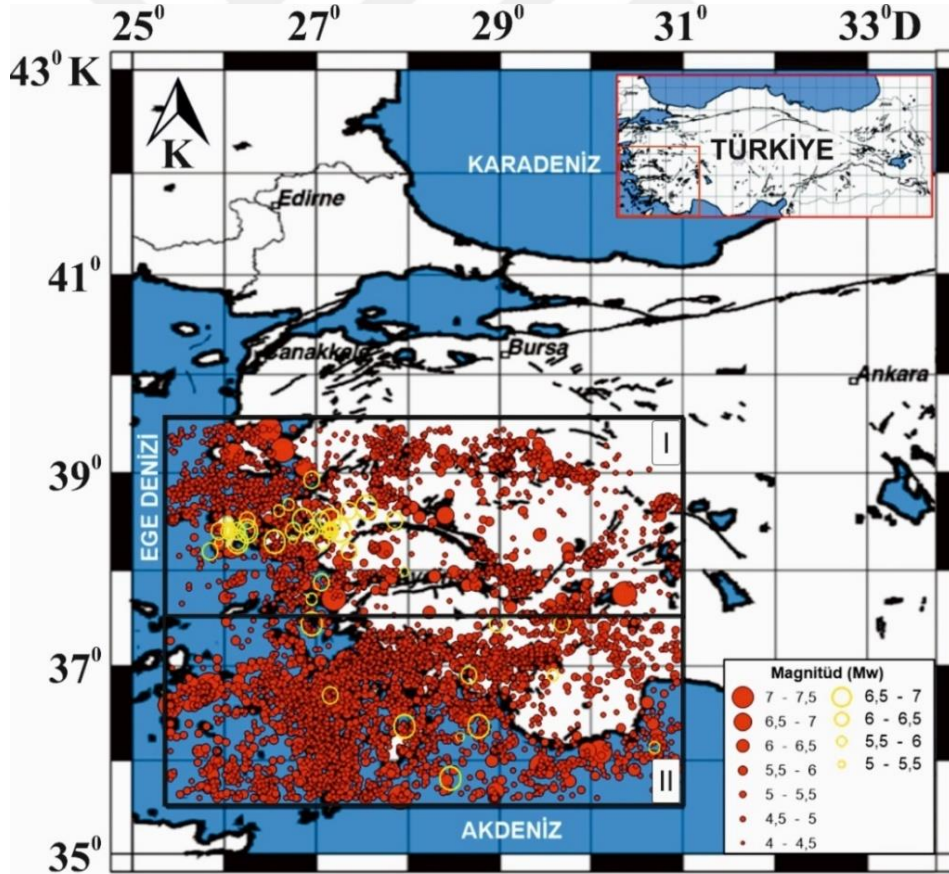
$$M_{max} = (a + \text{Log}T_r)/b \quad (3.39)$$

Magnitüdü M veya daha büyük depremlerin yinelenme periyodu;  $T = 1 / N$  olarak bulunur.

## 4. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 4.1. Çalışma Alanının Belirlenmesi

Bu tez kapsamında farklı istatistiksel deprem oluşum yöntemlerinin uygulanacağı 2 ayrı bölge çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 4.1). Çalışma alanının oluşturulmasında bölgenin depremselliği, jeolojik yapısı, episantr dağılımı ve jeomorfolojik değişimleri dikkate alınmıştır. Bölgeler Türkiye'nin sismik olarak en aktif yerlerinden olan ve önemli graben sistemlerinin yer aldığı Batı Anadolu Bölgesi üzerinde belirlenmiştir. Çalışma alanında 1900 ve 2019 yılları arasında meydana gelmiş moment magnitüdü  $M_w \geq 4.0$  olan aletsel dönem depremler kullanılmıştır (Ek-1). Kullanılan depremlerin yerleri ve seçilen bölgelerin sınırları Şekil 4.1'deki haritada verilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışma alanında (dikdörtgen alanlar) meydana gelen aletsel (●) (1900-2019,  $M_w \geq 4.0$ ) ve tarihsel (○) (M.Ö.496-1900,  $I_o \geq 9.0$ ) dönem depremlerinin episantr dağılım haritası.

Bölgenin yüksek depremselliğini vurgulamak açısından tarihsel dönemde (M.Ö.26-1900,  $M_w \geq 5.0$ ) olan kuvvetli ve büyük depremlerin yerleri de haritada gösterilmiş ve ayrıca katalog olarak Ek-2 de verilmiş, 1900 öncesi kataloglarda magnitüdü  $M_w < 5.0$  olan depremlerin yeterli sayıda ve doğrulukta kaydedilmemiş olması sebebiyle çözümlenmeye dahil edilmemiştir. Haritada yer alan şiddete dayalı bu depremlerin magnitüd dönüşümleri için Sayıl ve Osmaşahin (2008) tarafından Batı Anadolu deprem verileri kullanılarak geliştirilen bağıntı kullanılmıştır.

37.5°-39.5° K enlemleri ile 25.5°-31.0° D boylamları arasında yer alan İzmir ve çevresini içeren 1. bölge yüksek nüfus yoğunluğunun yanı sıra Küçük ve Büyük Menderes, Simav, Gediz grabenleri, İzmir, Manisa fayları gibi tektonik yapılarla ilişkili önemli deprem aktivitesine sahiptir. 35.5°-37.5° K enlemleri ve 25.5°-31.0° D boylamları arasında kalan ve Aydın'ın güneyinden Muğla, Denizli ve Isparta çukurunu da içine alarak Antalya'nın batısından Ege Denizi'ne kadar uzanan 2.bölge önemli tektonik yapılardan olan Gökova grabeni, Datça fayı ve Fethiye-Burdur fay zonunu içermekte ve yüksek deprem aktivitesi göstermektedir. Seçilen bölgelerin genel tektonik özellikleri ve depremsellikleri Bölüm 2'de ayrıntılı tanımlanmıştır.

#### **4.1.1.Kullanılan Deprem Kataloğunun Hazırlanması**

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERI) Deprem-Tsunami izleme ve değerlendirme merkezinin (URL-1) işlettiği deprem istasyonlarından 1900-2019 yılları arasında 35.5°-39.5°K enlemleri ve 25.5°-31.0°D boylamları arasındaki bölgede oluşmuş magnitüdü  $M \geq 4.0$  olan depremler seçilerek katalog oluşturulmuştur. Bu tez kapsamında istatistiksel çalışmalarda çoğunlukla tercih edilen ve büyük depremler için de duyarlı ölçek olarak tanımlanan moment magnitüdü ( $M_w$ ) kullanılmıştır. Bu nedenle kullanılan deprem verilerinin magnitüdüleri homojen bir hale getirmek için magnitüd dönüşümleri yapılmıştır. Kadirioğlu ve Kartal (2016) tarafından Türkiye'de 1900-2019 yılları arasında magnitüdü  $M \geq 4.0$  olan depremler kullanılarak elde edilen ve aşağıda verilen dönüşüm bağıntıları ile tüm magnitüdüler ( $M_s$ ,  $M_b$ ,  $M_l$ ,  $M_d$ ) moment magnitüdüne ( $M_w$ ) dönüştürülmüş ve katalog homojen hale getirilmiştir:



$$M_w = 0.6524 M_s + 2.1199 \quad M_s \leq 5.4 \quad (4.1)$$

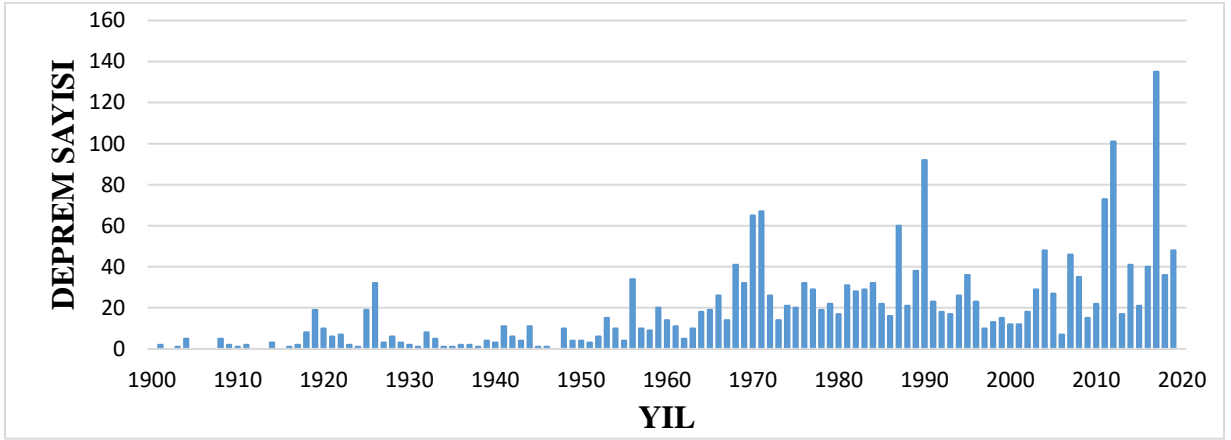
$$M_w = 0.7905 M_s + 1.3044 \quad M_s \geq 5.5 \quad (4.2)$$

$$M_w = 0.7947 M_d + 1.3420 \quad (4.3)$$

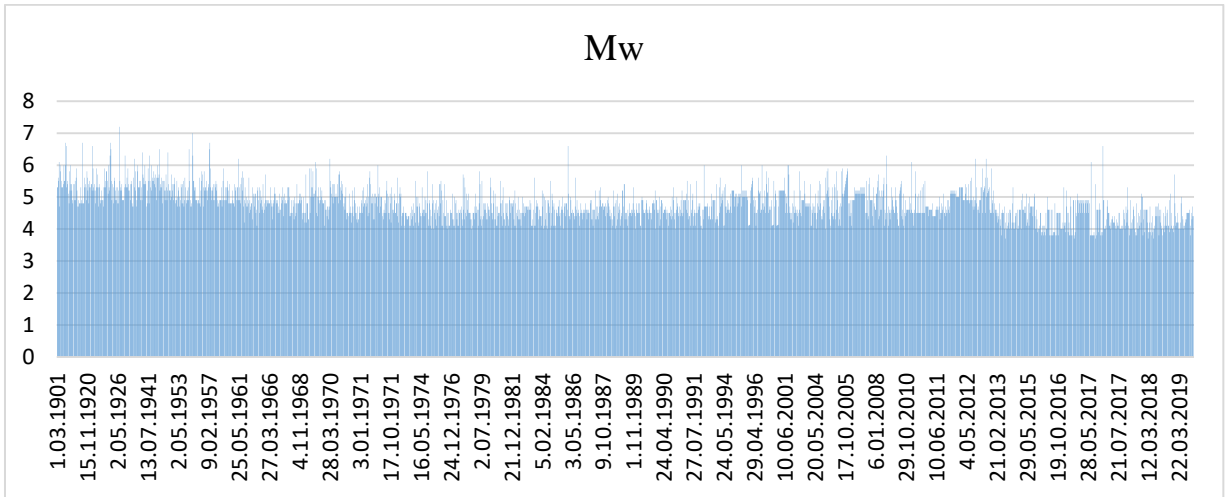
$$M_w = 1.0319 M_b + 0.0223 \quad (4.4)$$

$$M_w = 0.8095 M_l + 1.3003 \quad (4.5)$$

Batı Anadolu’da seçilen inceleme bölgesinin sismik aktivitesini göstermek için hazırlanan  $M_w \geq 4.0$  magnitüdü depremlerin sayılarının yıllara göre dağılımı Şekil 4.2’de, depremlerin magnitüdülerinin oluş zamanlarına göre dağılımı ise Şekil 4.3’de gösterilmektedir.



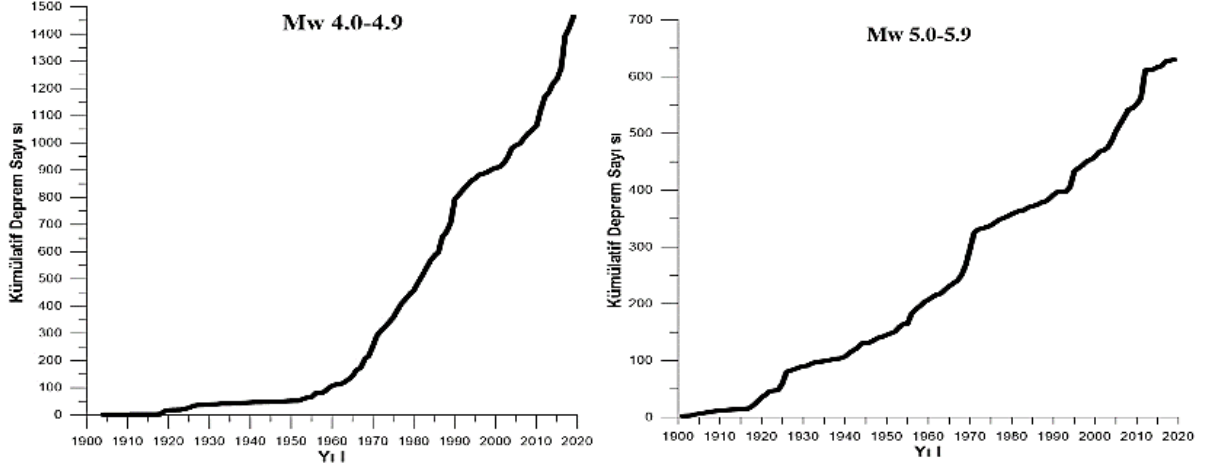
Şekil 4.2. Magnitüdü  $M_w \geq 4.0$  olan depremlerin sayılarının yıllara göre dağılımı



Şekil 4.3. Çalışma alanında  $M_w \geq 4.0$  olan depremlerin magnitüdülerinin zamana göre dağılımı

Analiz için önemli bir kriter de verilerin eksiksiz olması yani tamamlığıdır. Bu, verilerin belirli bir sismojenik bölgede ve belirli bir minimum (kesme) magnitüden ( $M_{min}$ ) daha büyük magnitüdüde belirli bir zaman aralığında meydana gelen depremlerin tümünü içermesi

gerektiği anlamına gelir. 1900-2019 arasındaki 119 yıllık süre boyunca, katalog tamamlığı, zamana göre biriken olay sayısının gösterilmesiyle test edilmiştir (Al-Tarazia ve Sandvol 2007). Şekil 4.4,  $4.0 \leq M_w < 5.0$  ve  $5.0 \leq M_w < 6.0$  magnitüd aralıklarındaki tüm depremlerin yıllara göre kümülatif (birikimli) dağılımlarını göstermektedir. Bu ifadeye dayanarak, kullanılan kataloglardaki depremlerin bulunduğu en küçük magnitüd değeri, minimum magnitüd olarak seçilmiştir (bu çalışmadaki tüm alt bölgeler için  $M_{min} = 4.0$ ).



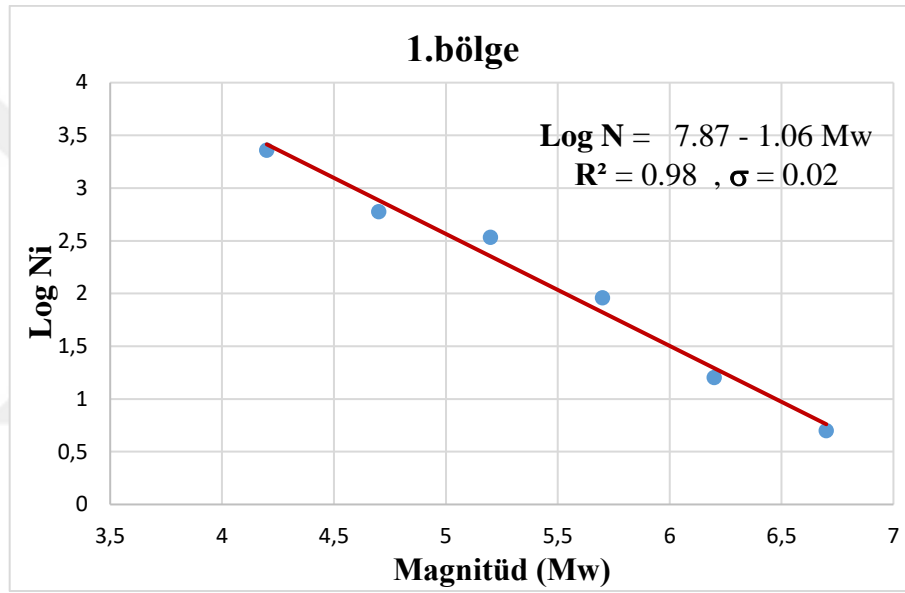
Şekil 4.4. Batı Anadolu bölgesinde  $4.0 \leq M_w < 5.0$  (solda) ve  $5.0 \leq M_w < 6.0$  (sağda) için 119 yıllık bir zaman aralığında (1900 - 2019) gerçekleşen depremlerin yıllara göre kümülatif dağılımları

## 4.2.Poisson Modelin Uygulanması

İstatistiksel çalışmalarda en çok kullanılan yöntem olan Poisson modeli, magnitüd-frekans bağıntısı (G-R ilişkisi) kullanılarak bölgelere göre oluşan depremler için uygulanmıştır. Ek-1'de verilen bu çalışma alanı için oluşturulan katalog kullanılarak Şekil 4.1'de gösterilen iki bölge için yığımsal frekans dağılımlı G-R ilişkileri (3.10) birim magnitüd aralığı (dM) 0.1 ve 0.5 için ayrı ayrı hesaplanmıştır. G-R ilişkilerinin hesaplanmasında yani a- ve b-değerlerinin bulunmasında (3.8) ve (3.9) bağıntılarıyla verilen En Küçük Kareler (EKK) yöntemi uygulanmıştır. Magnitüdün alt sınırı  $M_w = 4.0$  olarak alınmıştır. Tablo 4.1'de 1.bölgede yer alan depremler için 0.5 birim aralıklı magnitüd gruplandırması yapılarak hesaplanan normal (N) ve kümülatif deprem sayıları ( $N_i$ ) verilmiştir.

Tablo 4.1. 1.bölgedeki depremlerin 0.5 birim magnitüd aralığı içeren sınıflara göre dağılımları (N; normal frekans değeri, Ni; yığınsal frekans değeri).

Magnitüd (Mw)	N	Ni	LogNi
4.0-4.4	1678	2275	3.356981401
4.5-4.9	257	597	2.775974331
5.0-5.4	249	340	2.531478917
5.5-5.9	75	91	1.959041392
6.0-6.4	11	16	1.204119983
6.5-6.9	5	5	0.698970004



Şekil 4.5. 1.bölgede 0.5 birim magnitüd (sınıf) aralığı için EKK yöntemi ile kümülatif frekanslardan elde edilen magnitüd-frekans ilişkisi ve grafiği (R<sup>2</sup>; ilişki katsayısı, σ; standart sapmadır).

1.bölgede EKK yaklaşımı ile a- ve b-katsayılarının hesaplanmasını gösteren magnitüde (Mw) karşılık logaritmik kümülatif deprem sayısı (LogNi) grafiği ve magnitüd-frekans bağıntısı Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Tablo 4.1'de verilen Mw-LogNi değerlerinden elde edilen grafiğe göre a-değeri 7.87 ve b-değeri 1.06 olarak bulunmuştur. Hesaplanan değerlerden gelecek 100 yıl için 10'ar yıllık periyot aralığıyla farklı magnitüd değerlerine göre deprem olma olasılıkları (3.17) bağıntısıyla, tekrarlama periyotları ise (3.18) bağıntısıyla elde edilerek Tablo 4.2'de verilmiştir. Seçilen 1. bölge için 0.5 birim magnitüd (sınıf) aralığı için EKK yöntemiyle elde edilen G-R ilişkisi (a- ve b-değerleri) kullanılarak yapılan çalışmada 7.0 ve daha büyük magnitüdü depremlerin önümüzdeki 100 yıl içinde olma

olasılığı %63.21 olarak bulunmuştur ve bu depremlerin 100 yılda bir tekrarlanacağı görülmüştür.

Tablo 4.2. 1.bölge için 0.5 birim magnitüd (sınıf) aralıkları için EKK yöntemi ile hesaplanan a- ve b-değerleri kullanılarak  $7.0 \geq Mw \geq 4.0$  için bulunmuş olan sismik risk (R) ve tekrarlama periyodu (Q) değerleri.

Mag. (Mw)	Sismik Risk R(%)										Q (yıl)
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
4.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.1
4.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.2
5.0	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.8
5.5	97.53	99.94	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	2.7
6.0	66.71	88.92	96.31	98.77	99.59	99.86	99.95	99.98	99.99	99.99	9.1
6.5	25.92	45.12	59.34	69.88	77.69	83.47	87.75	90.93	93.28	95.02	33.3
7.0	9.52	18.13	25.92	32.97	39.35	45.12	50.34	55.07	59.34	63.21	100

Her bir magnitüd grubunda istatistiksel olarak çok sayıda olay arasında bir uzlaşma sağlamak amacıyla bu bölgede (1.bölge) aynı işlemler 0.1 birim magnitüd (sınıf) aralığı seçilerek de yapılmış, hesaplanan kümülatif deprem sayıları Tablo 4.3’de verilmiştir.

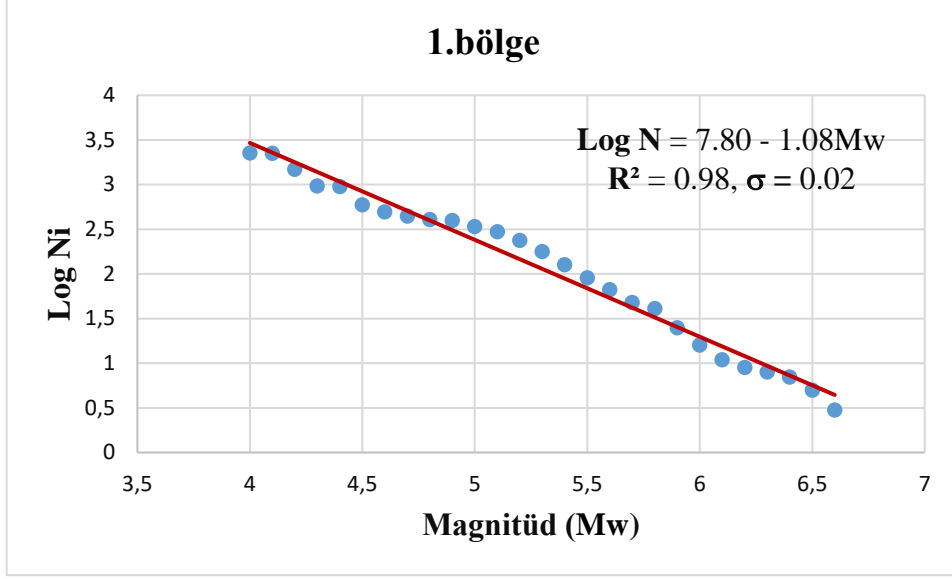
Tablo 4.3. 1.bölgedeki depremlerin 0.1 birim magnitüd aralığı içeren sınıflara göre dağılımları (N; normal frekans değeri, Ni; yığınsal frekans değeri).

Magnitüd (Mw)	N	Ni	LogNi
4.0	34	2275	3.356981401
4.1	754	2241	3.350441857
4.2	517	1487	3.172310969
4.3	20	970	2.986771734
4.4	353	950	2.977723605
4.5	101	597	2.775974331
4.6	50	496	2.695481676
4.7	38	446	2.649334859
4.8	12	408	2.610660163
4.9	56	396	2.597695186

Tablo 4.3'ün devamı

5.0	43	340	2.531478917
5.1	59	297	2.472756449
5.2	59	238	2.376576957
5.3	52	179	2.252853031
5.4	36	127	2.103803721
5.5	24	91	1.959041392
5.6	19	67	1.826074803
5.7	7	48	1.681241237
5.8	16	41	1.612783857
5.9	9	25	1.397940009
6.0	5	16	1.204119983
6.1	2	11	1.041392685
6.2	1	9	0.954242509
6.3	1	8	0.903089987
6.4	2	7	0.84509804
6.5	2	5	0.698970004
6.6	2	3	0.477121254
6.7	1	1	0

Tablo 4.3'ten elde edilen Mw-LogNi değerleri kullanılarak oluşturulan magnitüd-frekans grafiği Şekil 4.3'de çizdirilmiş ve G-R ilişkisi hesaplanmıştır. EKK yaklaşımı ile a- ve b-değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.6. 1.bölge için 0.1 birim magnitüd (sınıf) aralığı için EKK yöntemi ile kümülatif frekanslardan elde edilen magnitüd-frekans ilişkisi ve grafiği ( $R^2$ ; ilişki katsayısıdır,  $\sigma$ ; standart sapmadır).

1.bölge 0.1 birim aralığı için EKK yaklaşımı ile hesaplanan magnitüd-frekans ilişkisine göre a-değeri 7.80 ve b-değeri 1.08 olarak elde edilmiştir. G-R bağıntısından hesaplanan a- ve b-değerleri kullanılarak gelecek 100 yılda 10'ar yıllık süreler için yapılan sismik risk (R) ve tekrarlanma periyodu (Q) tahminleri Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. 1.bölge için 0.1 birim magnitüd (sınıf) aralıkları için EKK yöntemi ile hesaplanan a- ve b-değerleri kullanılarak  $4.0 \leq Mw \leq 7.0$  aralığındaki magnitüder için bulunan sismik risk (R) ve tekrarlanma periyodu (Q) değerleri

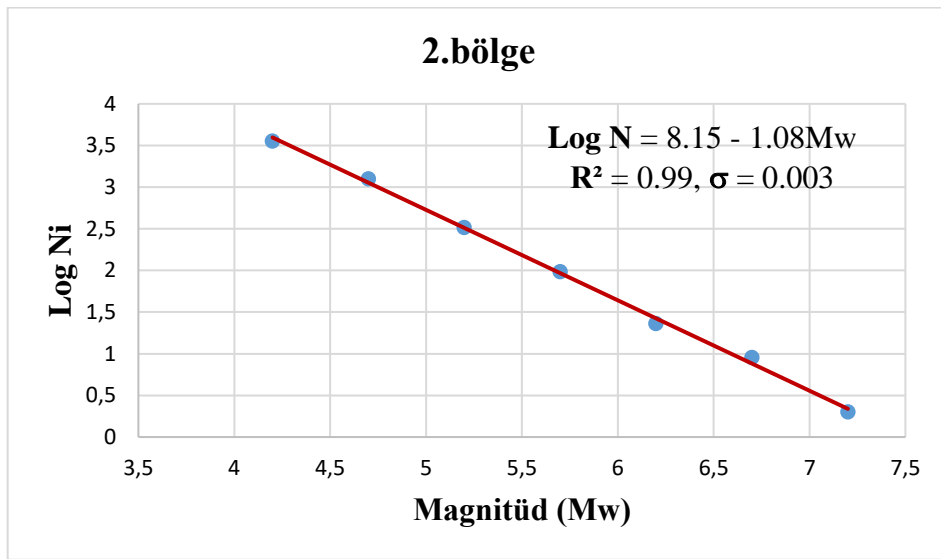
Mag. (Mw)	Sismik Risk R(%)										Q (yıl)
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
4.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.1
4.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.3
5.0	99.98	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100	1.2
5.5	91.79	99.33	99.94	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100	4.2
6.0	50.34	75.34	87.75	93.92	96.98	98.50	99.26	99.63	99.82	99.91	14.3
6.5	18.13	32.97	45.12	55.07	63.21	69.88	75.34	79.81	83.47	86.47	50.0
7.0	9.52	18.13	25.92	32.97	39.35	45.12	50.34	55.07	59.34	63.21	100.0

1.bölgede 0.1 ve 0.5 birim magnitüd (sınıf) aralıklarıyla hesaplanan magnitüd-frekans ilişkilerinde a- ve b-katsayılarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu uyumun en önemli göstergesi kullanılan veri seti için 0.5 aralığının uygun olduğunu doğrulamasıdır.

2. bölge için oluşturulan katalogdan faydalanılarak 0.1 ve 0.5 birim magnitüd (sınıf) aralıklarıyla magnitüd-frekans bağıntıları (G-R ilişkileri) hesaplanarak a- ve b-katsayıları bulunarak uyumları araştırılmış, bulunan katsayılarla Poisson modele dayanarak verilen sismik risk ve tekrarlanma süreleri hesaplanmıştır. Öncelikle bu bölgede yer alan depremler için 0.5 birim aralıklı magnitüd gruplandırması yapılarak hesaplanan kümülatif deprem sayıları verilmiştir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. 2.bölgedeki depremlerin 0.5 birim magnitüd aralığı içeren sınıflara göre dağılımları (N; normal frekans değeri, Ni; yığınsal frekans değeri).

Magnitüd (Mw)	N	Ni	LogNi
4.0-4.4	2320	3575	3.553276046
4.5-4.9	926	1255	3.098643726
5.0-5.4	232	329	2.517195898
5.5-5.9	74	97	1.986771734
6.0-6.4	14	23	1.361727836
6.5-6.9	7	9	0.954242509
7.0-7.4	2	2	0.301029995



Şekil 4.7. 2.bölge için 0.5 birim magnitüd (sınıf) aralığı için EKK yöntemi ile kümülatif frekanslardan elde edilen magnitüd-frekans ilişkisi ve grafiği (R<sup>2</sup>; ilişki katsayısıdır. σ; standart sapmadır).

2.bölgede EKK yaklaşımı ile a- ve b-katsayılarının hesaplanmasını gösteren magnitüde (Mw) karşılık logaritmik kümülatif deprem sayısı (LogNi) grafiği ve magnitüd-frekans bağıntısı Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Bu bölgede 0.5 birim magnitüd aralığı için hesaplanan magnitüd-frekans ilişkisine göre a-değeri 8.15 ve b-değeri 1.08 olarak elde edilmiştir. Hesaplanan değerlerden gelecek 100 yıl için 10’ar yıllık periyot aralığıyla farklı magnitüd değerlerine göre deprem olma olasılıkları (3.17) bağıntısıyla, tekrarlama periyotları ise (3.18) bağıntısıyla elde edilerek Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6. 2.bölge için 0.5 birim magnitüd (sınıf) aralıkları için EKK yöntemi ile hesaplanan a- ve b-değerleri kullanılarak  $7.0 \geq Mw \geq 4.0$  için bulunmuş olan sismik risk (R) ve tekrarlama periyodu (Q) değerleri

Mag. (Mw)	Sismik Risk R(%)										Q (yıl)
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
4.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.04
4.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.2
5.0	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.5
5.5	99.55	99.99	99.99	99.99	100	100	100	100	100	100	1.9
6.0	77.69	95.02	98.89	99.75	99.94	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	6.7
6.5	32.97	55.07	69.88	79.81	86.47	90.93	93.92	95.92	97.27	98.17	25
7.0	9.52	18.13	25.92	32.97	39.34	45.12	50.34	55.07	59.34	63.21	100
7.5	3.92	7.69	11.31	14.79	18.13	21.34	24.42	27.39	30.23	32.97	250

2. bölge için 0.5 birim magnitüd (sınıf) aralığı için EKK yöntemiyle elde edilen G-R ilişkisi (a- ve b-değerleri) kullanılarak yapılan çalışmada 7.0 ve daha büyük magnitüdlü depremlerin önümüzdeki 100 yıl içinde olma olasılığı %63.21 olarak bulunmuştur ve bu depremlerin 100 yılda bir tekrarlanacağı görülmüştür.

Magnitüd gruplarının her birinde istatistiksel olarak çok sayıda olay arasında bir uzlaşma sağlamak amacıyla 2.bölgede aynı işlemler 0.1 birim magnitüd (sınıf) aralığı seçilerek de yapılmış, hesaplanan kümülatif deprem sayıları Tablo 4.7’de verilmiştir.



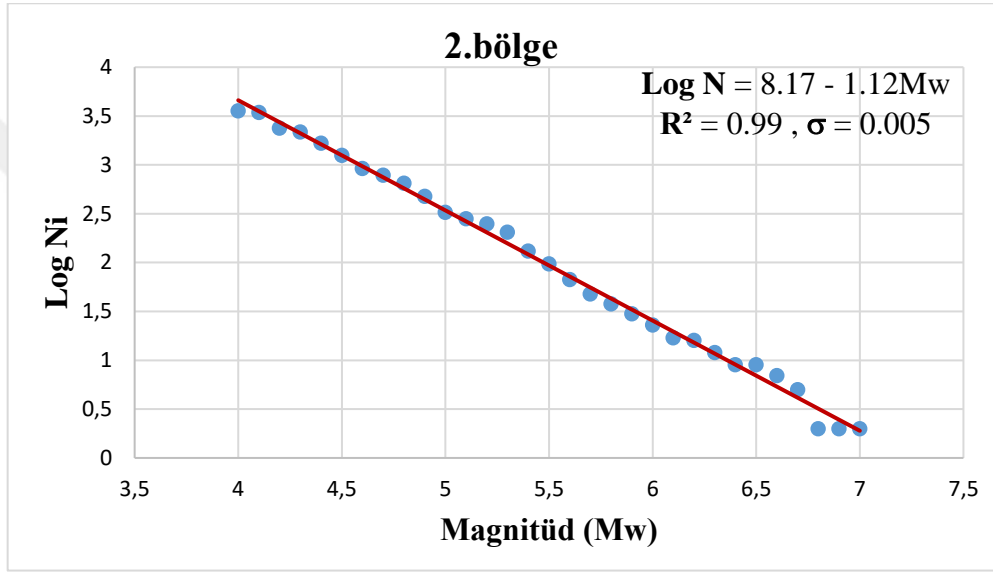
Tablo 4.7. 2.bölgedeki depremlerin 0.1 birim magnitüd aralığı içeren sınıflara göre dağılımları (N; normal frekans değeri, Ni; yığınsal frekans değeri)

<b>Magnitüd (Mw)</b>	<b>N</b>	<b>Ni</b>	<b>LogNi</b>
4.0	123	3575	3.553276046
4.1	1059	3452	3.538070787
4.2	209	2393	3.378942699
4.3	506	2184	3.339252634
4.4	423	1678	3.224791956
4.5	332	1255	3.098643726
4.6	135	923	2.965201701
4.7	138	788	2.896526217
4.8	170	650	2.812913357
4.9	151	480	2.681241237
5.0	47	329	2.517195898
5.1	32	282	2.450249108
5.2	45	250	2.397940009
5.3	73	205	2.311753861
5.4	35	132	2.120573931
5.5	30	97	1.986771734
5.6	19	67	1.826074803
5.7	10	48	1.681241237
5.8	8	38	1.579783597
5.9	7	30	1.477121255
6.0	6	23	1.361727836
6.1	1	17	1.230448921
6.2	4	16	1.204119983
6.3	3	12	1.079181246
6.4	0	9	0.954242509
6.5	2	9	0.954242509
6.6	2	7	0.84509804
6.7	3	5	0.698970004
6.8	0	2	0.301029995
6.9	0	2	0.301029995

Tablo 4.7'nin devamı

7.0	1	2	0.301029995
7.1	0	1	0
7.2	1	1	0

Tablo 4.7'den elde edilen Mw-LogNi değerleri kullanılarak oluşturulan magnitüd-frekans grafiği Şekil 4.8'de çizdirilmiş ve G-R ilişkisi hesaplanmıştır. EKK yaklaşımı ile a- ve b-değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.8. 2.bölge için 0.1 birim magnitüd (sınıf) aralığı için EKK yöntemi ile kümülatif frekanslardan elde edilen magnitüd-frekans ilişkisi ve grafiği (R<sup>2</sup>; ilişki katsayısı, σ; standart sapmadır).

2.bölge 0.1 birim aralığı için EKK yaklaşımı ile hesaplanan magnitüd-frekans ilişkisine göre a-değeri 8.17 ve b-değeri 1.12 olarak elde edilmiştir. G-R bağıntısından hesaplanan a- ve b-değerleri kullanılarak gelecek 100 yılda 10'ar yıllık süreler için yapılan sismik risk (R) ve tekrarlanma periyodu (Q) tahminleri Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8. 2.bölge için 0.1 birim magnitüd (sınıf) aralıkları için EKK yöntemi ile hesaplanan a- ve b-değerleri kullanılarak  $4.0 \leq M_w \leq 7.5$  aralığındaki magnitüder için bulunan sismik risk (R) ve tekrarlama periyodu (Q) değerleri

Mag. (Mw)	Sismik Risk R(%)										Q (yıl)
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
4.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.1
4.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.2
5.0	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.8
5.5	96.31	99.86	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100	100	100	3.0
6.0	59.34	83.47	93.28	97.27	98.89	99.55	99.82	99.93	99.97	99.99	11.1
6.5	25.92	45.12	59.34	69.88	77.69	83.47	87.75	90.93	93.28	95.02	33.3
7.0	9.52	18.13	25.92	32.97	39.34	45.12	50.34	55.07	59.34	63.21	100.0
7.5	1.98	3.92	5.82	7.69	9.52	11.31	13.06	14.79	16.47	18.13	500.0

2.bölgede de 0.1 ve 0.5 birim magnitüd (sınıf) aralıklarıyla hesaplanan magnitüd-frekans ilişkilerinde a- ve b-katsayılarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu uyumun en önemli göstergesi bu bölge (2.bölge) için de kullanılan veri setinin 0.5 aralığında uygun olduğunun doğrulanmasıdır.

### 4.3.Üstel Dağılım Modelin Uygulanması

Üstel dağılım modeli çalışma alanında seçilen iki bölgede meydana gelen  $M_w \geq 4.0$  olan depremlere uygulanmıştır (Şekil 4.1). Bölüm 3.2’de açıklanan (3.22) ve (3.24) bağıntıları kullanılarak model için gerekli olan parametreler sırasıyla 1. ve 2.bölge için hesaplanmıştır: 1. bölgede oluşan depremlerin magnitüdüleri ( $7.0 > M_w \geq 4.0$ ) göz önüne alınarak 0.5 artım aralığı ile magnitüd sınıflaması yapılmış, toplam 6 sınıfa ayrılmıştır. Sınıf numaraları, magnitüdün alt, orta ve üst sınırları Tablo 4.9’un ilk dört sütununda gösterilmiştir. Sınıf aralıklarında meydana gelen olay sayıları ( $f_i$ ) ve toplamı beşinci kolonda, her bir sınıfa ait deprem sayısının tüm sınıftaki olayların toplamına oranı (%) ise son kolonda gösterilmiştir. Son kolonda yer alan değerlerin toplamının 1’e eşit olduğu görülmektedir.

Tablo 4.9. 1.bölgede Üstel dağılım modeli için belirlenen sınıf aralıklarına karşılık gelen deprem sayıları ( $f_i$ ) ve toplam değere oranları (%).

Sınıf Numarası	Magnitüd Alt Sınır	Magnitüd Orta Değeri ( $O_i$ )	Magnitüd Üst Sınır	Sayı ( $f_i$ )	%
1	4	4.2	4.4	1678	0.7376
2	4.5	4.7	4.9	257	0.1130
3	5	5.2	5.4	249	0.1095
4	5.5	5.7	5.9	75	0.0329
5	6	6.2	6.4	11	0.0048
6	6.5	6.7	6.9	5	0.0022
<b>Toplam</b>				<b>2275</b>	<b>1.0000</b>

Tablo 4.9’da tanımlanan her bir magnitüd orta değeri ( $O_i$ ) için hesaplanan yüzdeler (%) kümülatif toplamları alınarak deneysel dağılım fonksiyon değerleri  $F_{mg}(X)$ , elde edilmiş ve Tablo 4.10’da üçüncü kolonda gösterilmiştir. (3.22) ve (3.24) bağıntıları kullanılarak her bir magnitüdün üst sınırı için bu tablonun dördüncü ve beşinci kolonda yer alan Üstel dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu  $f_m(X)$  ve kuramsal dağılım fonksiyonu  $F_{mb}(X)$  hesaplanmıştır. Altıncı kolonda ise deneysel ve kuramsal dağılım fonksiyonlarının farkları gösterilmiştir. Bu fark değerlerin oldukça küçük olması gözlemsel değerlerin kuramsal değerlere yakın olduğunu, yani doğru bir yaklaşım elde edildiğini ispatlamaktadır.  $F_M(X)$  değerlerini hesaplamak için yıllık olarak gözlenmiş magnitüdü  $M_w \geq 4.0$  olan depremlerin sayısının bulunması gerekir. Bunun için magnitüdü  $M_w \geq 4.0$  olan depremlerin toplam sayısı (1.bölge için bu sayı 2275) inceleme periyoduna (1900-2019 yılları için 119 yıllık gözlem aralığına) bölmüş ve beklenen olasılıklar ( $F_i$ ), olasılık yoğunluk fonksiyonu  $f_m(X)$  değerlerinin bu oranla çarpımından elde edilmiştir. Her bir magnitüd orta değeri için tekrarlanma periyodu ise yıllık tekrarlanma sayısının tersi ( $1/F_i$ ) alınarak bulunmuştur. Tanımlanan magnitüd sınıflarının orta değerlerine ait beklenen yıllık tekrarlanma sayıları ( $F_i$ ) ve bu depremlerin ortalama tekrarlanma periyotları (yıl olarak) Tablo 4.10’un son iki kolonunda verilmiştir.

Tablo 4.10. 1. bölgede Üstel dağılım modeli için deneysel  $F_{mg}(X)$ , kuramsal  $F_{mb}(X)$  dağılım fonksiyonları, beklenen olasılıklar ( $F_i$ ) ve ortalama tekrarlanma periyotları

Magnitüd Orta Değeri ( $O_i$ )	%	Deneysel $F_{mg}(X)$	$f_m(X)$	Kuramsal $F_{mb}(X)$	Fark $F_{mg}(X)-F_{mb}(X)$	$F_i$	Ortalama Tekrarlanma Periyodu (Yıl)
4.2	0.7376	0.7376	0.3935	0.3935	0.3441	7.5159	0.13
4.7	0.1130	0.8506	0.4344	0.8279	0.0227	8.2970	0.12
5.2	0.1095	0.9601	0.1245	0.9524	0.0077	2.3780	0.4
5.7	0.0329	0.9930	0.0357	0.9881	0.0049	0.6819	1.5
6.2	0.0048	0.9978	0.0102	0.9983	-0.0005	0.1948	5.1
6.7	0.0022	1.0000	0.0029	1.0012	-0.0012	0.0554	18.1

2. Bölgede oluşan depremlerin magnitüd aralığı ( $7.0 \geq M_w \geq 4.0$ ) göz önüne alınarak 0.5 artım aralığı ile magnitüd sınıflaması yapılmış, toplam 7 sınıfa ayrılmıştır. Tablo 4.11'in ilk dört sütununda sınıf numaraları, magnitüdün alt, orta ve üst sınırları yer almıştır. Sınıf aralıklarında meydana gelen olay sayıları ( $f_i$ ) ile toplam deprem sayısı beşinci kolonda, her bir sınıfa ait deprem sayısının tüm sınıftaki olayların toplamına oranı (%) ise son kolonda gösterilmiştir. Son kolonda yer alan değerlerin toplamının 1'e eşit olduğu görülmektedir.

Tablo 4.11. 2.bölgede Üstel dağılım modeli için belirlenen sınıf aralıklarına karşılık gelen deprem sayıları ( $f_i$ ) ve toplam değere oranları (%).

Sınıf Numarası	Magnitüd Alt Sınır	Magnitüd Orta Değeri ( $O_i$ )	Magnitüd Üst Sınır	Sayı ( $f_i$ )	%
1	4	4.2	4.4	2320	0.6490
2	4.5	4.7	4.9	926	0.2590
3	5	5.2	5.4	232	0.0649
4	5.5	5.7	5.9	74	0.0207
5	6	6.2	6.4	14	0.0039
6	6.5	6.7	6.9	7	0.0020
7	7	7.2	7.4	2	0.0005
<b>Toplam</b>				<b>3575</b>	<b>1.0000</b>

Tablo 4.11’de tanımlanan ve Tablo 4.12’nin ilk iki kolonunda yer alan her bir magnitüd orta değeri ( $O_i$ ) için hesaplanan yüzdelerinin (%) kümülatif toplamları alınarak deneysel dağılım fonksiyon değerleri,  $F_{mg}(X)$  elde edilmiş ve Tablo 4.12’de üçüncü kolonda gösterilmiştir. (3.22) ve (3.24) bağıntıları kullanılarak her bir magnitüdün üst sınırı için bu tablonun dördüncü ve beşinci kolonda yer alan Üstel dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu  $f_m(X)$  ve kuramsal dağılım fonksiyonu  $F_{mb}(X)$  hesaplanmıştır. Altıncı kolonda ise deneysel ve kuramsal dağılım fonksiyonlarının farkları gösterilmiştir. Bu fark değerlerinin sıfıra yakın olması doğru bir yaklaşım elde edildiğini ispatlamaktadır. Yıllık olarak gözlemsel magnitüdü  $M_w \geq 4.0$  olan depremlerin sayısının bulunarak  $F_M(X)$  değerlerinin hesaplanması gerekir. Bunun için magnitüdü  $M_w \geq 4.0$  olan depremlerin toplam sayısı (2.bölge için bu sayı 3575) inceleme periyoduna (1900-2019 yılları için 119 yıllık gözlem aralığına) bölmüş ve beklenen olasılıklar ( $F_i$ ), olasılık yoğunluk fonksiyonu  $f_m(X)$  değerlerinin bu oranla çarpımından elde edilmiştir. Bu değerlerin tersi alınarak her bir magnitüd orta değeri için tekrarlanma periyodu bulunmuştur. Tablo 4.12’nin son iki kolonunda tanımlanan magnitüd sınıflarının orta değerlerine ait beklenen yıllık tekrarlanma sayıları ( $F_i$ ) ve bu depremlerin ortalama tekrarlanma periyotları (yıl olarak) verilmiştir.

Tablo 4.12. 2.bölgede Üstel dağılım modeli için deneysel  $F_{mg}(X)$ , kuramsal  $F_{mb}(X)$  dağılım fonksiyonları, beklenen olasılıklar ( $F_i$ ) ve ortalama tekrarlanma periyotları

<b>Magnitüd Orta Değeri (<math>O_i</math>)</b>	<b>%</b>	<b>Deneysel <math>F_{mg}(X)</math></b>	<b><math>f_m(X)</math></b>	<b>Kuramsal <math>F_{mb}(X)</math></b>	<b>Fark <math>F_{mg}(X)-F_{mb}(X)</math></b>	<b><math>F_i</math></b>	<b>Ortalama Tekrarlanma Periyodu (Yıl)</b>
4.2	0.6490	0.6490	0.3935	0.3935	0.2555	11.805	0.08
4.7	0.2590	0.9080	0.4344	0.8279	0.0801	13.032	0.08
5.2	0.0649	0.9729	0.1245	0.9524	0.0205	3.735	0.3
5.7	0.0207	0.9936	0.0357	0.9881	0.0055	1.071	0.9
6.2	0.0039	0.9975	0.0102	0.9983	-0.0008	0.306	3.3
6.7	0.0020	0.9995	0.0029	1.0012	-0.0017	0.087	11.5
7.2	0.0005	1.0000	0.0008	1.0020	-0.0020	0.024	41.7

#### 4.4. Gumbel Uç Değerler Dağılım Modelin Uygulanması

Gumbel modeli seçilen iki bölgede meydana gelen magnitüdü  $M_w \geq 4.0$  olan depremlere uygulanmıştır. Seçilen bölgelerde inceleme periyodunda oluşan depremler içinden her bir yılda meydana gelen en büyük magnitüdü depremler alınmıştır. Deprem olmayan yıllar için katalogdaki en küçük magnitüd aralığının ( $4.0 \leq M_w < 4.5$ ) orta değeri olan  $M_{\max} = 4.2$  ortalama magnitüd değeri olarak atanmıştır. Bu değer inceleme alanındaki yıllık ortalama magnitüd değerini tanımlayan (3.36) bağıntısı ile de doğrulanmıştır.

1. bölge için inceleme periyodu olan 1900-2019 yılları arasında oluşan depremler incelenerek, her bir yılda oluşan en büyük depremin magnitüdü maksimum magnitüd olarak atanmıştır (Tablo 4.13). Deprem olmayan yıllar için de  $M_{\max} = 4.2$  alınmıştır.

Tablo 4.13. 1.bölgede 1900-2019 arasındaki depremlerin yıllara göre en büyük magnitüdüleri

Tarih (yıl/ay/gün)	Magnitüd (Mw)	Tarih (yıl/ay/gün)	Magnitüd (Mw)	Tarih (yıl/ay/gün)	Magnitüd (Mw)
1901.03.01	5.3	1954.05.01	5.6	1993.11.05	4.9
1903.04.04	5.6	1955.07.16	6.5	1994.05.24	5.6
1904.08.11	6.1	1956.11.20	5.5	1995.10.01	6.0
1908.04.12	5.5	1957.10.11	5.2	1996.04.06	5.6
1909.01.19	6.0	1959.11.19	5.5	1997.11.14	6.0
1910.08.07	5.5	1961.06.21	5.3	1998.04.06	5.8
1914.10.03	6.6	1962.07.10	5.2	1999.12.34	5.5
1918.01.16	5.8	1963.03.11	5.6	2000.10.08	5.2
1919.11.18	6.7	1965.06.13	5.4	2001.06.10	5.6
1920.09.28	5.8	1966.05.07	5.3	2002.02.03	6.0
1921.07.24	5.4	1967.07.19	5.1	2003.04.10	5.8
1922.12.06	5.4	1968.11.03	5.1	2004.11.13	5.9
1924.11.20	5.9	1969.03.28	6.1	2005.10.20	5.9
1925.08.07	5.9	1970.03.28	6.2	2007.11.09	5.6
1926.03.16	6.3	1971.05.25	6.0	2008.01.16	5.7
1928.03.31	6.3	1972.03.14	5.6	2009.12.04	5.3
1931.07.12	5.4	1974.02.01	5.5	2010.03.30	5.5

Tablo 4.13'ün devamı

1933.07.19	5.8	1976.08.15	5.5	2011.05.19	5.8
1937.05.23	5.5	1977.10.27	5.7	2012.06.20	5.9
1939.09.22	6.4	1979.06.14	5.8	2014.12.06	5.1
1941.07.13	5.9	1984.05.06	5.5	2015.09.15	4.7
1942.10.28	6.0	1985.12.18	6.6	2016.09.12	5.0
1944.10.06	6.5	1986.10.11	5.6	2017.06.12	6.1
1949.07.23	6.4	1989.02.24	5.2	2018.07.05	4.7
1950.05.03	5.2	1990.12.23	4.9	2019.05.16	4.5
1953.07.22	5.4	1992.11.06	6.0		

Gumbel dağılım fonksiyonunun katsayılarını bulmak için yıllık maksimum deprem magnitüdüleri ( $M_w$ )  $n$  adet yıl (gözlem periyodu, 119 yıl) için küçükten büyüğe doğru dizilmiş, her bir magnitüdün olduğu toplam yıllar ( $j$ ) katalogdan hesaplanarak Tablo 4.14'ün ilk iki kolonunda gösterilmiştir. Her bir magnitütteki olasılık derecesi ( $f$ ) üçüncü kolonda, bu değerlerin kümülatif (birikimli) toplamı  $G(M)$  dördüncü kolonda gösterilmiştir. (3.32) bağıntısı kullanılarak hesaplanan  $N$  değerleri beşinci kolonda, bu değerlerin logaritması alınarak elde edilen değerler ( $\text{Log}N$ ) son kolonda yer almıştır.

Tablo 4.14. 1.bölge için 1900-2019 sürecinde meydana gelen depremlerin Gumbel modeli ile yıllık maksimum dağılımı hesapları. Deprem bulunmayan yıllar için  $M_{\max} = 4.2$  alınmıştır.

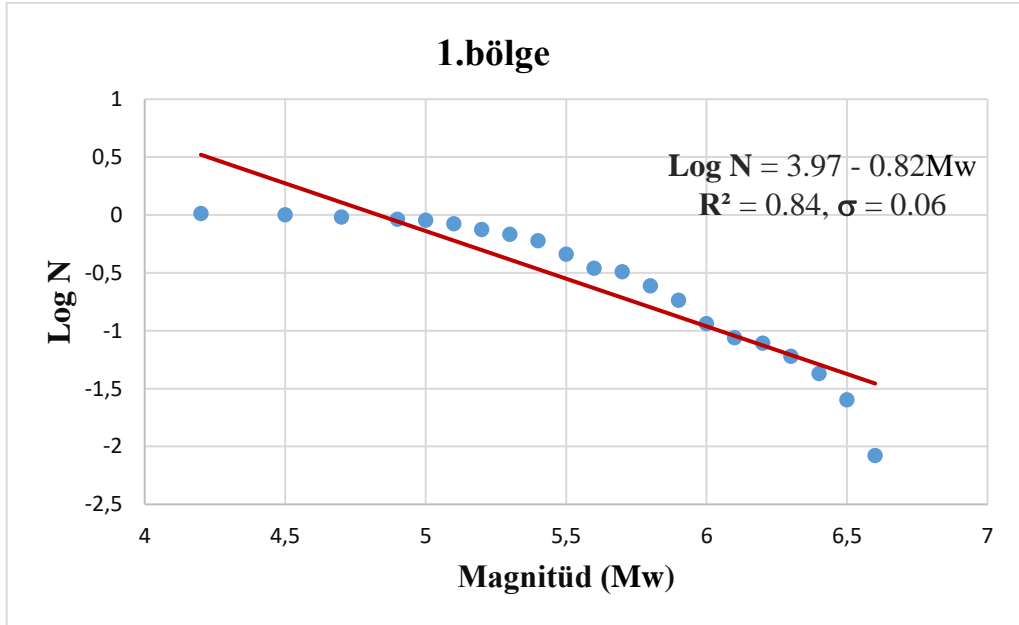
$M_w$	$J$	$f=j/(n+1)$	$G(M)$	$N=-\text{Ln}G$	$\text{Log}N$
4.2	43	0.35833	0.35833	1.02630	0.01127
4.5	1	0.00833	0.36666	1.00332	0.00144
4.7	2	0.01667	0.38333	0.95886	-0.01824
4.9	2	0.01667	0.40000	0.91629	-0.03797
5.0	1	0.00833	0.40833	0.89568	-0.04785
5.1	3	0.02500	0.43333	0.83626	-0.07766
5.2	5	0.04167	0.47500	0.74444	-0.12817
5.3	4	0.03333	0.50833	0.67662	-0.16966
5.4	5	0.04167	0.55000	0.59784	-0.22342
5.5	10	0.08333	0.63333	0.45676	-0.34031



Tablo 4.14'ün devamı

5.6	9	0.07500	0.70833	0.34485	-0.46237
5.7	2	0.01667	0.72500	0.32158	-0.49271
5.8	7	0.05833	0.78333	0.24420	-0.61225
5.9	6	0.05000	0.83333	0.18233	-0.73914
6.0	7	0.05833	0.89166	0.11467	-0.94055
6.1	3	0.025	0.91666	0.08702	-1.06038
6.2	1	0.00833	0.92499	0.07797	-1.10807
6.3	2	0.01667	0.94166	0.06011	-1.22105
6.4	2	0.01667	0.95833	0.04256	-1.37099
6.5	2	0.01667	0.97500	0.02532	-1.59654
6.6	2	0.01667	0.99167	0.00836	-2.07779
6.7	1	0.00833	1.00000	0	0

Tablo 4.14'deki ilk ve son kolonlar kullanılarak Mw-LogN değerleri grafiğe yerleştirilir ve elde edilen noktalardan en küçük kareler (EKK) yöntemiyle doğru geçirilir. Şekil 4.6'da çizdirilen bu doğru denklemindeki sabitlerin değerleri ( $a=3.98$  ve  $b=0.82$ ) kullanılarak (3.33) ve (3.34) bağıntılarından Gumbel ilişki katsayıları ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) bulunmuştur.



Şekil 4.9. 1. bölge için Mw - LogN grafiğinden EKK yöntemiyle bulunan doğru denkleminin sabitleri (a- ve b-değerleri). R<sup>2</sup>; ilişki katsayısıdır. σ; standart sapmadır.

Bulunan  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayıları kullanılarak (3.29) bağıntısında yerine konmuş ve Tablo 4.15'in ilk kolonunda verilen magnitüdler için Gumbel uç değerleri  $G(M)$  elde edilmiştir. Her bir magnitüd için tekrarlanma yıllarının hesaplanmasında (3.28) bağıntısı kullanılmış, elde edilen  $R$  ve  $Tr$  değerleri Tablo 4.15'in üç ve dördüncü kolonlarında verilmiştir. Son kolonda verilen yıllık oluş sayıları ( $N$ ) ise (3.30) bağıntısından hesaplanmıştır.

Tablo 4.15. 1.bölge için Gumbel uç değer dağılımı ile  $4.0 \leq Mw < 7.0$  aralığındaki depremler için belirlenen tekrarlanma aralıkları ( $Tr$ ) ve yıllık oluş sayıları ( $N$ ).

<b>Mw</b>	<b>G(M)</b>	<b>R</b>	<b>Tr</b>	<b>N</b>
4.2	0.0348	0.9652	1.04	3.359
4.5	0.1486	0.8514	1.17	1.906
4.7	0.2707	0.7293	1.37	1.307
4.9	0.4082	0.5918	1.69	0.896
5.0	0.4763	0.5237	1.91	0.742
5.1	0.5411	0.4589	2.18	0.614
5.2	0.6014	0.3986	2.51	0.508
5.3	0.6564	0.3436	2.91	0.421
5.4	0.7057	0.2943	3.40	0.349
5.5	0.7493	0.2507	3.99	0.289
5.6	0.7875	0.2125	4.71	0.239
5.7	0.8205	0.1795	5.57	0.198
5.8	0.8489	0.1511	6.62	0.164
5.9	0.8732	0.1268	7.89	0.136
6.0	0.8938	0.1062	9.42	0.112
6.1	0.9112	0.0888	11.26	0.093
6.2	0.9259	0.0741	13.50	0.077
6.3	0.9383	0.0617	16.21	0.064
6.4	0.9486	0.0514	19.46	0.053
6.5	0.9573	0.0427	23.42	0.044
6.6	0.9645	0.0355	28.17	0.036
6.7	0.9705	0.0295	33.90	0.030

Gumbel uç değer dağılımı ile 1. Bölgede  $4.0 \leq M_w < 7.0$  magnitüd aralığındaki depremlerin 100 yıllık sürede 10'ar yıllık zaman aralıklarında oluşma olasılıkları ise (3.35) bağıntısı ile hesaplanmış ve Tablo 4.16'da gösterilmiştir.

Tablo 4.16. Gumbel uç değer dağılım yöntemi ile 1. bölgede oluşacak depremler ( $4.0 \leq M_w < 7.0$ ) için 100 yıllık sürede 10'ar yıllık zaman aralıklarıyla hesaplanan risk değerleri

M <sub>w</sub>	RİSK (%)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
4.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4.5	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4.7	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4.9	99.98	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100
5.0	99.94	99.99	99.99	100	100	100	100	100	100	100
5.1	99.78	99.99	99.99	100	100	100	100	100	100	100
5.2	99.37	99.99	99.99	99.99	100	100	100	100	100	100
5.3	98.51	99.97	99.99	99.99	99.99	100	100	100	100	100
5.4	96.94	99.90	99.99	99.99	99.99	99.99	100	100	100	100
5.5	94.42	99.69	99.98	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100	100
5.6	90.83	99.16	99.92	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100
5.7	86.19	98.09	99.73	99.96	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
5.8	80.60	96.23	99.27	99.85	99.97	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
5.9	74.33	93.41	98.30	99.56	99.89	99.97	99.99	99.99	99.99	99.99
6.0	67.37	89.35	96.52	98.86	99.63	99.87	99.96	99.98	99.99	99.99
6.1	60.54	84.43	93.85	97.57	99.04	99.62	99.85	99.94	99.97	99.99
6.2	53.69	78.56	90.07	95.40	97.87	99.01	99.54	99.78	99.90	99.95
6.3	47.27	72.19	85.33	92.26	95.92	97.85	98.86	99.40	99.68	99.83
6.4	41.13	65.35	79.60	87.99	92.93	95.84	97.55	98.55	99.15	99.50
6.5	35.59	58.52	73.28	82.79	88.92	92.86	95.40	97.04	98.09	98.77
6.6	30.23	51.32	66.04	76.30	83.47	88.46	91.95	94.38	96.08	97.27
6.7	25.91	45.11	59.34	69.88	77.69	83.47	87.75	90.92	93.27	95.02

2. bölge için inceleme periyodu olan 1900-2019 yılları arasında oluşan depremler incelenerek. Her bir yılda oluşan en büyük depremin magnitüdü maksimum magnitüd olarak atanmıştır (Tablo 4.17). Deprem olmayan yıllar için de  $M_{max}=4.2$  alınmıştır.

Tablo 4.17. 2.bölge için 1900-2019 süresince oluşan depremlerin yıllara göre en büyük magnitüdüleri

<b>Tarih</b> (yıl/ay/gün)	<b>Magnitüd</b> <b>Mw</b>	<b>Tarih</b> (yıl/ay/gün)	<b>Magnitüd</b> <b>Mw</b>	<b>Tarih</b> (yıl/ay/gün)	<b>Magnitüd</b> <b>Mw</b>
1904.08.15	4.7	1952.12.31	5.6	1987.10.05	5.3
1911.04.04	6.7	1953.02.14	5.5	1988.08.24	5.2
1916.07.27	5.5	1954.01.02	5.5	1989.04.27	5.4
1917.06.04	5.1	1955.08.28	5.5	1990.07.18	5.3
1918.07.16	6.0	1956.07.09	7.0	1991.01.15	5.5
1919.10.25	5.9	1957.04.25	6.7	1992.05.23	4.8
1920.04.02	5.6	1958.06.30	5.5	1993.08.26	5.1
1921.01.27	5.5	1959.04.25	5.9	1994.11.13	4.9
1922.08.13	6.6	1960.01.26	5.4	1995.03.07	5.1
1923.11.27	5.2	1961.05.23	6.2	1996.04.26	5.0
1925.04.05	5.7	1962.04.28	5.8	1997.12.06	4.8
1926.06.26	7.2	1963.07.26	5.3	1998.03.09	5.2
1927.03.29	4.9	1964.01.30	5.6	1999.10.05	5.5
1928.04.10	5.3	1965.11.28	5.7	2000.05.03	4.7
1929.11.11	5.4	1966.03.29	5.3	2001.05.01	5.2
1930.06.05	5.2	1967.10.26	5.3	2002.01.22	6.0
1932.10.23	5.6	1968.12.05	5.7	2003.09.13	5.4
1933.04.23	6.2	1969.01.14	5.9	2004.10.07	5.6
1934.11.09	5.8	1970.11.11	5.2	2005.01.23	5.8
1935.03.18	6.0	1971.09.09	5.5	2006.04.19	4.9
1936.04.28	5.3	1972.01.20	5.1	2007.08.31	5.5
1937.04.28	5.3	1973.12.08	4.8	2008.07.15	6.3
1938.05.01	4.9	1974.07.09	5.3	2009.01.13	5.3
1939.01.02	5.5	1975.04.30	5.8	2010.12.04	5.0
1940.01.06	5.7	1976.08.17	5.2	2011.04.01	6.1

Tablo 4.17'nin devamı

1941.12.13	6.3	1977.11.28	5.6	2012.06.10	6.2
1942.05.09	5.3	1978.11.28	5.1	2013.05.16	4.8
1943.10.16	5.8	1979.08.22	5.5	2014.09.04	5.3
1944.01.05	5.7	1980.05.02	5.6	2015.12.26	5.1
1945.08.27	5.3	1981.04.26	5.5	2016.12.20	5.3
1946.04.12	5.6	1982.04.18	5.2	2017.07.20	6.6
1948.10.18	5.7	1983.09.27	5.6	2018.11.27	4.7
1949.07.07	5.2	1984.02.05	5.2	2019.03.20	5.7
1950.05.30	5.2	1985.12.23	5.1		
1951.02.02	5.7	1986.02.21	5.0		

Gumbel dağılım fonksiyonunun katsayılarını bulmak için yıllık maksimum deprem magnitüdüleri ( $M_w$ ) n adet yıl (119) için küçükten büyüğe dizilmiş, her bir magnitüdün olduğu toplam yıllar (j) katalogdan hesaplanarak Tablo 4.18'de gösterilmiştir. Her bir j.inci magnitüdeki olasılık derecesi (f) üçüncü kolonda, bu değerlerin kümülatif toplamı  $G(M)$  dördüncü kolondadır. (3.32) bağıntısı kullanılarak hesaplanan N değerleri beşinci kolonda, bu değerlerin logaritması alınarak elde edilen değerler ( $\text{Log}N$ ) son kolonda yer almıştır.

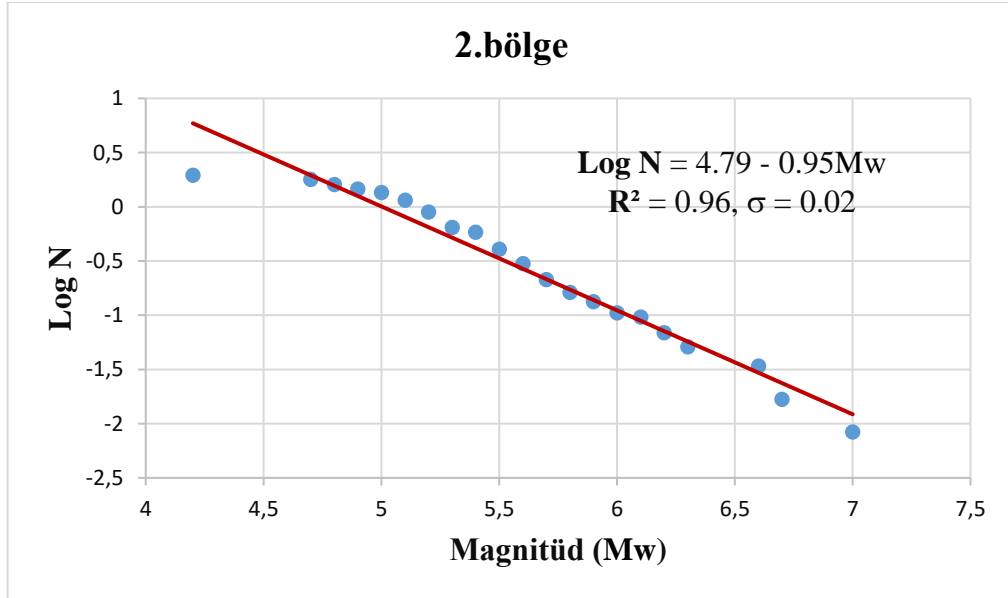
Tablo 4.18. 2.bölge için 1900-2019 sürecinde olan depremlerin Gumbel modeli ile yıllık maksimum dağılımı hesapları. Deprem bulunmayan yıllar için  $M_{\max} = 4.2$  alınmıştır.

$M_w$	J	$f=j/(n+1)$	$G(M)$	$N=-\text{Ln}G$	$\text{Log}N$
4.2	17	0.14167	0.14167	1.95425	0.29098
4.7	3	0.02500	0.16667	1.79174	0.25327
4.8	4	0.03333	0.20000	1.60944	0.20667
4.9	4	0.03333	0.23333	1.45530	0.16295
5.0	3	0.02500	0.25833	1.35352	0.13146
5.1	7	0.05833	0.31666	1.14993	0.06067
5.2	11	0.09167	0.40833	0.89568	-0.04785
5.3	14	0.11667	0.52500	0.64436	-0.19087
5.4	4	0.03333	0.55833	0.58281	-0.23447
5.5	13	0.10833	0.66666	0.40548	-0.39203

Tablo 4.18'in devamı

5.6	9	0.07500	0.74166	0.29886	-0.52453
5.7	8	0.06667	0.80833	0.21278	-0.67207
5.8	5	0.04167	0.85000	0.16252	-0.78909
5.9	3	0.02500	0.87500	0.13353	-0.87442
6.0	3	0.02500	0.90000	0.10536	-0.97732
6.1	1	0.00833	0.90833	0.09615	-1.01705
6.2	3	0.02500	0.93333	0.06899	-1.16121
6.3	2	0.01667	0.95000	0.05129	-1.28997
6.6	2	0.01667	0.96667	0.03390	-1.46980
6.7	2	0.01667	0.98334	0.01680	-1.77469
7.0	1	0.00833	0.99167	0.00836	-2.07779
7.2	1	0.00833	1.00000	0	0

Tablo 4.18'deki ilk ve son kolonlar kullanılarak Mw-LogN değerleri grafiğe yerleştirilir ve elde edilen noktalardan en küçük kareler (EKK) yöntemiyle doğru geçirilir. Şekil 4.10'da çizdirilen bu doğru denkleminin sabit değerleri ( $a=4.79$  ve  $b=0.96$ ) yardımıyla (3.33) ve (3.34) bağıntılarından Gumbel ilişki katsayıları ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) bulunmuştur.



Şekil 4.10. 2. Bölge için Mw - LogN grafiğinden EKK yöntemiyle bulunan ilişkinin sabitleri ( $a$  ve  $b$  değerleri).  $R^2$ ; ilişki katsayısıdır.  $\sigma$ ; standart sapmadır.

Bulunan  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayıları kullanılarak (3.29) bağıntısında yerine konmuş ve Tablo 4.19'un ilk kolonunda verilen magnitüdlere için Gumbel uç değerleri  $G(M)$  elde edilmiştir. Her bir magnitüd için tekrarlanma yıllarının hesaplanmasında (3.28) bağıntısı kullanılmış, elde edilen  $R$  ve  $Tr$  değerleri Tablo 4.19'un üç ve dördüncü kolonlarında verilmiştir. Son kolonda verilen yıllık oluş sayıları ( $N$ ) ise (3.30) bağıntısından hesaplanmıştır.

Tablo 4.19. 2.bölge için Gumbel uç değer dağılımı ile  $4.0 \leq Mw < 7.5$  aralığındaki depremler için belirlenen tekrarlanma aralıkları ( $Tr$ ) ve yıllık oluş sayıları ( $N$ )

<b>Mw</b>	<b>G(M)</b>	<b>R</b>	<b>Tr</b>	<b>N</b>
4.2	0.0018	0.9982	1.00	6.322
4.7	0.1203	0.8797	1.14	2.118
4.9	0.2547	0.7453	1.34	1.368
5.0	0.3332	0.6668	1.50	1.099
5.1	0.4135	0.5865	1.71	0.883
5.2	0.4918	0.5082	1.97	0.710
5.3	0.5654	0.4346	2.30	0.570
5.4	0.6324	0.3676	2.72	0.458
5.5	0.6920	0.3080	3.25	0.368
5.6	0.7439	0.2561	3.90	0.296
5.7	0.7884	0.2116	4.73	0.238
5.8	0.8261	0.1739	5.75	0.191
5.9	0.8577	0.1423	7.03	0.154
6.0	0.8839	0.1161	8.61	0.123
6.1	0.9056	0.0944	10.59	0.099
6.2	0.9234	0.0766	13.05	0.080
6.3	0.9380	0.0620	16.13	0.064
6.4	0.9499	0.0501	19.96	0.051
6.5	0.9595	0.0405	24.69	0.041
6.6	0.9673	0.0327	30.58	0.033
6.7	0.9737	0.0263	38.02	0.027
7.0	0.9862	0.0138	72.46	0.014
7.2	0.9911	0.0089	112.36	0.009

Gumbel uç değeri dağılımı ile 2. bölgede  $4.0 \leq M_w < 7.5$  magnitüd aralığındaki depremlerin 100 yıllık sürede 10'ar yıllık zaman aralıklarında oluşma olasılıkları ise (3.35) bağıntısı ile hesaplanmış ve Tablo 4.20'de gösterilmiştir.

Tablo 4.20. Gumbel uç değeri dağılım yöntemi ile 2. bölgede oluşacak depremler ( $4.0 \leq M_w < 7.5$ ) için 100 yıllık sürede 10'ar yıllık zaman aralıklarıyla hesaplanan risk değerleri

M <sub>w</sub>	RİSK (%)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
4.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4.7	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4.9	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5.0	99.99	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100
5.1	99.98	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100
5.2	99.92	99.99	99.99	100	100	100	100	100	100	100
5.3	99.67	99.99	99.99	99.99	100	100	100	100	100	100
5.4	98.97	99.98	99.99	99.99	99.99	100	100	100	100	100
5.5	97.47	99.93	99.99	99.99	99.99	99.99	100	100	100	100
5.6	94.81	99.73	99.98	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100	100
5.7	90.74	99.14	99.92	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100
5.8	85.19	97.80	99.67	99.95	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
5.9	78.56	95.40	99.01	99.78	99.95	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
6.0	70.77	91.45	97.50	99.27	99.78	99.93	99.98	99.99	99.99	99.99
6.1	62.84	86.19	94.86	98.09	99.29	99.73	99.90	99.96	99.98	99.99
6.2	55.06	79.81	90.92	95.92	98.16	99.17	99.63	99.83	99.92	99.96
6.3	47.27	72.19	85.33	92.26	95.92	97.85	98.86	99.40	99.68	99.83
6.4	39.95	63.94	78.34	86.99	92.19	95.31	97.18	98.30	98.98	99.39



Tablo 4.20'nin devamı

6.5	33.63	55.95	70.77	80.60	87.12	91.45	94.33	96.23	97.50	98.34
6.6	28.10	48.31	62.84	73.28	80.79	86.19	90.07	92.86	94.86	96.31
6.7	26.66	41.72	55.51	66.04	74.07	80.21	84.89	88.46	91.19	93.27
7.0	13.06	24.42	34.29	42.87	50.34	56.82	62.46	67.37	71.63	75.34
7.2	8.60	16.47	23.66	30.23	36.23	41.72	46.74	51.32	55.51	59.34



## 5. BULGULAR

Batı Anadolu Bölgesinin 1.bölge (37.5°-39.5°K ve 25.5°-31.0°D) ve 2.bölge (35.5°-37.5°K ve 25.5°-31.0°D) olarak ayrılan iki farklı kısmında 1900-2019 yılları arasında magnitüdü  $M_w \geq 4.0$  olan depremler kullanılarak tanımlamaları Bölüm 3'de yapılan üç farklı istatistiksel yöntemin (Poisson, Üstel ve Gumbel) uygulamasından elde edilen parametreler şekiller ve tablolar halinde Bölüm 4'de gösterilmiştir. Yapılan istatistiksel çalışmaların değerlendirmesi ise bu bölümde verilmiştir.

### 5.1. Poisson Model Uygulamasının Sonuçları

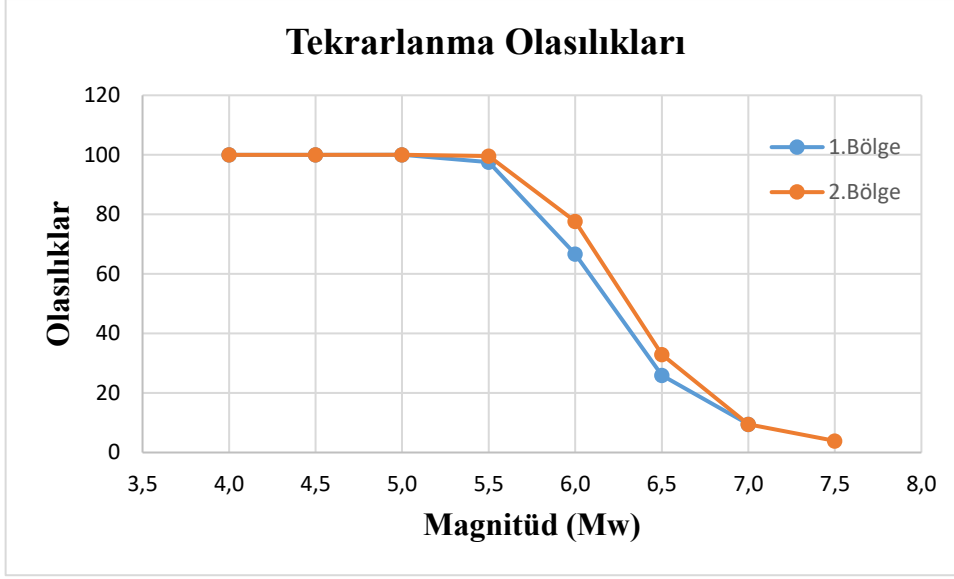
Çalışma alanında seçilen iki bölgede meydana gelmiş depremler ( $M_w \geq 4.0$ ) kullanılarak her bir bölgeye Poisson dağılım modeli uygulanmıştır. Gutenberg-Richter (1954) geliştirdiği magnitüd-frekans ilişkileri 0.1 ve 0.5 sınıf aralığı değerleri için hesaplanmış, bağıntıların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu nedenle 0.5 sınıf aralığı için elde edilen a- ve b-değerleri (1.bölge için  $a=7.87$ ,  $b=1.06$ ; 2.bölge için  $a=8.15$ ,  $b=1.08$ ) kullanılarak Poisson modelin uygulanmasıyla magnitüdü  $M_w \geq 4.0$  depremlerin gelecek 100 yıl içinde 10'ar yıl aralıklarla sismik risk değerleri ve dönemsellikleri hesaplanmıştır. 1. ve 2. bölge için hesaplanmış olan olasılık değerleri ve tekrarlanma aralıkları Tablo 5.1 ve Tablo 5.2' de gösterilmiştir. 1. ve 2. bölgede 100 yıl içerisinde kuvvetli ( $M_w \geq 6.0$ ) ve büyük ( $M_w \geq 7.0$ ) depremler için oluşma olasılığı çok yakın bulunmuştur. Şekil 5.1 ve 5.2'de çizdirilen gelecek 10 yıllık dönemdeki olasılıklar ve dönemselliklere bakıldığında 2.bölgenin kuvvetli ( $M_w \geq 6.0$ ) depremler için biraz daha yüksek olasılığa ve daha kısa tekrarlanma zamanına sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 5.1. 1.bölge için EKK yöntemi ile hesaplanan a- ve b-değerleri kullanılarak 0.5 birim aralıklarla  $M_w \geq 4.0$  için hesaplanmış olan sismik risk (R) ve tekrarlama periyodu değeri (Q)

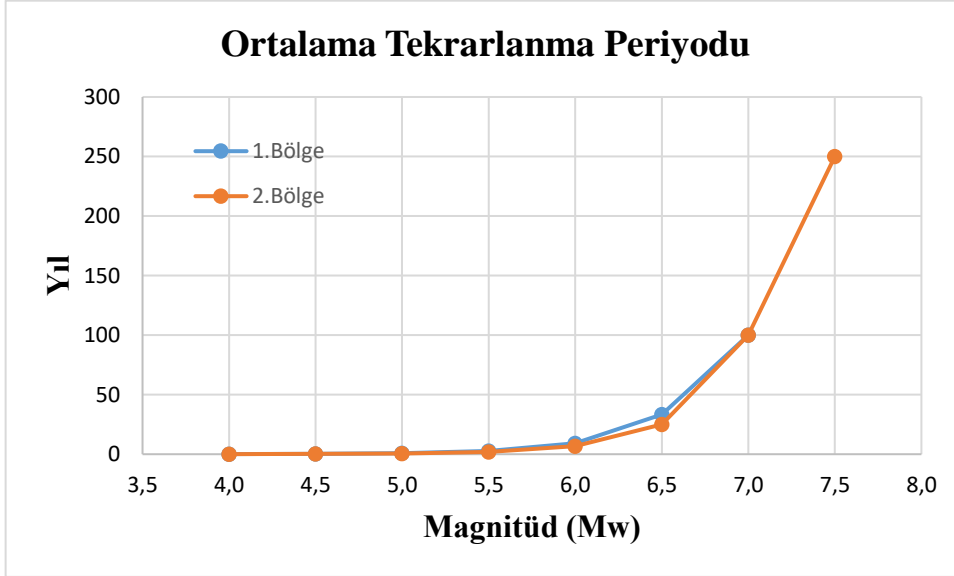
Mag. (Mw)	Sismik Risk R(%)										Q (yıl)
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
4.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.1
4.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.2
5.0	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.8
5.5	97.53	99.94	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	2.7
6.0	66.71	88.92	96.31	98.77	99.59	99.86	99.95	99.98	99.99	99.99	9.1
6.5	25.92	45.12	59.34	69.88	77.69	83.47	87.75	90.93	93.28	95.02	33.3
7.0	9.52	18.13	25.92	32.97	39.35	45.12	50.34	55.07	59.34	63.21	100

Tablo 5.2. 2.bölge için EKK yöntemi ile hesaplanan a- ve b-değerleri kullanılarak 0.5 birim aralıklarla  $M_w \geq 4.0$  için hesaplanmış olan sismik risk (R) ve tekrarlama periyodu değeri (Q)

Mag. (Mw)	Sismik Risk R(%)										Q (yıl)
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
4.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.04
4.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.2
5.0	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.5
5.5	99.55	99.99	99.99	99.99	100	100	100	100	100	100	1.9
6.0	77.69	95.02	98.89	99.75	99.94	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	6.7
6.5	32.97	55.07	69.88	79.81	86.47	90.93	93.92	95.92	97.27	98.17	25
7.0	9.52	18.13	25.92	32.97	39.34	45.12	50.34	55.07	59.34	63.21	100
7.5	3.92	7.69	11.31	14.79	18.13	21.34	24.42	27.39	30.23	32.97	250



Şekil 5.1. Seçilen bölgelere göre Poisson dağılım modelden elde edilen tekrarlanma olasılıkları



Şekil 5.2. Seçilen bölgelere göre Poisson dağılım model ortalama tekrarlanma periyodları

## 5.2. Üstel Dağılım Model Uygulamasının Sonuçları

Üstel dağılım modeli inceleme alanında seçilen iki bölgede meydana gelmiş depremlere ( $M_w \geq 4,0$ ) uygulanmış, her bir bölge için ortalama tekrarlama periyodları ve yıllık deprem tekrarlama olasılıkları hesaplanmıştır. 1.bölgede  $7,0 \geq M_w \geq 4,0$  magnitüd aralığında 0.5 artımla 6 sınıf, 2. bölgede ise  $7,5 \geq M_w \geq 4,0$  magnitüd aralığında 0.5 artımla 7 sınıf oluşturularak uygulanan modelden hesaplanan parametreler Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'de verilmiştir. İki bölge için magnitüdlere göre tekrarlanma olasılıkları ve tekrarlanma

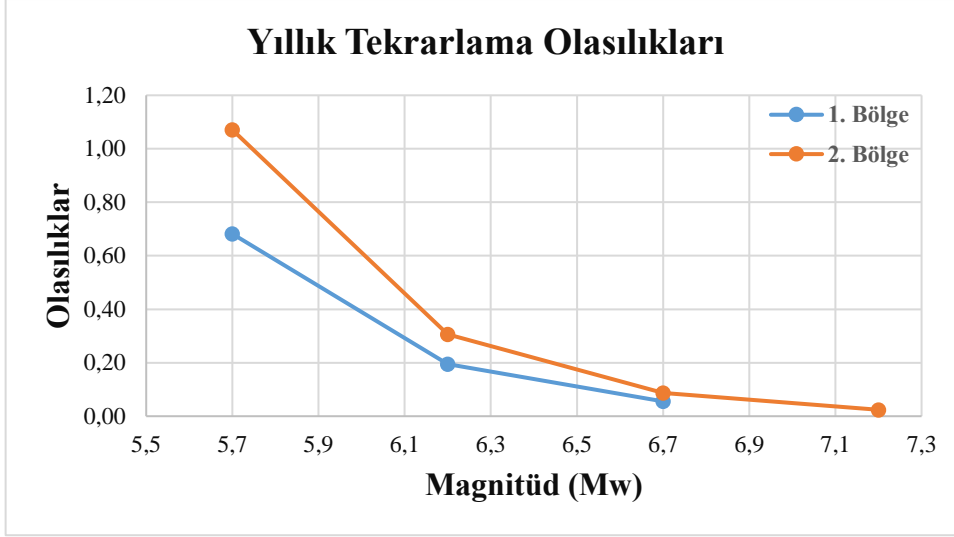
periyodları Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Kuvvetli ( $M_w \geq 6.0$ ) depremler için 2.bölgede tekrarlanma periyodları daha küçük, olasılık ise daha büyük bulunmuştur.

Tablo 5.3. 1. bölgede Üstel dağılım modeli için beklenen yıllık tekrarlanma olasılıkları ve ortalama tekrarlanma periyodları

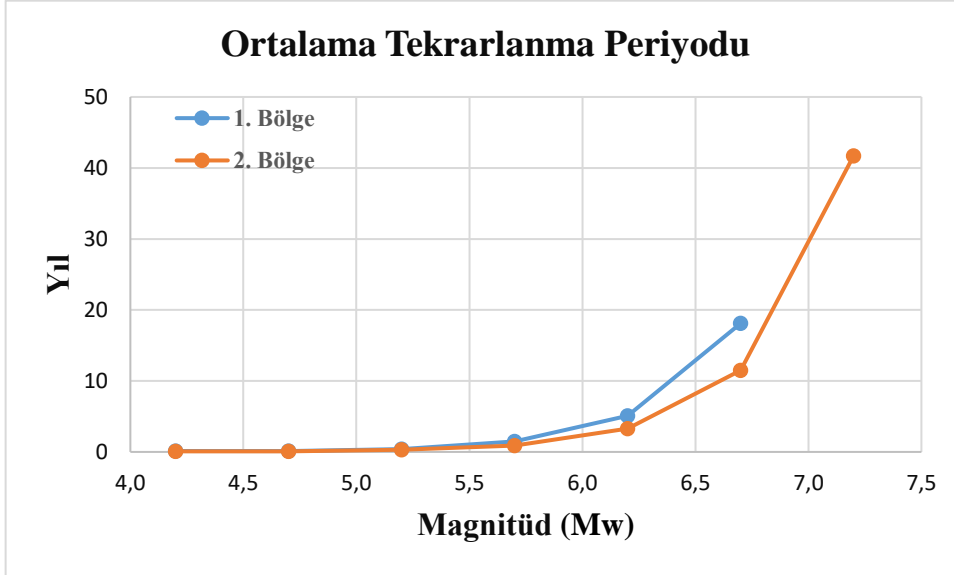
<b>Magnitüd Orta Değeri (<math>O_i</math>)</b>	<b>Deneysel <math>F_{mg}(X)</math></b>	<b><math>f_m(X)</math></b>	<b>Kuramsal <math>F_{mb}(X)</math></b>	<b><math>F_i</math></b>	<b>Ortalama Tekrarlanma Periyodu (Yıl)</b>
4.2	0.7376	0.3935	0.3935	7.5159	0.13
4.7	0.8506	0.4344	0.8279	8.2970	0.12
5.2	0.9601	0.1245	0.9524	2.3780	0.4
5.7	0.9930	0.0357	0.9881	0.6819	1.5
6.2	0.9978	0.0102	0.9983	0.1948	5.1
6.7	1.0000	0.0029	1.0012	0.0554	18.1

Tablo 5.4. 2.bölgede Üstel dağılım modeli için yıllık tekrarlanma olasılıkları ve ortalama tekrarlanma periyodları

<b>Magnitüd Orta Değeri (<math>O_i</math>)</b>	<b>Deneysel <math>F_{mg}(X)</math></b>	<b><math>f_m(X)</math></b>	<b>Kuramsal <math>F_{mb}(X)</math></b>	<b><math>F_i</math></b>	<b>Ortalama Tekrarlanma Periyodu (Yıl)</b>
4.2	0.6490	0.3935	0.3935	11.805	0.08
4.7	0.9080	0.4344	0.8279	13.032	0.08
5.2	0.9729	0.1245	0.9524	3.735	0.3
5.7	0.9936	0.0357	0.9881	1.071	0.9
6.2	0.9975	0.0102	0.9983	0.306	3.3
6.7	0.9995	0.0029	1.0012	0.087	11.5
7.2	1.0000	0.0008	1.0020	0.024	41.7



Şekil 5.3. Seçilen bölgelere göre Üstel dağılım yıllık tekrarlama olasılıkları



Şekil 5.4. Seçilen bölgelere göre Üstel dağılım ortalama tekrarlanma periyodları

### 5.3. Gumbel Model Uygulamasının Sonuçları

Gumbel modelinde inceleme alanında seçilen her iki bölgede 1900-2019 yılları arasında magnitüdü  $M_w \geq 4.0$  oluşan depremler içerisinde her bir yılda meydana gelen en büyük magnitüdü depremler kullanılarak 100 yıl içerisinde 10'ar yıllık aralıklarla depremlerin olasılıkları ve tekrarlanma periyodları hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5.5 ve Tablo 5.6'da verilmiştir. Sonuçların grafik gösterimlerinin yer aldığı Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da görüldüğü gibi her iki bölgede de olasılık ve dönemsellikler çok yakın bulunmuştur.

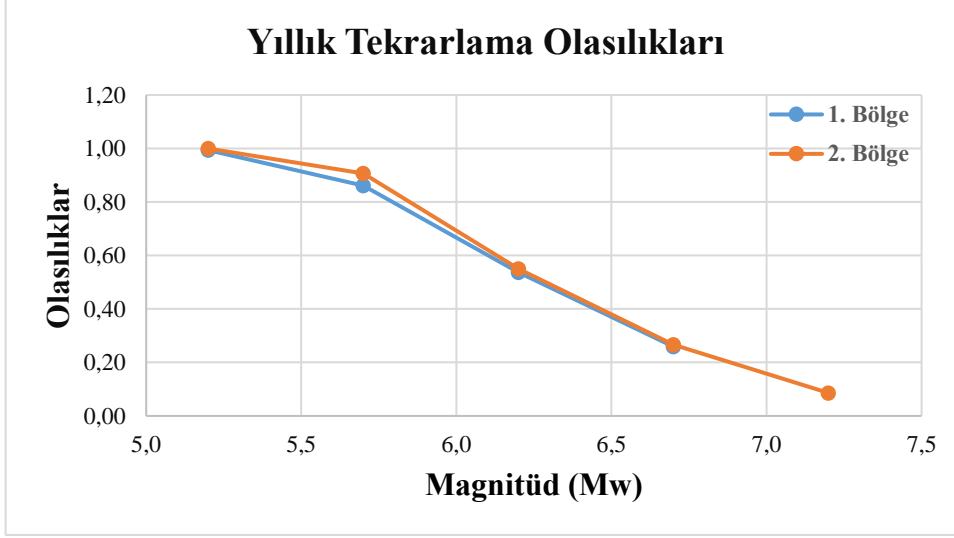
Tablo 5.5. 1. bölgede  $4.0 \leq M_w < 7.0$  aralığındaki depremlerin 100 yıl içerisinde 10'ar yıllık aralıklarla hesaplanan olasılıklar (Risk) ve tekrarlanma periyodları (Tr)

Mw	Tr	Risk (%)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
4.2	1.04	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4.5	1.17	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4.7	1.37	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4.9	1.69	99.98	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100
5.0	1.91	99.94	99.99	99.99	100	100	100	100	100	100	100
5.1	2.18	99.78	99.99	99.99	100	100	100	100	100	100	100
5.2	2.51	99.37	99.99	99.99	99.99	100	100	100	100	100	100
5.3	2.91	98.51	99.97	99.99	99.99	99.99	100	100	100	100	100
5.4	3.40	96.94	99.90	99.99	99.99	99.99	99.99	100	100	100	100
5.5	3.99	94.42	99.69	99.98	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100	100
5.6	4.71	90.83	99.16	99.92	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100
5.7	5.57	86.19	98.09	99.73	99.96	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
5.8	6.62	80.60	96.23	99.27	99.85	99.97	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
5.9	7.89	74.33	93.41	98.30	99.56	99.89	99.97	99.99	99.99	99.99	99.99
6.0	9.42	67.37	89.35	96.52	98.86	99.63	99.87	99.96	99.98	99.99	99.99
6.1	11.26	60.54	84.43	93.85	97.57	99.04	99.62	99.85	99.94	99.97	99.99
6.2	13.50	53.69	78.56	90.07	95.40	97.87	99.01	99.54	99.78	99.90	99.95
6.3	16.21	47.27	72.19	85.33	92.26	95.92	97.85	98.86	99.40	99.68	99.83
6.4	19.46	41.13	65.35	79.60	87.99	92.93	95.84	97.55	98.55	99.15	99.50
6.5	23.42	35.59	58.52	73.28	82.79	88.92	92.86	95.40	97.04	98.09	98.77
6.6	28.17	30.23	51.32	66.04	76.30	83.47	88.46	91.95	94.38	96.08	97.27
6.7	33.90	25.91	45.11	59.34	69.88	77.69	83.47	87.75	90.92	93.27	95.02

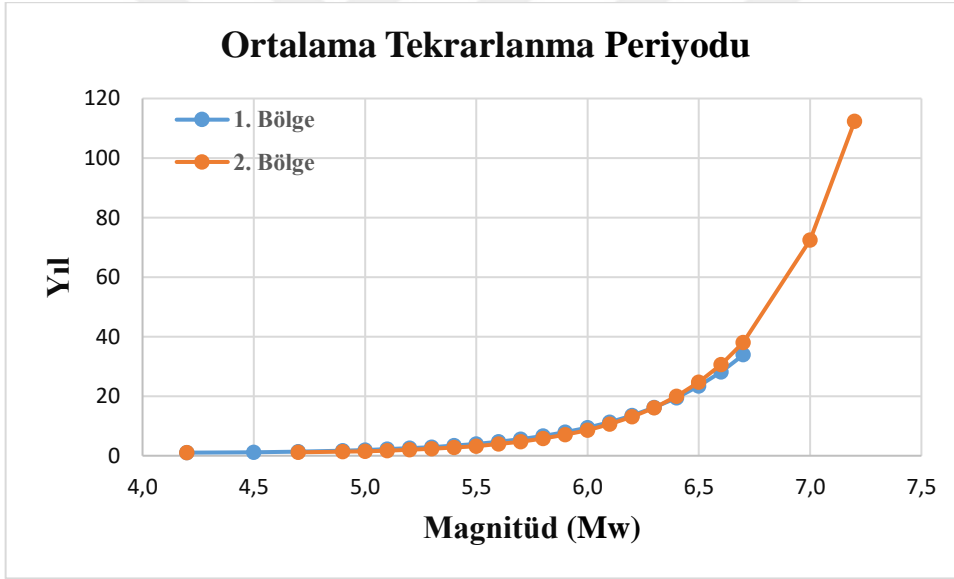
Tablo 5.6. 2. bölgede  $4.0 \leq M_w < 7.5$  aralığındaki depremlerin 100 yıl içerisinde 10'ar yıllık aralıklarla hesaplanan olasılıklar (Risk) ve tekrarlanma periyodları (Tr)

Mw	Tr	Risk (%)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
4.2	1.00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4.7	1.14	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4.9	1.34	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5.0	1.50	99.99	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100
5.1	1.71	99.98	99.99	100	100	100	100	100	100	100	100
5.2	1.97	99.92	99.99	99.99	100	100	100	100	100	100	100
5.3	2.30	99.67	99.99	99.99	99.99	100	100	100	100	100	100
5.4	2.72	98.97	99.98	99.99	99.99	99.99	100	100	100	100	100
5.5	3.25	97.47	99.93	99.99	99.99	99.99	99.99	100	100	100	100
5.6	3.90	94.81	99.73	99.98	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100	100
5.7	4.73	90.74	99.14	99.92	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100
5.8	5.75	85.19	97.80	99.67	99.95	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
5.9	7.03	78.56	95.40	99.01	99.78	99.95	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
6.0	8.61	70.77	91.45	97.50	99.27	99.78	99.93	99.98	99.99	99.99	99.99
6.1	10.59	62.84	86.19	94.86	98.09	99.29	99.73	99.90	99.96	99.98	99.99
6.2	13.05	55.06	79.81	90.92	95.92	98.16	99.17	99.63	99.83	99.92	99.96
6.3	16.13	47.27	72.19	85.33	92.26	95.92	97.85	98.86	99.40	99.68	99.83
6.4	19.96	39.95	63.94	78.34	86.99	92.19	95.31	97.18	98.30	98.98	99.39
6.5	24.69	33.63	55.95	70.77	80.60	87.12	91.45	94.33	96.23	97.50	98.34
6.6	30.58	28.10	48.31	62.84	73.28	80.79	86.19	90.07	92.86	94.86	96.31
6.7	38.02	26.66	41.72	55.51	66.04	74.07	80.21	84.89	88.46	91.19	93.27
7.0	72.46	13.06	24.42	34.29	42.87	50.34	56.82	62.46	67.37	71.63	75.34
7.2	112.36	8.60	16.47	23.66	30.23	36.23	41.72	46.74	51.32	55.51	59.34





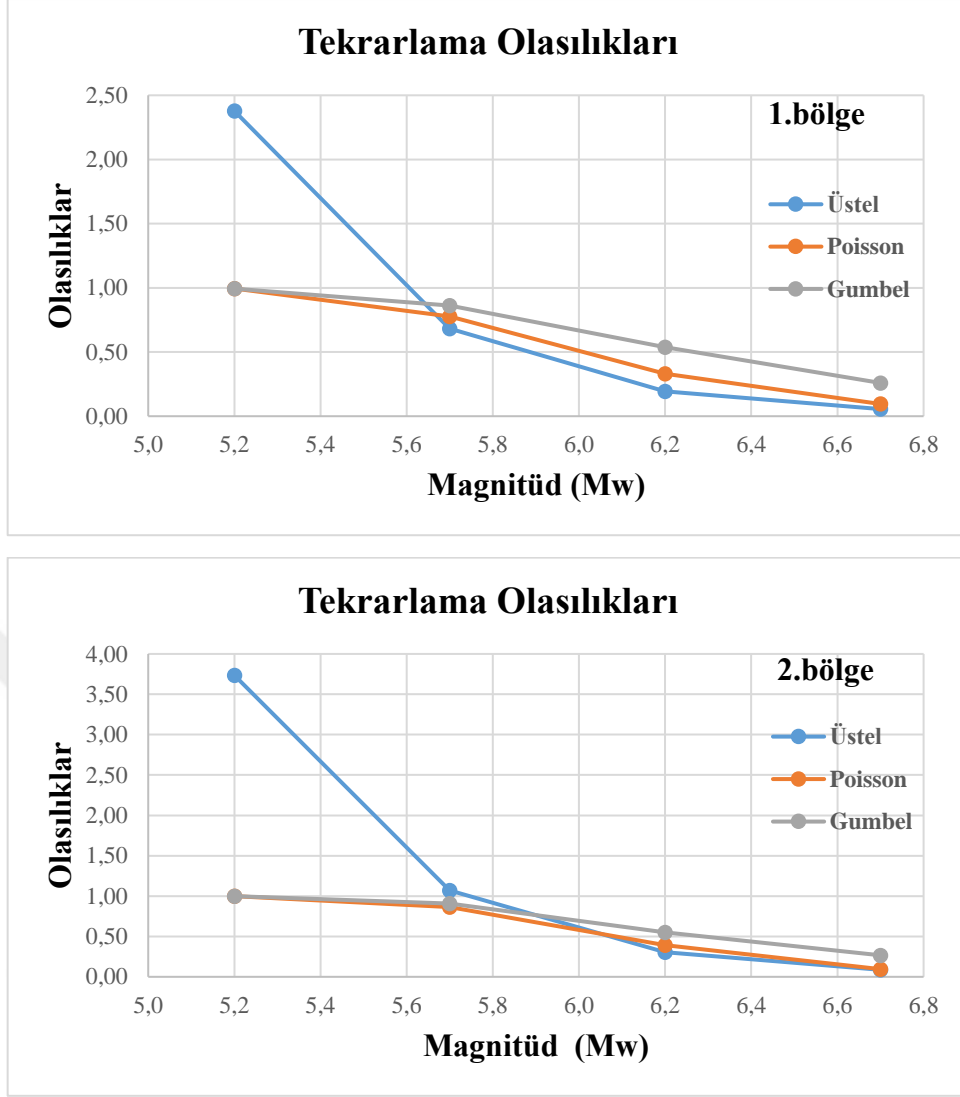
Şekil 5.5. Seçilen bölgelere göre Gumbel uç değerler dağılım modeli için yıllık tekrarlama olasılıkları



Şekil 5.6. Seçilen bölgelere göre Gumbel uç değerler dağılım modeli için ortalama tekrarlanma periyodları

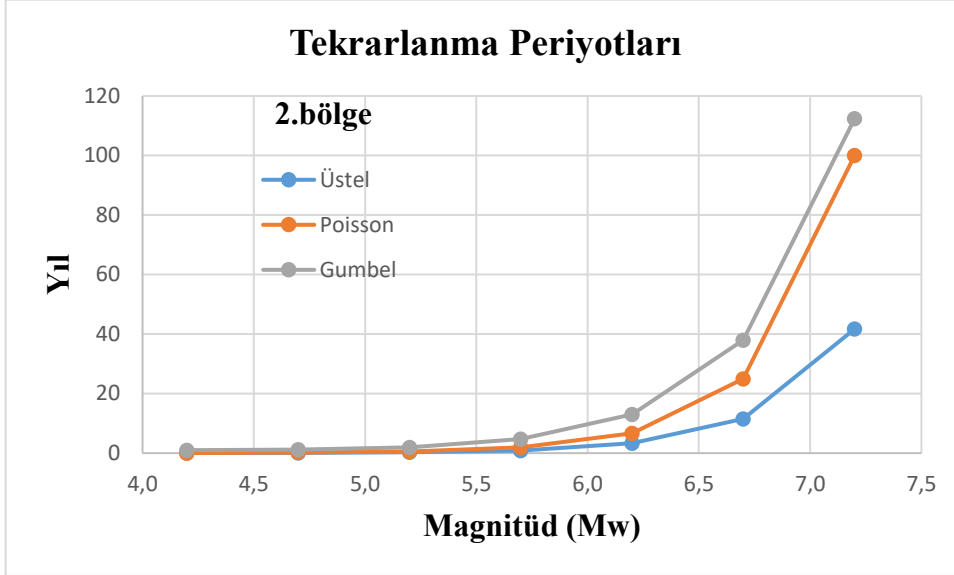
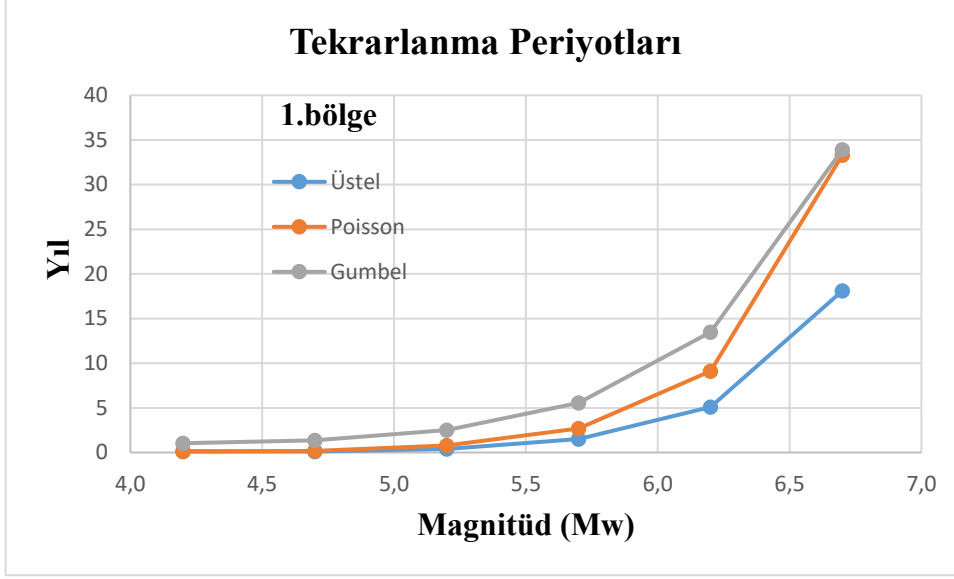
#### 5.4. Kullanılan İstatistiksel Modellerin Karşılaştırılması

Poisson, Üstel ve Gumbel dağılım modellerinin uygulandığı bölgelerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve 1. bölge ve 2. bölge için bulunan yıllık deprem olasılıkları sırasıyla Şekil 5.7’de, depremlerin tekrarlanma periyodları ise Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.7. 1.ve 2. bölgeler için Poisson, Üstel ve Gumbel yöntemleri ile belirlenen  $7.0 \geq Mw \geq 5.0$  aralığındaki magnitüdlere sahip depremlerin olasılıkları.

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi Poisson ve Gumbel modellerinden hesaplanan deprem olasılıkları tüm magnitüd aralıklarında yakın değerler alırken, Üstel dağılım modelinde  $Mw < 5.7$  magnitüd değerlerinde diğer modellerden farklı değerler almaktadır.



Şekil 5.8. 1. ve 2.bölgeler için Poisson, Üstel ve Gumbel yöntemleri ile belirlenen  $7.5 \geq M_w \geq 4.0$  aralığındaki magnitüdlere sahip depremlerin tekrarlanma periyotları.

Her iki bölge için Şekil 5.8’de verilen tekrarlanma periyotları grafiklerine bakıldığında, tüm magnitüd aralıklarında hesaplanan tekrarlanma periyotlarının birbiri ile uyumlu olduğu, artan magnitüdlere en kısa tekrarlanma aralıklarının Üstel dağılım yöntemi ile en uzun tekrarlanma aralıklarının ise Gumbel modelden elde edildiği görülmektedir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında Batı Anadolu'da çalışma alanı olarak seçilen 35.5°-39.5°K enlemleri ile 25.5°-31.0°D boylamları arasındaki bölge, içerdikleri tektonik özelliklere göre iki alt bölgeye ayrılarak her bir bölge için 3 farklı istatistiksel yöntem uygulanmış ve gelecek 100 yıl içindeki deprem olma olasılıkları incelenmiştir. Her bir bölgeye uygulanan istatistiksel çalışmaların yöntemleri Bölüm 3'de ve uygulama adımlarından elde edilen parametreler tablolar halinde Bölüm 4'de kapsamlı bir şekilde verilmiştir. Yapılan istatistiksel çalışmaların sonuçları ise bu bölümde gösterilmiştir.

Çalışma alanında kullanılan deprem verilerine Poisson dağılım modeli, Üstel dağılım modeli, Gumbel Uç Değerler Dağılım modeli olmak üzere 3 farklı istatistiksel yöntem uygulanmış ve sonuçları irdelenmiştir. Bu sonuçlar bölgelere ve modellere göre ayrı ayrı değerlendirilmiş, benzer çıkan bulgular ve farklılıklar karşılaştırılmıştır.

İlk uygulanan model aynı zamanda istatistiksel modeller içinde en çok kullanılan Poisson dağılım modelidir. Poisson dağılım modelinden elde edilen sonuçlar göre 37.5°-39.5°K ve 25.5°-31.0°D koordinatları ile sınırlanan 1. bölgede magnitudü  $M_w \geq 6.5$  olan bir depremin önümüzdeki 100 yıl içinde meydana gelme olasılığı % 95.02 olarak hesaplanmıştır. Bu depremlerin tekrarlanma periyodu ise 33.3 yıl olarak bulunmuştur. 35.5°-37.5°K ve 25.5°-31.0°D koordinatları ile sınırlanan 2.bölgede aynı şekilde magnitudü  $M_w \geq 6.5$  olan bir depremin önümüzdeki 100 yıl içinde meydana gelme olasılığı % 98.17 olarak bulunmuştur ve 25 yıl periyot aralıklarıyla tekrarlanması beklenmektedir. Ayrıca 2. bölgede daha önce  $M_w = 7.2$  büyüklüğünde deprem olduğundan,  $M_w \geq 7.0$  için de hesaplama yapılmış ve magnitudü  $M_w \geq 7.5$  olan bir depremin olma olasılığı %32.97 olarak bulunmuştur.

Bir diğer uygulanan model Üstel dağılım modelidir. Model inceleme alanında seçilen iki bölgede meydana gelmiş depremlere ( $M_w \geq 4.0$ ) uygulanmıştır. Üstel dağılım modelin sonuçlarına göre; magnitudü  $6.5 \geq M_w \geq 7.0$  aralığında olan bir depremin tekrarlanma periyodu 1. bölgede 18.1 yıl olarak, 2. bölgede ise 11.5 yıl olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların Poisson ve Gumbel uç değerler dağılım modelleri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Gumbel uç değerler dağılım modelinden elde edilen sonuçlara göre,  $M_w \geq 6.5$  olan bir depremin tekrarlanma periyodu 1. bölgede 23.42 yıl, 2. bölgede ise 24.69 yıl olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 1. bölgede  $M_w \geq 6.5$  olan bir depremin önümüzdeki 100 yıl içinde

meydana gelme olasılığı %35.59 olarak hesaplanırken, 2. bölgede %33.63 olarak bulunmuştur.

Bu çalışma kapsamında, 1. ve 2. bölgedeki deprem verileri kullanılarak magnitüd-frekans (G-R) ilişkileri elde edilmiştir. EKK yaklaşımı ile elde edilen bağıntılardan 1. bölge için a- değeri 7.87, b-değeri 1.06 ve 2.bölge için a-değeri 8.15, b-değeri ise 1.08 olarak bulunmuştur. Ayrıca Gumbel uç değerler yaklaşımı kullanılarak hesaplanan b-değerleri de 1.bölge için 0.82, 2.bölge için 0.96 dır. Seçilen bölgelerin boyutları ve oluşan deprem aktivitesi ile ilişkili olarak büyük b-değerlerinin çıkması olağandır. Çünkü her bir bölge birden fazla aktif fay zonunu (çoğunlukla normal fay) içermektedir.

Yapılan istatistiksel çalışmalar sonunda kullanılan üç farklı olasılık tahmin modelinden magnitüdüleri  $M_w \geq 4.0$  olayların tekrarlanma periyodları için birbirlerine yakın sonuçlar bulunduğu, deprem oluşma olasılıklarının hesaplamalarından ise Poisson ve Gumbel uç değerler yaklaşım modellerinin magnitüdüleri  $M_w \geq 5.0$  olaylar için, üstel dağılım modelinin ise magnitüdüleri  $M_w \geq 5.7$  olan olaylar için daha uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Yine bu çalışmada farklı yöntemlerle elde edilen b-değerlerinin Batı Anadolu bölgesi için yapılan diğer çalışmalardan (Alkan, 1979; Sayıl ve Osmaşahin, 2008; Sayıl, 2013) hesaplanan b-değerleriyle uyumlu olduğu söylenebilir.

Batı Anadolu'da sismik tehlike değerlendirmesini amaçlayan bu çalışma farklı istatistiksel dağılım modelleri ve yeni oluşacak depremler eklenerek ileriki yıllarda yapılacak depremsellik çalışmalarına önemli bir temel sağlayacaktır.

## 7. KAYNAKLAR

- Akıncı, A., Eyidoğan, H., Göktürkler, G., Akyol, N., ve Ankaya, O., 2000. İzmir İli Çevresinin Depremselliği ve Deprem Tehlikesinin İncelenmesi, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu (BADSEM2000), İzmir, Bildiriler Kitabı, 231-238.
- Akdeniz, N., ve Konak, N., 1979. Menderes Masifinin Simav Dolayındaki Kaya birimleri ve Metabazik, Metaultramafik Kayaların Konumu, Türkiye jeoloji Kurumu Bülteni, 22, 175-183.
- Al-Tarazia, E., ve Sandvol, E., 2007. Alternative Models of Seismic Hazard Evaluation along the Jordan-Dead Sea Transform, Earthq. Spectra, 23, 1, 1-19.
- Alkan, G., 1979. Batı-Güneybatı Türkiye'nin depremselliği: Ege Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Bitirme çalışması, 30.
- Altınok, Y., 1991. Batı Anadolu Deprem Riskinin Semi-Markov Model ile Değerlendirilmesi, 5, 135-140.
- Bath, M., 1978. Seismic Risk in Fennoscandia, Tectonophysics, 57, 285-295.
- Bağcı, G., 1996. Earthquake Occurrences in Western Anatolia by Markov Model, Geophys., 10, 67-75.
- Bağcı, G., 2000. İzmir ve Çevresinin Deprem Riski, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir, 239-248.
- Bozkurt, E., 2001. Special issue Neotectonics of Turkey, Geodinamica Acta, 14, 1-3, 212.
- Burton, P.W., 1979. Seismic Risk in Southern Europe Through to India Examined Using Gumbel's Third Distribution of Extreme Values, Geophys., 59, 249-280.
- Burton, P.W., 1981. Variation of Seismic Risk Parameters in Britain in Proc Second Intern. Symp. Anal., Seismicity and Seismic Risk, Liblice, Chechoslovakia, 495-530.
- Burton, P.W., Qin, C., Tselentis, G.A., ve Sokos, E., 2004. E. Extreme Earthquake and Earthquake Perceptibility Study in Greece and its Surrounding Area, Nat. Hazards, 32, 277-312.
- Büyüksaraç, A., Sayıl, N., Bektaş, Ö., ve Akın, Ö., 2018. Deprem Bilimi, Gazi Kitapevi, Ankara.
- Caputo, M., 1974. Analysis of Seismic Risk. Engineering Seismology an Earthquake Engineering, NATO Advanced Study Institutes Series E: Applied Sciences, No: 3, Noord-hoff- Leiden.
- Cornell, C.A., 1968. Engineering Seismic Risk Analysis, Bull. Seismol. Soc. Am., 58, 1583-1606.

- Çoban, K.H., ve Sayıl, N., 2019. Evaluation of Earthquake Recurrences with Different Distribution Models in Western Anatolia, *J. Seismol.*, 23, 1405-1422.
- Emre, Ö. ve Barka, A., 2000. Gediz Grabeni-Ege Denizi Arasının (İzmir yöresi) Aktif Fayları, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, (BADSEM2000), İzmir, Bildiriler Kitabı, 131-132.
- Erer, S., 1977. Simav Depresyonu ve Çevresinin Jeomorfolojisi, İstanbul Üniversitesi Ed. Fak. Yayını, No: 2028, Coğ. Enst. Yayını: 86, İstanbul.
- Gumbel, E.J., 1958. *Statistics of Extremes*, Columbia University Press, New York.
- Gutenberg, B., ve Richter, C.F., 1942. Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 32, 3, 163-191.
- Gutenberg, B., ve Richter, C.F., 1954. *Seismicity of The Earth and Related Phenomena*. Second Printed, Princeton University Press, Princeton.
- Hagiwara. Y., 1975. A Stochastic Model of Earthquake Occurrence and the Accompanying Horizontal Land Deformation, *Tectonophysics*, 26, 91-101.
- Howard, R.A., 1971. *Dynamic Probabilistic Systems*, John Wiley and Sons, New York.
- Kalafat, D., 1998. Anadolu'nun Tektonik Yapılarının Deprem Mekanizmaları Açısından İrdelenmesi, *Deprem Araştırma Bülteni*, 77.
- Kadiroğlu, F.T., ve Kartal, R.F., 2016. The New Empirical Magnitude Conversion Relations using an Improved Earthquake Catalogue for Turkey and its Near Vicinity (1900–2012), *Turk. J. Earth Sci.*, 25, 300-310.
- Kadiroğlu, F.T., Kartal, R.F., Kılıç, T., Kalafat, D., Duman T.Y., Özalp, S. ve Emre, O., 2014. An Improved Earthquake Catalogue ( $M \geq 4.0$ ) For Turkey and Near Surrounding (1900-2012), Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, August 25-29, İstanbul,
- Kiremidjian, A.S., ve Anagnos, T., 1980. A Homogeneous Stochastic Model for Earthquake Occurrences, Contract No. 14-08-001-17766, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, Stanford.
- Knopoff, L., ve Kagan, Y., 1977. Analysis of the Theory of Extremes as Applied to Earthquake Problems, *J. Geophys. Res.*, 82, 32, 5647-5657.
- Koçığıt, A., ve Deveci, Ş., 2007. A N-S-trending Active Extensional Structure, the Şuhut (Afyon) Graben: Commencement Age of the Extensional Neotectonic Period in the Isparta Angle, SW Turkey. *Turk. J. Earth Sci.*, 16, 391-416.
- Kurt, H., Demirbağ, E., ve Kuşçu, İ., 1999. Investigation of the Submarine Active Tectonism in the Gulf of Gökova, southwest Anatolia–southeast Aegean Sea, by Multi-channel Seismic Reflection Data, *Tectonophysics*, 305, 477-496.
- Lloyd, C.J., 1999. *Statistical Analysis of Categorical Data*, New York, 306.

- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Gergiev, I., Hamburger, M., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidse, G.- King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadaria, M., Ouzounus, A., Paradisissis, D., Peter ,Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanlı, I., Seeger, H., Teableb, A., Toksoz ,N.ve Veis, G., 2000. GPS Constraints on Crustal Movements and Deformations for Plate Dynamics, *J. Geophys. Res.*, 105, 5695-5720.
- McKenzie, D.P., 1972. Active Tectonics of the Mediterranean Region, *Geophys. J. Res. Astr. Soc.*, 30, 109-185.
- McKenzie, D.P., 1978. Active Tectonics of the Alpine–Himalayan Belt: the Aegean Sea and Surrounding Regions, *Geophys. J. Res. Astr. Soc.*, 55, 217-254.
- Nordquist, J.M., 1945. Theory of Largest Values Applied to Earthquake Magnitudes, *Trans. Amer. Geophys. Union*, 26, 29-31.
- Okay, A.I., Satır, M., Tüysüz, O., Akyüz, H.S., ve Chen, F., 2001. The Tectonics of the Strandja Mssif: Late-Variscan and Mid-Mesozoic Deformation and Metamorphism in the Northern Aegean, *Int. J. Earth Sci.* 90, 2, 217-233.
- Olivieria, C.S., 1974. Seismic Risk Analysis, Report No. EERC 74-1, Univ. of California, Berkeley.
- Pasari, S., ve Dikshit, O., 2014. Impact of Three-parameter Weibull Models in Probabilistic Assessment of Earthquake Hazards, *Pure Appl. Geophys.*, 171, 1251-1281.
- Pasari, S., 2015. Earthquake Interevent Time Distribution in Kachchh, Northwestern India, *Earth, Planets and Space*, 67, 129.
- Pınar, R., Akçığ, Z., ve Demirel, F., 1999. Batı Anadolu Depremselliğinin Markov Yöntemi ile Araştırılması, *Jeofizik*, 3, 56-66.
- Sayıl, N. ve Osmansahin, I. 2008. Investigation of Seismicity for Western Anatolia, *Nat. Hazards*, 44, 51-64.
- Sayıl, N., 2013. Long-term Earthquake Prediction in Western Anatolia with the Time- and Magnitude-Predictable Model, *Nat. Hazards*, 66, 809-834.
- Sayıl, N., 2015. Deprem Kestiriminde İstatiksel Yaklaşımlar Yüksek Lisans Ders Notu, KTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü.
- Shah, H.C., ve Movassate, M., 1975. Seismic Risk Analysis of California State water Project, *Proc. of Fifth European Conf. on Earthquake Engineering 2. Chap.*, 10-156. İstanbul.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Boray, A., 1987. Türkiye Diri Fayları ve Depremsellikleri, *Maden Tetkik Arama Rapor*, 8174, 394.
- Şengör, A.M.C., 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları, Türkiye Jeoloji Kurumu yayını, 40.



- Şengör, A.M.C., ve Kidd, W.S.F., 1979. Post-collisional Tectonics of Turkish-Iranian Plateau and a Comparison with Tibet, *Tectonophysics*, 55, 361-376.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., ve Şaroğlu, F., 1985. Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study, in *Strike-Slip Faulting and Basin Formation*, 227-264, eds Biddle, K.T. & Christie-Blick, N., *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Sec. Pub.*, 37, 227-264.
- Tabban, A., ve Gençoğlu, S., 1975. Earthquake and its parameters, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 11, 7-83.
- Talbi, A., Bellalem, F., ve Mobarki, M., 2019. Turkey and Adjacent Area Seismicity Forecasts from Earthquake Inter-event Time Mean Ratio Statistics, *J. Seismol.*, 23, 441-453.
- Taymaz, T., Westaway, R., ve Reilinger, R., 2004. Active Faulting and Crustal Deformation in the Eastern Mediterranean region, *Special Issue of Tectonophysics*, 391, 1-4, 375.
- Tuksal, İ., 1976. Seismicity of the North Anatolia Fault System in the Domain of Space, Time and Magnitude, M.S. Thesis, Saint-Louis University, Saint-Louis, Missouri.
- Utsu, T., 1984. Estimation of Parameters for Recurrence Models of Earthquakes, *Bull. Earthquake Res. Inst.*, 59, 53-66.
- Westaway, R., 1993. Neogene evolution of the Denizli Region of Western Turkey, *J. Struct. Geol.*, 15, 37-53.
- URL-1, <http://www.koeri.boun.edu.tr/new>, 10 Aralık 2019.

## ÖZGEÇMİŞ

13 Mayıs 1992 tarihinde Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini Trabzon İskenderpaşa İlkokulu'nda, orta öğrenimini Trabzon Cumhuriyet Lisesi'nde 2010 yılında tamamlamıştır. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde eğitime başladı ve 2015 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde Sismoloji Anabilim dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.

